Unión Geofísica Mexicana, A.C.

CICESE

# geos

Volumen 41 No. 1 Noviembre de 2021

Geos, Vol. 41, No. 1, Noviembre 2021, p. 1 - 160

geos
https://geos.cicese.mx

**BOLETÍN INFORMATIVO
DE LA
UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.**

**GEOS** se publica dos veces al año patrocinada por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y editada conjuntamente por la UGM y el CICESE.

**UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.**
**Mesa Directiva 2020-2021**

**Dra. Vanesa Magar Brunner**
*División de Oceanología, CICESE*
Presidente

**Dr. Arturo Iglesias Mendoza**
*Instituto de Geofísica, UNAM*
Vicepresidente

**Dr. Mario González Escobar**
*División de Ciencias de la Tierra, CICESE*
Tesorero

**Dr. Héctor González Huizar**
*División de Ciencias de la Tierra, CICESE*
Secretario General

**Dr. Markus Gross**
*División de Oceanología, CICESE*
Secretario de Investigación

**Dra. Ruth Cerezo Mota**
*Instituto de Ingeniería, UNAM*
Secretario de Difusión

**Dra. Ericka Alinne Solano Hernández**
*Universidad del Mar*
Secretario de Educación

**Dr. Luis Alonso Gallardo Delgado**
*División de Ciencias de la Tierra, CICESE*
Secretario de Vinculación

**GEOS**, boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana (UGM), se edita conjuntamente por la UGM y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) bajo el patrocinio del CICESE. Se publica dos veces al año, contiene artículos originales de investigación, artículos de divulgación, notas cortas, aspectos relevantes para la difusión de la actividad científica, tecnológica y docente en las Ciencias de la Tierra, así como noticias de interés para los miembros de la UGM. Las instrucciones para los autores se encuentran al final de cada número y en *https://geos.cicese.mx*
GEOS (ISSN 0186-1891) se edita en la División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas 22860, Ensenada B.C., México.

Dirigir toda correspondencia a:
Editorial GEOS
División de Ciencias de la Tierra, CICESE
ldelgado@cicese.mx
Tel. en Ensenada B.C.: (646)175-0500, Ext. 26060

Editores Principales

Luis A. Delgado Argote
ldelgado@cicese.mx
CICESE

Ruth Cerezo Mota
rcerezom@iingen.unam.mx
UNAM

Comité Editorial

Harald Böhnel, UNAM
Noel Carbajal Pérez, IPICyT
Oscar Campos, UNAM
Gerardo Carrasco, UNAM
Ana Luisa Carreño, UNAM
Carlos Flores Luna, CICESE
Juan García Abdeslem, CICESE
René Garduño, UNAM
Gustavo Tolson, UNAM
Felipe Escalona, UAZ

Apoyo Técnico Editorial

Ángel Daniel Peralta Castro
Humberto S. Benítez Pérez
Sergio Manuel Arregui Ojeda
María Cristina Álvarez Astorga

Título: GEOS
Periodicidad: semestral
ISSN: 0186-1891
Editado en la División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Carret. Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas 22860, Ensenada B.C., México.

# EDITORIAL

La Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana de 2021 (RAUGM2021) se realizó del 31 de octubre al 5 de noviembre 2021 de manera virtual y presencial en Expo Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. El programa de la RAUGM2021 estuvo compuesto por un evento de inauguración, una mesa de discusión, 20 sesiones regulares, 18 sesiones especiales, 5 conferencias plenarias, 9 cursos técnicos, un concurso de conocimientos y un evento de divulgación de Jamboard sobre geociencias e inclusión, en colaboración con SIAM y MexSIAM. La inauguración, la mesa redonda, y las plenarias, se transmitieron por Facebook Live por lo que permitió difundir las geociencias y su importancia para la sociedad a un público en general.

Siguiendo la dinámica de las reuniones anuales de los últimos años, el tema de la RAUGM2021 fue "Geociencias e Inclusión". En ese contexto, se organizó una mesa redonda en la que se abordaron experiencias y acciones emprendidas por investigadoras e investigadores, instituciones académicas y centros de investigación, así como diversas organizaciones geocientíficas, para resolver desigualdades, problemas de ética y justicia, o la falta de diversidad o de inclusión en nuestra comunidad; a este conjunto de problemáticas se les designa por el acrónimo DEEI (diversidad, ética, equidad e inclusión) o JEDI (justicia, equidad, diversidad e inclusión). La mesa redonda fue organizada por Mark Shimamoto (Director, Global Outreach Programs) de la AGU y por Vanesa Magar y Jonás de Basabe de la UGM, y moderada por el Dr. Jonás de Basabe. Participaron en ella: la Dra. Margarita López, investigadora del CICESE; la Dra. Ligia Pérez Cruz, investigadora del Instituto de Geofísica de la UNAM y coordinadora de plataformas oceanográficas; la Dra. Lucía Capra, investigadora y directora del Centro de Geociencias (CGEO) de la UNAM, campus Juriquilla; la Dra. Vanesa Magar, investigadora del CICESE y presidente de la UGM; Sergio Chávez, representante de diversas organizaciones geocientíficas (SEG, EAGE, AAPG, y AMGE) involucradas en la exploración de hidrocarburos; Gerardo Hernández, del Instituto de Matemáticas de la UNAM y presidente de MexSIAM; y Prabhu Seshaiyer, Chair of Diversity Advisory Committee de SIAM, quien también organizó con Gerardo Hernández una sesión de divulgación sobre DEEI/JEDI con Jamboard el jueves por la tarde. En 2021 se fortaleció la colaboración con la AGU a través de la participación de la UGM en grupos de trabajo establecidos en diciembre 2020 por la AGU, así como colaboraciones con el programa de "Thriving Earth", y la participación en la UGM en la propuesta de plataforma de ciencia ciudadana que está por establecer la AGU.

Contamos con la participación de cinco plenaristas de calibre internacional representando a las cuatro secciones de la UGM, cuyas presentaciones se difundieron por Facebook Live, y quienes enfatizaron a través de ejemplos claros y contundentes el impacto de la investigación geocientífica en la sociedad: El Dr. Juan Carlos Herguera con el proyecto de contingencia de derrames de hidrocarburos en el Golfo de México por CIGOM, la Dra. Noemí Pinillla Alonso con el proyecto del telescopio espacial James Webb, el Dr. Michael Mann con su trabajo sobre el Cambio Climático, El Dr. Martin Schimmel con investigaciones de monitoreo sismológico, y el Dr. Ross Stein con el tema de conversación entre terremotos.

La contingencia sanitaria afectó también a la RAUGM2021, aunque de menor manera que en 2020, en el área de exhibición se contó con 8 stands presenciales por instituciones académicas y empresas ofertando servicios geofísicos. Se realizó un concurso de conocimientos en Ciencias de la Tierra y del Espacio para estudiantes de licenciatura, con patrocinio de la AMGE y de la UGM. Se registraron, por otra parte, 438 resúmenes. Al igual que en 2020, un gran porcentaje de los trabajos se presentaron de manera virtual, sin embargo, alrededor de 100 participantes pudieron aprovechar de las instalaciones y las facilidades que provee el Centro de Convenciones Expo Guadalajara, el cual demostró ampliamente poder satisfacer las necesidades actuales y futuras de la reunión anual de nuestra sociedad científica.

Desafortunadamente este año de 2021 hubo poca participación de estudiantes en la convocatoria Premio "Francisco Medina Martínez" a mejor trabajo de tesis del año, por lo que solo se consideró un premio de tesis de maestría y un premio de tesis de doctorado. También fue necesario declarar desiertas las convocatorias a la Medalla "Manuel Maldonado Koerdell" y al Reconocimiento "Maestro del año en Ciencias de la Tierra". Aún más notable fue que haya quedado desierta la convocatoria a la Vicepresidencia UGM 2022-2023, a pesar de que la convocatoria se extendió hasta 10 días antes de la fecha de la Asamblea General programada para el 3 de noviembre de 2021. Por este motivo, y con base en el artículo 48 de los estatutos de la UGM, el secretario general de la Mesa Directiva entrante 2022-2023, quedará a cargo de la organización de las elecciones en 2022 para la renovación de la vicepresidencia 2022-2023.

En 2021 se organizaron un total de 9 webinarios en el tema de Geociencias e Inclusión, bajo la coordinación de la Dra. Ruth Cerezo Mota y de la Dra. Vanesa Magar Brunner. Debido a la contingencia de COVID-19, las Olimpiadas para estudiantes de preparatoria continuaron suspendidas, y muchos estudiantes en estancias de verano participaron también en 2021 de manera virtual. Por su parte, las revistas GEOS y Geofísica Internacional, la página de la UGM, y los demás canales de divulgación y difusión de la Asociación en redes sociales continuaron sus actividades, procurando fortalecerse en lo posible ante el escenario de la nueva normalidad. Agradecemos a nuestros patrocinadores: a la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM, al Instituto de Geofísica, y al Instituto de Geología de la UNAM por patrocinios de stands, y al Centro

de Geociencias Unidad Juriquilla de la UNAM por patrocinio de sesión regular. También agradecemos el apoyo de AMPERE. Agradecemos a la AMGE por los premios en efectivo del concurso de conocimientos para estudiantes de la RAUGM2021 y a Fresnillo PLC por los premios en efectivo del concurso de excursiones geocientíficas en video. Finalmente resaltamos que, aunque se realizaron esfuerzos por conseguir financiamiento para las reuniones anuales de la UGM por el periodo de 2021 al 2024 a través de la convocatoria para sociedades científicas que abrió el CONACYT en abril y mayo de 2021, hasta la fecha no se conocen los resultados de la propuesta sometida por la UGM en dicha convocatoria.

Las actividades de la UGM no podrían materializarse sin la dedicación y el trabajo voluntario de los académicos, profesionistas, y estudiantes que conforman a la Asociación, y los que dedican su tiempo altruistamente a la organización y moderación de sesiones. Agradezco también a todos los miembros de la mesa directiva 2020-2021: Arturo Iglesias Mendoza, Mario González Escobar, Héctor González Huizar, Markus Gross, Ruth Cerezo Mota, Ericka Alinne Solano y Luis Alonso Gallardo Delgado, así como a los responsables de sección, y en particular a Jonás de Basabe por todo su apoyo con las actividades de vinculación y la organización de la mesa redonda de la RAUGM2021. En particular quiero agradecer al comité organizador: Ángel Daniel Peralta Castro, Sergio Manuel Arregui Ojeda, Félix Rodríguez Cardozo, y José de Jesús Mojarro Bermúdez, al apoyo administrativo de Gabriela Ramírez y de Mónica Sánchez Oliveros. Cabe destacar de manera particular la dedicación del MTIC Sergio Arregui, quien en 2020 y 2021 desarolló varias plataformas de votación en línea diseñadas para fortalecer procesos democráticos y transparentes dentro de la UGM, y que facilitarán la toma de decisiones de los miembros de la UGM a través de votaciones en línea de ahora en adelante. También agradezco al staff de apoyo, en particular a Kelly Hernández, quienes tanto de manera presencial en Expo Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, como a la distancia, lograron nuevamente que la edición 2021 de la RAUGM se llevara a cabo exitosamente. Finalmente, agradecemos a los asociados ordinarios y a los asociados estudiantes que mantuvieron activa su membresía en 2021.

**Dra. Vanesa Magar Brunner**
Presidente, Mesa Directiva 2020-2021
Unión Geofísica Mexicana, A. C.

# ESTRUCTURA DE LA REUNIÓN ANUAL 2021

La Reunión Anual 2021 tuvo 438 trabajos aceptados repartidos en 20 sesiones regulares y 18 sesiones especiales. Distinguidos especialistas dieron conferencias plenarias en cinco áreas de interés. Se ofreció una mesa de discusión en temas de actualidad. Las sesiones se presentaron en cinco salas simultáneas y hubo un área de carteles y exposición con 10 expositores de los sectores privado, público y académico. Se ofrecieron además nueve cursos de capacitación sobre temas de interés diverso para estudiantes y especialistas.

## Conferencias Plenarias

**APORTACIONES DEL CIGOM AL CONOCIMIENTO DEL GOLFO DE MÉXICO**
Juan Carlos Herguera
División de Oceanología, CICESE, México

**DISCO-TNOS: DIGGING UP FOSSILS IN THE SOLAR SYSTEM THANKS TO THE JAMES WEBB SPACE TELESCOPE**
Noemí Pinilla Alonso
Florida Space Institute, USA

**THE NEW CLIMATE WAR: THE FIGHT TO TAKE BACK OUR PLANET**
Michael Mann
Department of Meteorology and Atmospheric Science, PenState University, USA

**SEISMIC NOISE-BASED IMAGING AND MONITORING WITH THE PHASE COHERENCE APPROACH**
Martin Schimmel
Geosciences Barcelona (GEO3BCN-CSIC), Spain

**HOW DO EARTHQUAKES CONVERSE?**
Ross Stein
Temblor, Inc.

## Mesas de Discusión

**GEOCIENCIAS E INCLUSIÓN**
Panelistas:
Margarita López, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Vanesa Magar, Unión Geofísica Mexicana, UGM
Sergio Chávez, Society of Exploration Geophysicists, SEG
Gerardo Hernández, Instituto de Matemáticas, UNAM
Pradhu Seshaiyer, Society for Industrial and Applied Mathematics, SIAM
Ligia Pérez-Cruz, American Geophysical Union, AGU
Moderador:
Jonas de Basabe, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

## Sesiones Regulares

**ARQUEOMETRÍA (AR)**
Organizadores:
Galia González Hernández, Tamara Cruz y Cruz

**CIENCIAS DEL SUELO (CS)**
Organizadores:
Elizabeth Solleiro

**CLIMATOLOGÍA, CAMBIOS CLIMÁTICOS Y ATMÓSFERA (CCA)**
Organizadores:
Luis Felipe Pineda Martínez, Erika Danaé López Espinoza

**EXPLORACIÓN GEOFÍSICA (EG)**
Organizadores:
Miguel Ángel Alatorre Zamora, Diego Ruiz Aguilar

**FÍSICA ESPACIAL (FE)**
Organizadores:
Joel Castro

**GEODESIA (GEOD)**
Organizadores:
Enrique Cabral, Bertha Márquez Azua

**GEOHIDROLOGÍA (GEOH)**
Organizadores:
Janete Morán-Ramírez

**GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO (GP)**
Organizadores:
Javier Arellano

**GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA (GET)**
Organizadores:
Rosalva Pérez

**GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA AMBIENTAL (GGA)**
Organizadores:
Martín Hernández Marín

**GEOMAGNETISMO Y PALEOMAGNETISMO (GEOPAL)**
Organizadores:
Ana Caccavari, Fredy Rubén Cejudo Ruiz, Miguel Angel Cervantes Solano, Alejandro Rodríguez Trejo

**GEOQUÍMICA Y PETROLOGÍA (GEOQP)**
Organizadores:
Efraín Gómez Arias

**MODELACIÓN DE SISTEMAS GEOFÍSICOS (MSG)**
Organizadores:
José Alfredo Ramos Leal

**OCEANOGRAFÍA COSTERA (OCC)**
Organizadores:
Ismael de Jesús Mariño Tapia, Héctor García Nava, José Carlos Pintado Patiño, Braulio Juárez Araiza

**OCEANOLOGÍA (OCE)**
Organizadores:
Emilio Beier, Erik Coria Monter, Elizabeth Durán, Jorge Alejandro Kurczyn Robledo

**PALEONTOLOGÍA (PALEO)**
Organizadores:
Miguel Ángel Torres Martínez

**RIESGOS NATURALES (RN)**
Organizadores:
David Novelo, Gerardo Suárez

**SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA (SED)**
Organizadores:
Isabel Israde Alcántara

**SISMOLOGÍA (SIS)**
Organizadores:
Ericka Alinne Solano Hernández, Miguel Ángel Rodríguez Domínguez

**VULCANOLOGÍA (VUL)**
Organizadores:
Pablo Dávila Harris

## Sesiones Especiales

**LIMNOLOGÍA FÍSICA (SE01)**
Organizadores:
Tzitlali Gasca, Diego Pantoja, Jorge Montes

**AVANCES RECIENTES EN MODELACIÓN NUMÉRICA, EXPERIMENTAL O ESTADÍSTICA PARA ENERGÍA EÓLICA Y ENERGÍAS RENOVABLES MARINAS (SE02)**
Organizadores:
Markus Gross, Vanesa Magar, Osvaldo Rodríguez Hernández, Alfredo Peña

**CHIHUAHUA: TIERRA DE RETOS Y LEYENDAS MINERAS (SE03)**
Organizadores:
Ignacio Alfonso Reyes Cortés, Miguel Franco Rubio, Angélica Oviedo García

**OLLIN-IGCP669 CENTRAL MEXICO: AMENAZA SÍSMICA EN EL CINTURÓN VOLCÁNICO TRANSMEXICANO: AVANCES EN NEOTECTÓNICA, PALEOSISMOLOGÍA, SISMICIDAD HISTÓRICA E INSTRUMENTAL (SE04)**
Organizadores:
Pierre Lacan, Rodrigo Alejandro León Loya, María Ortuño, Gerardo Suárez

**MODELACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL Y CORDEX (SE05)**
Organizadores:
Tereza Cavazos, Rosa Beatriz Luna Niño, María Laura Bettolli, Matías Méndez Pérez

**ESTANCIAS DE INVESTIGACIÓN Y PROFESIONALES 2020 Y 2021: REPORTES DE ACTIVIDADES Y EXPERIENCIAS (SE06)**
Organizadores:
Vanesa Magar, Jonás de Dios de Basabe Delgado, Mary Carmen Ruiz de la Torre, Eloísa García Canseco

**SISMOTECTÓNICA EN EL VALLE MEXICALI-IMPERIAL, REGIÓN FRONTERIZA MÉXICO-USA (SE07)**
Organizadores:
Mario González Escobar, Joann M. Stock, J. Javier González García

**FILOSOFÍA, LÓGICA, METODOLOGÍA Y EPISTEMOLOGÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA (SE08)**
Organizadores:
Octavio Lázaro Mancilla, Eduardo Juayek Sotelo

**DIVERSIDAD, ÉTICA, EQUIDAD E INCLUSIVIDAD (DEEI) - MEJORES PRÁCTICAS EN LA ACADEMIA Y EN ORGANIZACIONES GEOCIENTÍFICAS (SE09)**
Organizadores:
Vanesa Magar, Jonás de Dios de Basabe Delgado, Mark Shimamoto

**RESILIENCIA COSTERA (SE10)**
Organizadores:
Paulo Salles Afonso de Almeida, Alec Torres Freyermuth, Elsa Noreña Barroso, Gema Hidalgo Rodríguez

**3A REUNIÓN DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE ARQUEOMETRÍA DE OCCIDENTE "TÉCNICAS ARQUEOMÉTRICAS EN MÉXICO Y LATINOAMÉRICA EN EL SIGLO XXI" (SE11)**
Organizadores:
Rodrigo Esparza, Blanca Maldonado, Avto Gogichaishvili, Francisco Sánchez

**TECNOLOGÍAS APLICADAS A LAS CIENCIAS DEL SUELO (SE12)**
Organizadores:
Ángeles Gallegos, Francisco Bautista

**METALES PESADOS EN SUELOS Y POLVOS URBANOS (SE13)**
Organizadores:
Anahí Aguilera, Francisco Bautista, Avto Goguitchaichvili

**CARACTERIZACIÓN ESTÁTICA DE YACIMIENTOS PETROLEROS Y SUS IMPLICACIONES EN LA TOMA DE DECISIONES (SE14)**
Organizadores:
Julio César González Hernández, Erick Osorio Santiago

**APLICACIONES DE LA PERCEPCIÓN REMOTA A REGIONES SOCIALMENTE IMPORTANTES: ESTUARINAS, COSTERAS, TROPICALES Y POLARES (SE15)**
Organizadores:
José Gómez-Valdés, Jorge Vázquez-Cuervo

**RESULTADOS PRELIMINARES DEL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DEL 2021 MW7.1 EN ACAPULCO, GUERRERO (SE16)**
Organizadores:
Arturo Iglesias Mendoza, Gerardo Suárez Reinoso, Raúl Daniel Corona Fernández

**GENERAL (SE17)**
Organizadores:
Daniel Peralta, Vanesa Magar

**CONFERENCIAS PLENARIAS (SE18)**
Organizadores:
Daniel Peralta, Vanesa Magar

## Cursos

**URANIO: UN RETO EN CHIHUAHUA (CU01)**
Instructores:
Ignacio Alfonso Reyes Cortés, Miguel Franco Rubio, Angélica Oviedo García

**HIDROGEOQUÍMICA APLICADA (CU02)**
Instructores:
Janete Morán-Ramírez, José Alfredo Ramos Leal

**VISUALIZACIÓN CIENTÍFICA Y NARRATIVAS (CU03)**
Instructores:
Luis Miguel de la Cruz Salas

**TÉCNICAS DE MUESTREO PARA LA DATACIÓN DEL CONTEXTO ARQUEOLÓGICO POR ARQUEOMAGNETISMO, RADIOCARBONO Y TERMOLUMINISCENCIA (CU04)**
Instructores:
Galia González Hernández, Ana María Soler Arechalde, Ángel Ramírez Luna

**PROGRAMAS DE MODELADO DE ESPECIACIÓN GEOQUÍMICA (CU05)**
Instructores:
Víctor Alejandro Arias Esquivel

**MODELADO 3D DE DATOS MAGNETOTELÚRICOS (CU06)**
Instructores:
Diego Ruiz Aguilar, Erik Uziel Gallardo Romero

**TEORÍA DE SEÑALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL (CU07)**
Instructores:
Victor Manuel Velasco Herrera, Mauro Valdés Barrón, David Riveros Rosas

**TALLER DE INTERPRETACIÓN DE REGISTROS GEOFÍSICOS DE POZOS (CU08)**
Instructores:
Julio César González Hernández, Erick Osorio Santiago

**CÓMPUTO EN LA NUBE (CU09)**
Instructores:
Víctor Hugo de la Luz Rodríguez, Enrique Cruz Martínez

## Expositores

**GEOELEC**
http://www.geoelec.com.mx

**SIGMETRIC**
http://www.sigmetric.com

**AMPERE**
http://www.ampere.com.mx

**VASE SÍSMICA**
http://www.vasesismica.com.mx

**INSTITUTO DE GEOFÍSICA, UNAM**
http://www.geofisica.unam.mx

**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA, CICESE**
http://posgrados.cicese.mx/cienciasdelatierra

**INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA, IPICYT**
http://www.ipicyt.edu.mx

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM**
http://www.geologia.unam.mx

**COORDINACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, UNAM**
http://www.cic-ctic.unam.mx

**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA, UNAM**
http://www.pctierra.unam.mx

## Patrocinadores

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA, CICESE**
http://www.cicese.mx

**INSTITUTO DE GEOFÍSICA, UNAM**
http://www.geofisica.unam.mx

**AMPERE**
http://www.ampere.com.mx

**COORDINACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, UNAM**
http://www.cic-ctic.unam.mx

**INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM**
http://www.geologia.unam.mx

## Comité Organizador

**Ángel Daniel Peralta Castro**
División de Ciencias de la Tierra, CICESE

**Sergio Manuel Arregui Ojeda**
División de Ciencias de la Tierra, CICESE

**Félix Rodrigo Rodríguez Cardozo**
Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM

**José de Jesús Mojarro Bermúdez**
División de Ciencias de la Tierra, CICESE

# ÍNDICE GENERAL

Página

Editorial ..... i

Estructura de la Reunión Anual 2021 ..... iii

Índice general ..... viii

## Sesiones Regulares

Arqueometría (AR) ..... 1

Ciencias del suelo (CS) ..... 4

Climatología, cambios climáticos y atmósfera (CCA) ..... 12

Exploración geofísica (EG) ..... 22

Física espacial (FE) ..... 30

Geodesia (GEOD) ..... 32

Geohidrología (GEOH) ..... 34

Geología del petróleo (GP) ..... 40

Geología estructural y tectónica (GET) ..... 42

Geología y geofísica ambiental (GGA) ..... 47

Geomagnetismo y paleomagnetismo (GEOPAL) ..... 50

Geoquímica y petrología (GEOQP) ..... 54

Modelación de sistemas geofísicos (MSG) ..... 58

Oceanografía costera (OCC) ..... 63

Oceanología (OCE) ..... 67

Riesgos naturales (RN) ..... 73

Sedimentología y estratigrafía (SED) ..... 80

Sismología (SIS) ..... 83

Vulcanología (VUL) ..... 89

## Sesiones Especiales

Limnología física (SE01) ..... 94

Avances recientes en modelación numérica, experimental o estadística para energía eólica y energías renovables marinas (SE02) ..... 98

Chihuahua: Tierra de retos y leyendas mineras (SE03) ..... 102

OLLIN-IGCP669 Central Mexico: Amenaza sísmica en el Cinturón Volcánico Transmexicano: Avances en neotectónica, paleosismología, sismicidad histórica e instrumental (SE04) ..... 105

Modelación climática regional y CORDEX (SE05) ..... 109

Sismotectónica en el Valle Mexicali-Imperial, región fronteriza México-USA (SE07) ..... 114

Filosofía, lógica, metodología y epistemología en Ciencias de la Tierra (SE08) ..... 119

Resiliencia costera (SE10) ..... 122

3a Reunión de la Sociedad Mexicana de Arqueometría de Occidente "Técnicas arqueométricas en México y Latinoamérica en el siglo XXI" (SE11) ..... 126

Tecnologías aplicadas a las ciencias del suelo (SE12) ..... 129

Metales pesados en suelos y polvos urbanos (SE13) ..... 133

Caracterización estática de yacimientos petroleros y sus implicaciones en la toma de decisiones (SE14) ..... 139

Resultados preliminares del sismo del 7 de septiembre del 2021 Mw7.1 en Acapulco, Guerrero (SE16) ..... 141

General (SE17) ..... 144

Conferencias plenarias (SE18) ..... 147

Índice de autores ..... 149

Sesión regular

# ARQUEOMETRÍA

Organizadores:
Galia González Hernández
Tamara Cruz y Cruz

AR-1

## ESTUDIOS INTEGRATIVOS DE LAS ACUMULACIONES DE CARBÓN Y ROCAS AFECTADAS POR FUEGO EN EL CENOTE DE AKTUN HA, YUCATÁN, PARA ELUCIDAR EL USO DEL FUEGO POR POBLACIONES TEMPRANAS

Solleiro Rebolledo Elizabeth[1], López Martínez Rafael[2] y Chávez Vergara Bruno[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Instituto de Geología, UNAM*
solleiro@geologia.unam.mx

En este trabajo presentamos los resultados del análisis geoarqueológico efectuado en la cueva de Aktun Ha, dentro de la Cámara de los Ancestros, en la península de Yucatán. Esta cueva inundada contiene abundantes fragmentos de carbón y rocas quemadas, asociados con asentamientos tempranos en la zona. Para diferenciar los fragmentos de carbón (depositación natural vs. antropogénica) y establecer el impacto de la quema en las rocas, usamos una metodología integrativa, que incluyó experimentos de quema controlada, petrografía, tafonomía, estudios de resonancia magnética nuclear (RMN) y escaneo de colorimetría diferencial (CSD), así como dataciones de los fragmentos de carbón. Los resultados de quema experimental en las rocas mostraron cambios de color y mineralogía, pérdida de peso y fábricas de recristalización ante temperaturas de 200 a 900°C. Las observaciones tafonómicas del carbón revelaron ausencia de transporte en agua. Gracias a los estudios de NMR y DSC se determinó el grado de aromatización de los compuestos orgánicos que permitieron establecer la historia de combustión. Las edades por radiocarbono, de los carbones estudiados, oscilaron entre 10,490 a 10,740 años cal AP, las cuales son similares a las reportadas en otros trabajos para el mismo sistema de cuevas. Concluimos que los hallazgos de rocas quemadas y fragmentos de carbón se asocian a actividades humanas dentro de la Cámara de los Ancestros.

AR-2

## ARQUEOLOGÍA ZOQUE EN TABASCO: FECHAMIENTO DE CERÁMICAS POR TERMOLUMINISCENCIA

Ramírez Luna Angel[1], Schaaf Peter[1], González Martínez Pedro[2] y Terreros Espinosa Eladio[3]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*
[3]*Instituto Nacional de Antropología e Historia*
rangel@geofisica.unam.mx

Alrededor de los años 1350-1300 a.C., desde las costas del Pacífico de Guatemala y Chiapas grupos identificados como mixe-zoqueanos, con un bagaje cultural en el cual destaca su cerámica y figurillas, arribaron al territorio de lo que actualmente es el sur de Veracruz y noroeste de Tabasco, fusionándose con los habitantes locales. A la llegada de los españoles, los pueblos hablantes de zoque estaban distribuidos por gran parte de lo que ahora son el estado de Chiapas, la región serrana de Tabasco y el oriente de Oaxaca y Veracruz. En razón de la escasa información prehispánica que acerca de los zoques de la vertiente del Golfo se tiene, desde 1986 el arqglo. Terreros Espinosa llevo a cabo trabajos de reconocimiento arqueológico en la zona recorriendo aproximadamente 600 km2. En forma particular trabajó en los municipios de Tacotalpa y Teapa, Tabasco. En este trabajo se presenta la datación de cerámica por termoluminiscencia en tres sitios Zoques en el Estado de Tabasco: Gruta Cuncubac, Rancho Santo Domingo y Cueva Kolemja, con ello se espera poder establecer la cronología de estos sitios dentro de la arqueología zoque en la zona. Durante el muestreo en campo se realizo dosimetría termoluminiscente para determinar la tasa de dosis anual la cual proviene de los elementos radiactivos naturales de 232Th, 238U y 40K del suelo, además de la contribución de la dosis cósmica, para ello en lo puntos donde se extrajo cada cerámica se coloco un dosímetro de LiF: Mg, Cu, P + PTFE los cuales se dejaron en el sitio de muestreo por 4 meses, posteriormente se retiraron y se determino la dosis correspondiente considerando además la contribución de la dosis de autoirradiación. Se seleccionaron tres cerámicas de cada sitio, cada muestra fue descortezada, molida y tratada químicamente con H2O2 y HCl para eliminar materia orgánica y carbonatos respectivamente. Para calcular la paleodosis se aplico el método aditivo consistente en irradiar las muestras artificialmente con una fuente beta de 90Sr. Una vez determinada tanto la paleodosis como la tasa de dosis anual, le edad fue calculada. Las 9 muestras de cerámicas presentaron un espectro TL optimo para su fechamiento obteniendo en cada una de ellas su edad correspondiente, estos fechamientos aportaron información para el establecimiento de la temporalidad de ocupación en cada sitio estudiado.

AR-3

## UTILIZACIÓN DE PARÁMETROS MAGNÉTICOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FACTORES ANTROPOGÉNICOS EN EL DESARROLLO DE UN PERFIL PALEOPEDOLÓGICO EN EL SITIO PALEOLÍTICO KOSTENKI 14

Moreno Roso Sol de Jesus[1], Vasiullina Anastasiia[2], Barceinas-Cruz Hermenegildo[1], Sedov Sergey[3], Solleiro Rebolledo Elizabeth[3], Ortega-Guerrero Beatriz[4] y Sinitsyn Andrey[5]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*University of Tyumen*
[3]*Instituto de Geología, UNAM*
[4]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[5]*Institute of the History of Material Culture, Russian Academy of Sciences, 191186 Saint Petersburg, Russia*
soldjmoreno@gmail.com

Kostenki es una zona con una gran concentración de sitios arqueológicos ubicada en la Llanura Rusa, siendo uno de los monumentos arqueológicos más ricos y más estudiados del Paleolítico Tardío en Europa del este. Particularmente, Kostenki 14 (K14) es una de las secciones clave que comprende una serie de 6 estratos culturales formados entre 42 y 27 ka AP y asociados con un complejo poligenético de paleosuelos Pleistocénicos, ubicados sobre una terraza del valle menor, relativamente delgados y fuertemente perturbados por procesos criogénicos y de ladera. Estos paleosuelos han sido estudiados a detalle empleando diferentes métodos morfológicos, analíticos e instrumentales con el objetivo de generar una reconstrucción paleoclimática y paleoambiental de la zona. Sin embargo, aún siguen en discusión ciertos aspectos sobre el origen de las unidades edáficas, en particular el de dos horizontes húmicos bien marcados, de coloraciones muy oscuras y muy deformados. Han sido establecidas varias hipótesis para explicar su formación, una de ellas postula que son el resultado de la acumulación de materia orgánica en condiciones hidromórficas y otra sugiere que estos paleosuelos fueron desarrollados en estepas frías o en bosques boreales húmedos. En el presente trabajo se propone una tercera hipótesis que consiste en que estos horizontes húmicos tienen un origen antropogénico asociado a eventos de quema, con base en los altos valores de susceptibilidad magnética que estos exhiben, sugiriendo la presencia de minerales magnéticos pirogénicos. Para lograr probar esta hipótesis será necesario investigar si estas partículas magnéticas son resultado de procesos pedogénicos o pirogénicos graficando los siguientes parámetros magnéticos: XARM/Xfd y XARM/Xlf, en un diagrama bilogarítmico que permite diferenciar las partículas magnéticas producto de la quema de las demás por su pequeño tamaño. Además, se espera que los análisis micromorfológicos aporten mucha información sobre la génesis de estos horizontes de los paleosuelos de K14, pues se han observado evidencias de quema como numerosos fragmentos de carbón y huesos quemados.

AR-4

## DATACIÓN ARQUEOMÉTRICA DEL PALACIO DE XALLA EN TEOTIHUACAN

González Hernández Galia[1], Beramendi Orosco Laura[2] y Soler Arechalde Ana María[1]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Instituto de Geología, UNAM*
galia@igeofisica.unam.mx

El Palacio o complejo palaciego de Xalla en Teotihuacan constituye un ejemplo exitoso de datación arqueométrica de un sitio arqueológico a partir de la combinación de los métodos de Radiocarbono y arqueomagnetismo, permitiendo conocer con una alta precisión la sucesión cronológica de los eventos ocurridos en el pasado, así como la duración y el momento en que acontecieron. La cronología de alta resolución obtenida contribuye significativamente a comprender la dinámica de ocupaciones y abandonos del sitio de Xalla inmerso en el contexto de Teotihuacan. Para la generación de la cronología del sitio se emplearon 42 edades de Radiocarbono obtenidas de muestras provenientes de varias excavaciones y analizadas por Espectrometría de masas con aceleradores (AMS por sus siglas en ingles) y por Espectrometría de Centelleo Liquido (ECL) en diferentes laboratorios, entre ellos el Laboratorio Universitario de Radiocarbono (LUR) perteneciente al Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM) de la UNAM, así como 7 edades arqueomagnéticas obtenidas de 28 muestras colectadas en diferentes campañas de excavación y analizadas en el Laboratorio de Paleomagnetismo del Instituto de Geofísica de la UNAM.

AR-5 CARTEL

## CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS ARQUEOLÓGICOS ASOCIADOS A LA ESTELA DE CUICUILCO

González Pineda Daniel[1] y Ibarra-Arzave Georgina[2]
[1]*UNAM, FCPyS*
[2]*IIES-UNAM*
danielgonzalez@politicas.unam.mx

Cuicuilco (c. 800 a.c.) es un complejo arqueológico ubicado al surponiente de la Cuenca de México cuyo fin se establece hacia c. 450 (d.c.) a consecuencia de la actividad volcánica del Xitle. Es considerado como uno de los centros cívicos más tempranos en el Altiplano. Dentro de las estructuras de interés arqueológico se

encuentra la Estela de Cuicuilco, siendo esta un monolito de 3 metros de altura y de composición andesítica con algunos signos petrográficos. Su situación espacial se relaciona plenamente con el complejo cívico-ceremonial del asentamiento. En cuanto a la forma de su deposición, se plantea la hipótesis de que temporalmente pudiera ser más antigua que el gran basamento. Estudios preliminares realizados a la matriz sedimentaria que envuelve a la Estela han arrojado datos acerca de que el depósito se compone primordialmente de paleosuelos de origen volcánico que fueron depositados de forma antrópica, en varios eventos, así como de una manera paulatina por los antiguos moradores. Debido a las características geológicas del presente en torno a Cuicuilco, la Estela ha sido poco estudiada y contextualizada. Por ello, uno de los objetivos fundamentales de esta investigación es la de caracterizar la actividad antrópica existente en los paleosuelos asociados a esta estructura a través de la micromorfología y la micromorfometría. Con la ayuda de estas técnicas se podrá profundizar en mayor medida en la comprensión de la composición de estos materiales con la finalidad de entender la historia de este asentamiento en sus etapas más tempranas de ocupación.

AR-6 CARTEL

## PEDOGÉNESIS DE LOS REGISTROS PEDOSEDIMENTARIOS EN SITIOS ARQUEOLÓGICOS AFECTADOS POR EVENTOS NATURALES: EVIDENCIAS PRE Y POST CATASTRÓFICAS

García Zeferino Thania Alejandra y Solleiro Rebolledo Elizabeth
*Instituto de Geología, UNAM*
splan_thania@hotmail.com

Durante época antigua, los desastres naturales fueron comunes para las poblaciones prehispánicas. Eventos como sismos, erupciones volcánicas incendios e inundaciones, determinaron y causaron conflictos como: inestabilidad poblacional, abandono total o parcial del sitio e incluso, las variaciones en las actividades tecnológicas para la subsistencia de la población. Desde una visión arqueológica, los fenómenos naturales, se han considerado en su mayoría como catastróficos, sin tomar en cuenta variables como el cambio en las condiciones ambientales o la geoforma en la cual se localizan. Por esta razón, es que el estudio de los paleosuelos encontrados en las excavaciones arqueológicas brinda una explicación más completa, ya que guardan información sobre los factores ambientales y gracias a esto se pueden delimitar etapas de estabilidad e inestabilidad en los sitios arqueológicos. Los fenómenos naturales interrumpen la estabilidad en los procesos pedogenéticos que llevaron a cabo antes, durante la ocupación del sitio, durante el impacto del fenómeno natural y en consecuencia post al evento, por lo que la pedogénesis se va a modificar de acuerdo con las nuevas condiciones (clima, vegetación, adición o remoción de material, incendios etc.) que se presenten en el sitio. En este trabajo se presentan algunas de las evidencias o indicadores que muestren el cambio en la pedogénesis de fenómenos naturales que afectaron a dos sitios arqueológicos con características ambientales, ubicación y temporalidades diferentes, para establecer las características del evento, el tipo de abandono y la resiliencia que la población adopto con nuevas condiciones; esto a partir del análisis micromorfológico de láminas delgadas los pedosedimentos. El primer sitio es Tres Mezquites se encuentra en el lado occidental de México y se caracteriza por la presencia de materiales volcánicos y sedimentos aluviales a partir de los cuales se han desarrollado suelos de tipo Vertisol. Se propone que la tierra oscura que cubre una estructura de temporalidad Clásica (380 al 550 d.C.) se acumuló, una vez que el área fue abandonada, a causa de movimientos de remoción de masas. El segundo sitio es Templo Mayor, ubicado en el centro de la Ciudad de México, en lo que fue una isla en el Lago de Texcoco, y que fue habitado por la cultura Mexica, el grupo social más poderoso durante el Posclásico (950-1521 d.C.). Debido a su ubicación, las inundaciones eran muy comunes en diferentes momentos de año, por lo que, estudios previos en el área, muestran diferentes eventos sedimentarios y presencia de materiales como diatomeas y conchas.

Sesión regular

# CIENCIAS DEL SUELO

Organizador:

Elizabeth Solleiro

CS-1

## GÉNESIS Y CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN UN BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN JALPAN, QUERÉTARO

Bobadilla Ballesteros Martha Daniela[1], García Calderón Norma Eugenia[2], Gutiérrez Castorena María del Carmen[3] y Fuentes Romero Elizabeth[2]
[1]*Centro de Geociencias, UNAM*
[2]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[3]*Colegio de Postgraduados, COLPOS*
daniela.bobadilla@ciencias.unam.mx

Los suelos que se forman bajo los bosques mesófilos de montaña (BMM) tienen características específicas como una fuerte acidez, bajo contenido de nutrientes y bases intercambiables y un mantillo grueso en superficie (Álvarez-Arteaga et al., 2013; Bruijnzeel et al., 1993). Sin embargo, el cambio de uso de suelo modifica la entrada de nutrientes y la composición de la materia orgánica del suelo (MOS) y pueden repercutir en los procesos edafogenéticos. El objetivo de este trabajo es identificar los procesos edafogenéticos asociados a la acumulación de los compuestos orgánicos y clasificar los suelos. El sitio de estudio se encuentra en la microcuenca Ojo de Agua, San Francisco, Jalpan, Querétaro (21°33'11.11"N; 99°11'43.80"O); los suelos se encuentran bajo un uso de pastizal, acahual y bosque. Se describió la morfología de cada uno de los horizontes de acuerdo con el Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo (Siebe et al., 2006). Se tomaron muestras inalteradas de cada uno de los horizontes para estudiar el arreglo estructural y la distribución espacial de los agregados por micromorfología. En laboratorio se determinó la densidad aparente, textura, pH relación 1:2.5, carbono orgánico (CO), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables de acuerdo con el Manual del ISRIC (van Reeuwijk, 2002). Los suelos se clasificaron como: Stagnic Luvic Umbrisol (Endoeutric, Loamic, Hyperhumic) en el pastizal; Stagnic Luvic Phaeozem (Hyperhumic) en el acahual y Leptic Cambic Phaeozem (Clayic, Hyperhumic) en el bosque. En el Umbrisol del pastizal la estructura granular y subgranular de los horizontes Ap1 y Ap2 respectivamente, el contenido de CO del 7.3%, un pH ácido de 5.0-5.63 y una saturación de bases >50% le da a este suelo un carácter úmbrico. También se observa un recubrimiento de arcilla en las secciones delgadas, denotando un proceso de iluviación lo cual cumple con las características de un horizonte árgico. En el Pheozem del acahual el contenido de CO de 11.7% en el horizonte Ah1 y de 3.7% en el horizonte Ah2, con pH ligeramente ácido cumple con los criterios para un horizonte mollico, asociado a los procesos de humificación y acumulación de CO. En el Pheozem del bosque el contenido de CO es mayor que en los otros dos suelos (>11.7%) por lo que se considera un suelo hiperhúmico. Los principales procesos edafogenéticos en estas características del BMM son humificación y acumulación de MO, lixiviación de bases e iluviación de arcillas .

CS-2

## RENDZINAS DE LOS GEOSISTEMAS KÁRSTICOS DEL SUR DE MÉXICO: ¿PRODUCTOS DE LA PEDOGÉNESIS INCIPIENTE O RESIDUOS DE SUELOS DESARROLLADOS EXTINTOS?

Sedov Sergey[1], Solleiro Rebolledo Elizabeth[1], Cabadas Héctor[2] y Díaz Jaime[1]
[1]*Instituto de Geología, UNAM*
[2]*Universidad Autónoma del Estado de México*
serg_sedov@yahoo.com

Las Rendzinas - suelos someros calcáreos - dominan en el manto edáfico de los geosistemas kársticos, tanto montañosos, como los de la plataforma Yucateca, cubriendo las superficies elevadas y laderas. Estos suelos conforman la base edáfica para los ecosistemas de selva tropical así como para la agricultura tradicional actual y antigua. Típicamente, las Rendzinas se consideran como suelos primitivos, producto de pedogénesis incipiente; esta visión está plasmada en la clasificación de esos suelos, pues la mayoría se denomina como Leprtosoles réndzicos. Sin embargo en varios perfiles de Rendzinas en Quintana Roo y Chiapas encontramos rasgos y propiedades que se contraponen con esta versión. En estos perfiles, a pesar de la cercanía de la roca madre calcárea, la matriz está libre de carbonatos y contiene hasta 80% de arcilla silicatada y hasta 5% de Fe extraído con ditionito. La fracción arcilla consiste principalmente de vermiculita y caolinita que indican intemperismo avanzado en condiciones ácidas. Los estudios micromorfológicos han revelado, microfragmentos del suelo rojo arcilloso incorporados en la matriz. Estre las Rendzinas, a veces se encuentran áreas ocupadas por suelos rojos, arcillosos y profundos: Cambisoles y Luvisoles crómicos; su composición granulométrica y mineralógica se parece a las de las Rendzinas. Esas observaciones sustentan una hipótesis alternative de la génesis de las Rendzinas: se formaron a partir de materiales residuales, quedados después de la erosión avanzado de suelos más desarrollados. Para comprobar esta hipótesis, hemos realizado un estudio de los edafosedimentos – materiales redepositados de suelos erosionados. En la zona montañosa de Chiapas, encontramos suelos arcillosos gléeicos, gipsíferos en las depresiones, entre las lomas calcáreas. Su morfología difiere mucho de los suelos rojos y negros de las geoformas elevadas sin embargo su asociación de minerales arcillosos en similar. Se concluye que esos suelos se formaron a partir de los materiales erosionados de las lomas y laderas, luego transformados por los procesos reductomórficos y neoformación de yeso. La localización de esos edafosedimentos nos indica que se formaron principalmente por la erosión superficial lateral. En la plataforma de Yucatán observamos edafosedimentos rojos y negros que llenan las bolsas kársticas y cubren los pisos de cuevas y galerías subterráneas. Esas acumulaciones subterráneas de suelos redepositados nos hablan de un proceso de erosión vertical, oculta, como el mecanismo principar de destrucción de la cubierta edáfica. Los procesos de erosión tanto lateral en las zonas montañosas como vertical en la plataforma pueden estar acelarados por la actividad humana antigua: los fechamientos de radiocarbono de humus y carbón en los edafosedimentos kársticos corresponden al periodo de la cultura clásica maya cuando impacto antrópico alcanzó un máximo. Una propiedad intrínseca de las Rendzinas es su alto contenido de humus y su alta estabilidad que hace de esos suelos un almacén importante del carbono. Se supone que interacción entre arcilla, óxidos de hierro y materia orgánica en presencia de los carbonatos disueltos produzca unos complejos organominerales estables, sin embargo más investigación se necesita para revelar este mecanismo.

CS-3

## LOS SUELOS VOLCÁNICOS DE LA ZONA DE CONSERVACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO: FRAGILIDAD Y ALTERNATIVAS DE MANEJO

Solleiro Rebolledo Elizabeth[1], Rivera Uria Yazmín[1], Díaz Ortega Jaime[1], Chávez Vergara Bruno[1], Beltrán Paz Ofelia[1] y Vela-Correa Gilberto[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Universidad Autónoma Metropolitana*
solleiro@geologia.unam.mx

La porción sur de la Cuenca de México ha sido intensivamente usada para actividades agrícolas desde época pre-hispánica. El desarrollo de chinampas en las posiciones bajas (la zona lacustre) para este fin es solo una muestra del cambio de uso de suelo. Sin embargo, en las laderas de los cerros, también se ha llevado a cabo actividades agrícolas intensivas, que han promovido la degradación de los suelos y, en consecuencia, su erosión. En este trabajo presentamos los resultados de un estudio de suelos en el volcán Teuhtli, localizado en la zona de conservación de suelos de la Ciudad de México, con el objetivo de establecer la pedodiversidad y las modificaciones derivadas de los cambios de uso de suelo, sobre todo derivadas de actividades agrícolas. Las propiedades analizadas demostraron una fuerte degradación de los suelos agrícolas, sobre todo en cuanto a pérdida de estructura (evaluada en escalas macro y micro) y un bajo contenido de carbono orgánico. Con el fin de mejorar estos dos aspectos, se han llevado a cabo experimentos con la adición de mejoradores, como son el mucílago de nopal, composta y estiércol de bovino. Los resultados obtenidos hasta ahora muestran que, ante esta alternativa de manejo, se mejora la estructura del suelo, se promueve la formación de agregados estables y se incrementa el contenido de carbono orgánico. Gracias a esto, la erodabilidad del suelo disminuye al tiempo que aumenta su fertilidad.

CS-4

## LA QUEMA AGRÍCOLA EN VERTISOLS Y CAMBISOLS: CAMBIOS EN EL COLOR Y PROPIEDADES QUÍMICAS

Hernández González Vanesa[1] y Bautista Zúñiga Francisco[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
vanesahg96@gmail.com

El fuego es un elemento común en los sistemas de producción de roza-tumba-quema y en los cultivos de caña de azúcar alrededor del mundo, no obstante, existen posturas encontradas sobre el efecto de las quemas agrícolas en las propiedades del suelo, sin considerar que estos funcionan como aislantes térmicos. Aún existe poca información al respecto, pues se desconocen los efectos en la gran diversidad edáfica. Diversos trabajos han evaluado el impacto del fuego en el suelo. Una forma poco estudiada para conocer el efecto de las quemas agrícolas sobre el suelo de manera sencilla, rápida y económica es mediante la evaluación del color del suelo, ya que es una característica que permite hacer un diagnóstico simple sobre su estado; a la vez se ha identificado que ocurre un cambio inmediato en el color posterior a la quema. El objetivo fue evaluar el efecto del fuego en las propiedades químicas y de color de dos grupos de suelo, utilizando los parámetros e índices de color del suelo como indicador. El muestreo se realizó en dos parcelas donde se cultiva caña, una parcela con Cambisol y la otra con Vertisol. Se seleccionaron cinco sitios de muestreos por cada grupo de suelo, en cada uno se colectaron muestras cada 2 cm hasta una profundidad máxima de 20 cm. Posteriormente las muestras se secaron a la sombra y tamizaron a una malla de 2 mm para los análisis químicos y físicos. Para la medición de color, las muestras se tamizaron a un tamaño de partícula de 0.590 – 0.210 mm y se retiró la hojarasca, posteriormente se utilizó un Colorímetro (Konica Minolta Instruments Ltd), obteniendo datos en los sistemas CIE-L*a*b* y X, Y, Z, este último se transformó al sistema de color RGB. Los análisis estadísticos se realizaron mediante las pruebas de ANOVA II y Kruskal-Wallis de acuerdo con su normalidad. Por efecto de la quema el Cambisol presentó un aumento significativo en la materia orgánica (MO) y del valor del pH. Sobre el color, se observó una disminución significativa en L*, a* y b*, en cuanto a los índices, el índice de enrojecimiento (IRCIE-L*a*b* e IRRGB) presentó un aumento significativo en los primeros 2 cm, mientras que el Índice de saturación (ISRGB) presenta una disminución significativa después de la quema en todo el perfil de

Cambisol. En el Vertisol se observó un aumento en la conductividad eléctrica (CE) después de la quema. En los parámetros del color se observaron disminuciones en L*. En cuanto a los índices de enrojecimiento (IRCIE-L*a*b* e IRRGB) también presentó un aumento significativo en los primeros dos centímetros. El efecto del fuego agrícola de baja intensidad y tiempo fue benéfico en ambos suelos. El color del suelo mediante el IR puede ser utilizado como indicador en ambos grupos de suelo, los cambios ocasionados por una quema agrícola bien controlada no se apreciaron más allá de los primeros 2 cm de profundidad .

CS-5

## MODIFICACIONES MICROMORFOLÓGICAS EN SUELOS AFECTADOS POR UN EVENTO DE QUEMA PRESCRITA: CASO DE LA SIERRA DE MANANTLÁN, JALISCO, MÉXICO

Moreno Roso Sol de Jesus[1], Chávez Vergara Bruno[1], Quintero-Gradilla Shatya[2], Ruiz-Rojas María del Mar[1] y Solleiro Rebolledo Elizabeth[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara*
soldjmoreno@gmail.com

Las quemas prescritas (QP) son una práctica silvícola que se define como la inducción de un evento de fuego controlado, de baja severidad, con la finalidad de reducir la probabilidad de incendios forestales, la exclusión de especies no deseadas y la mejora de la fertilidad química de los suelos, sin que este proceso implique un deterioro de sus propiedades. Después de un evento de QP, el mayor impacto radica en la modificación térmica del mantillo, la formación de estructuras aromáticas que estabilizan la materia orgánica y el incremento de la concentración de nutrientes disponibles en los suelos. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar los cambios micromorfológicos de los suelos, después de una QP en un bosque de pino de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco. Para llevar a cabo lo anterior, se caracterizó un evento de QP en marzo de 2017. Previo a la quema, se trazó un transecto de 200 m con dirección SE-NO, en el cual se colectaron muestras en bloques inalterados de suelo cada 25 m, a 10 cm de profundidad. Este mismo procedimiento se realizó a las 28 h. De las muestras inalteradas se obtuvieron secciones delgadas para el análisis micromorfológico, realizado en un microscopio petrográfico. Los resultados revelan que este evento térmico (QP) afectó en mayor medida al mantillo y la fracción orgánica del suelo, debido a que el proceso de combustión oxidó los componentes orgánicos hasta carbonizarlos y en algunos casos dejó como producto final minerales no volátiles (cenizas). En las secciones delgadas se detectaron numerosas evidencias del efecto del fuego en el suelo como, cenizas, fragmentos de carbón, diferentes restos vegetales carbonizados, coprolitos y grasa animal quemados, agregados carbonizados, fracturados, disgregados y en algunos casos enrojecidos. El suelo mineral solo se vio afectado en el primer par de centímetros pues, hubo un enrojecimiento incipiente en zonas muy puntuales y la pérdida parcial de la estructura. Con base en estas observaciones microscópicas y la caracterización visual en campo, el suelo alcanzó un nivel 2 de severidad de la quema, correspondiente a una baja severidad con temperaturas < 250°C en la superficie.

CS-6

## FRACCIONAMIENTO DE FÓSFORO COMO INDICADOR DE ACTIVIDAD ANTRÓPICA EN PALEOSUELOS DE HACE 4500 AÑOS EN EL NOROESTE DE MÉXICO

Ibarra Arzave Georgina[1], García Oliva Felipe[1], Chávez Vergara Bruno[2] y Villalobos Acosta César[3]
[1]*Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM*
[2]*Instituto de Geología, UNAM*
[3]*Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM*
gigiotes81@yahoo.com.mx

En estudios arqueológicos se han utilizado diferentes moléculas de fósforo (P) en suelos y sedimentos para analizar actividades antrópicas. El objetivo de este estudio es identificar procesos antrópicos y pedogenéticos de tres paleosuelos localizados en el NW de México mediante el fraccionamiento de P, análisis físicos y micromorfométricos. En este trabajo se presentan los resultados de la investigación realizada en La Playa y Hornos, sitios arqueológicos con evidencia de ocupación humana durante el Holoceno tardío. Para este estudio se analizaron las propiedades físicas (distribución del tamaño del grano y susceptibilidad magnética), micromorfológicas y morfométricas; además, de las características biogeoquímicas (extracción de carbono, nitrógeno y fraccionamiento secuencial de fósforo). Los datos físico y biogeoquímicos se trabajaron mediante un análisis de redundancia. Los resultados mostraron que las propiedades físicas del suelo explican el 58 % (p= 0,002) de las características biogeoquímicas. Lo anterior se observa en el comportamiento de los dos ejes (x, y), en donde el primer eje separa las muestras por pedogénesis, explicando el 49 % de la varianza; mientras que el segundo eje muestra los horizontes con influencia antrópica. Este segundo eje se correlacionó con la relación Pi: Po extraída con HCl (R2=0,30), sugiriendo que esta relación Pi: Po es un indicador de la actividad antrópica en los paleosuelos en el NW de México.

CS-7

## USO DE LISÍMETROS PARA MONITOREAR EL BALANCE HÍDRICO, DE NUTRIENTES Y CONTAMINANTES EN SISTEMAS AGRÍCOLAS QUE REÚSAN AGUA RESIDUAL PARA RIEGO

Siebe Grabach Christina y Prado Pano Blanca Lucía
*Universidad Nacional Autónoma de México*
siebe@unam.mx

En este trabajo se presenta la estación de lisímetros de la UNAM, en la cual se da seguimiento a los cambios que ocurren en los procesos de interacción entre el suelo, el agua, la planta y la atmósfera en un sistema agrícola que usa agua residual o tratada para riego. La estación fue implementada en abril de 2018 como parte medular de un proyecto interdisciplinario en el cual se busca optimizar el manejo de sistemas agrícolas que reúsan agua residual con la finalidad de lograr un uso eficiente del agua y de los nutrientes, mientras se busca minimizar impactos negativos por diversos contaminantes presentes en el agua. Un lisímetro es un monolito de suelo de 1 m cúbico de volumen extraído cuidadosamente en campo preservando su arreglo estructural. El monolito se transporta hacia una unidad experimental construida ex profeso, con espacios en su techo de tal forma que la superficie quede expuesta al aire libre y puedan crecer plantas en él. Dentro del espacio experimental, el monolito queda asentado en un tripié equipado con básculas conectadas a un dispositivo de almacenamiento continuo de datos. La escorrentía y la percolación profunda se puede colectar y cuantificar de forma separada, y la evapotranspiración se obtiene por diferencia entre la entrada del agua y la suma de las salidas. Las entradas de agua se cuantifican con un pluviómetro o bien al regar al monolito con volúmenes conocidos. Para dar seguimiento al movimiento del agua se introducen sensores de humedad, del potencial matricial para medir el estado energético del agua del suelo, del potencial redox a diferentes profundidades a través de perforaciones laterales al cilindro que contiene el monolito de suelo. Estos sensores también se encuentran conectados a dispositivos de almacenamiento de datos, donde se guarda la información colectada en intervalos de tiempo convenientes. Además, es posible extraer la solución del suelo a diferentes profundidades con ayuda de cápsulas de succión conectadas a botellas de almacenamiento. Lo anterior permite dar seguimiento a sustancias transportadas por el agua a través del suelo, ya sea en disolución, o en forma de coloides. En la superficie del monolito se puede monitorear el desarrollo de las plantas, y también dar seguimiento a los flujos de gases del suelo hacia la atmósfera a través de la instalación de cámaras estáticas conectadas a un medidor de gases. El diseño experimental del proyecto consiste en seis monolitos extraídos de tres parcelas distintas del Valle del Mezquital con suelos de tipo Feozem vértico, regadas por más de 80 años con agua residual. Tres monolitos se siguieron regando con agua residual, mientras que los otros tres reciben ahora agua tratada. Se muestran los resultados obtenidos del primer ciclo de maíz, que evidencian que ambos sistemas de riego se diferencian en sus balances hídricos, de nutrientes y contaminantes.

CS-8

## MOVILIDAD DE METALES PESADOS A ESCALA LISÍMETROS - CASO VALLE DEL MEZQUITAL

Ziegler Rivera Francisco Robert Alexander, Prado Pano Blanca Lucía y Siebe Grabach Christina
*Instituto de Geología, UNAM*
alexunam49@gmail.com

El objetivo de este trabajo es comprender los efectos del cambio en la calidad del agua de riego en la movilidad de metales pesados y metaloides cómo As, retenidos en suelos representativos del Valle del Mezquital con un historial de riego de 90 años, comparando el balance de masas de estos elementos en dos tratamientos diferentes (agua tratada vs agua residual cruda), a escala lisímetro de suelo. El diseño experimental en la estación de lisímetros ubicada en Ciudad Universitaria, consiste en la aplicación de agua tratada y agua residual cruda, en tres lisímetros para cada tipo de agua, evaluando el balance de masas (concentración por volumen) de As y metales pesados, en el agua de riego y el agua de lixiviación, así como en maíz cosechado en la azotea de la estación. Los lisímetros son dispositivos que aíslan un volumen dado de suelo a una profundidad determinada (normalmente incluyendo todo el perfil de suelo), los cuales se utilizan, entre otras cosas, para recolectar agua de filtración y para determinar balances hídricos, siendo posible tener un registro permanente del peso del agua de entrada y salida. En el monitoreo realizado durante el primer ciclo del maíz de la estación de lisímetros (agosto 2019-enero 2020), se observó que en todos los lisímetros, en ambos tipos de tratamiento, existe una mayor salida de As en relación a la masa de entrada, lo que implica una lixiviación de este elemento a partir del suelo. Por otro lado, el Cu presentó un comportamiento similar en los lisímetros regados con agua cruda. A diferencia del As (en ambos tratamientos) y el Cu (en los lisímetros regados con agua cruda), el resto de los elementos analizados (Cd, Cr, Pb y Zn) presentaron masas de salida menores a las de entrada, siendo retenidos por el suelo. En relación a la concentración de metales en la planta de maíz, se observó que elementos cómo Cu, Pb y Zn, fueron absorbidos en el maíz (principalmente en el escenario con agua tratada). Este resultado indica la presencia de estos elementos en la solución de suelo. Lo anterior puede deberse a dos causas, (1) estos elementos son absorbidos desde el agua de riego que los contienen o (2), a que son liberados desde las capas superficiales del suelo, la cuales están en contacto directo con el maíz, lo que

indicaría que el agua tratada favorece la liberación de estos elementos (donde están asociados principalmente con materia orgánica). Este resultado indicaría que el riego con agua tratada favorece una mayor acumulación en el maíz en comparación con los lisímetros que se riegan con agua cruda. De acuerdo a las hipótesis de este trabajo, se ha observado que el tratamiento del agua ha ocasionado la acumulación de metales pesados en maíz, no obstante, aún queda por responder si esto mismo ocurre con otros cultivos, además, es importante destacar que aún se evalúan datos para conocer los procesos involucrados en la mayor acumulación de metales en tejidos vegetales en el escenario de agua tratada.

CS-9

## AGUA RESIDUAL EN JALES, ALTERNATIVA DE REMEDIACIÓN: IMPACTO EN EL DESARROLLO DE PROCESOS PEDOGENÉTICOS

López Erick[1], Díaz Jaime[1], Sedov Sergey[1], Romero Francisco Martín[1], Vázquez Astrid[1], Martínez Luis Gerardo[1], Ramos Inés[1] y García Daniel[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Grupo México, Buenavista del Cobre*
piloto.pokerick@gmail.com

Las actividades mineras impactan directamente al medio ambiente, particularmente al explotar minerales metálicos económicamente rentables. Los jales mineros contienen diferentes residuos derivados del proceso de beneficio. Estos suelos, clasificados por la WRB como Technosols, generalmente presentan bajos contenidos de materia orgánica, pH ácido, baja actividad biológica, poca o nula estructura de suelo y altas concentraciones de metales pesados. Otro inconveniente puede ser el drenaje ácido de mina, originado por la oxidación e hidrolisis de sulfuros metálicos. El objetivo de esta investigación fue identificar los procesos pedogenéticos que ocurren en los jales de la presa No. 3, en Buenavista del Cobre, específicamente, los ubicados en una zona en la que se han vertido aguas residuales, y compararlos con jales en zonas sin descarga de estas, y también con suelos naturales ubicados en las inmediaciones de esta presa. Con lo anterior se pretende determinar si la adición de agua residual ha disminuido la oxidación de sulfuros y si además ha favorecido el desarrollo de procesos pedogenéticos que, de otra forma, no se tendrían en la zona en un periodo corto de tiempo. Se describieron perfiles excavados en las diferentes zonas y se colectaron muestras inalteradas de cada horizonte descrito. Los análisis de laboratorio ayudaron a caracterizar física y químicamente cada horizonte y señalar las diferencias entre las distintas zonas. Los valores de pH en la zona con mayor influencia del agua residual varían entre 7.3 y 7.79. En las zonas con nula influencia de esta existen valores entre 5.76 y 6.19; mientras que en la zona de transición el pH varía entre 6.78 y 7.27. Para los suelos naturales los valores se encuentran entre 5.27 y 6.09. Las muestras analizadas presentaron concentraciones relativamente bajas de metales pesados. Las mayores concentraciones se obtuvieron para elementos como hierro, cobre y manganeso. Los suelos en los jales se clasificaron como diferentes tipos de Spolic Technosol. Los resultados de observaciones micromorfológicas en las láminas delgadas determinaron que los procesos pedogenéticos dominantes en los jales con descarga de agua residual son la acumulación de materia orgánica, bioturbación y poca intensidad en la oxidación de sulfuros. Mientras que en los jales sin descarga de agua residual se observa mayor intensidad en la oxidación de sulfuros, poca o nula acumulación de materia orgánica y menores evidencias de bioturbación. Los procesos pedogenéticos de mayor intensidad en los suelos naturales son la acumulación de materia orgánica, bioturbación, acumulación de óxidos e iluviación de arcillas. En conclusión, los suelos estudiados presentan características del material parental y muestran diferentes procesos pedogenéticos, que en el caso de los suelos en el jal, parecen estar influenciados por la zona a la que pertenecen, dentro o fuera de la influencia del agua residual; mientras que los suelos naturales presentan mayor tiempo de desarrollo y acumulación de óxidos. Lo anterior nos da una idea de que la adición de agua residual sí tiene un efecto que favorece y que podría emplearse como técnica de restauración en zonas de jales.

CS-10

## EMISIONES DE GASES CON EFECTO INVERNADERO DE SISTEMAS AGRÍCOLAS QUE USAN AGUA DE DISTINTA CALIDAD PARA RIEGO – ESTUDIO REALIZADO EN LISÍMETROS

Hudler Carla
*Universidad Nacional Autónoma de México*
carlahudler@gmail.com

El riego con agua residual (AR) aporta nutrientes y materia orgánica lábil al suelo e induce cambios en el contenido de humedad y disponibilidad de oxígeno en el suelo, por lo que influye sobre los principales procesos que dan origen a los gases con efecto invernadero (GEI). El Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo constituye uno de los sistemas más grandes de uso de agua residual en el mundo. La reciente apertura de la planta de tratamiento de aguas residuales de Atotonilco constituye una nueva fuente de agua para el riego agrícola en la zona. El agua tratada (AT) presenta un menor contenido de materia orgánica, por lo que su uso permite implementar métodos de riego que excluyen la necesidad de realizarlo por inundación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del cambio en la calidad de agua (AR vs AT) sobre las emisiones de CO2, CH4 y N2O en suelos agrícolas provenientes del Valle del Mezquital. Adicionalmente, se estimó el efecto de la lámina de agua de riego aplicada (riego moderado vs riego por inundación) sobre las emisiones de GEI. La emisión de CO2, CH4 y N2O se determinó mediante el método de la cámara cerrada y con ayuda de un analizador de flujo de suelo FTIR (espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier) tipo GasMet. Los datos se analizaron mediante métodos de máxima verosimilitud (REML, por sus siglas en inglés) acoplados a análisis de ante-dependencia. Los resultados indican que la calidad de agua para riego no ejerció un efecto significativo sobre la emisión de CO2, CH4 y N2O. Se registraron mayores emisiones de CO2 y N2O en los lisímetros regados con AR, lo cual se relacionó con un mayor aporte de materia orgánica. Se observó un efecto temporal derivado del riego sobre las emisiones de CO2, CH4 y N2O. El CO2 presentó un pico de emisión posterior al riego, mientras que, el N2O lo presentó pasadas 24 horas. El efecto de la lámina de agua de riego fue significativo para los tres gases. Los flujos de CO2 fueron mayores durante los riegos moderados, mientras que, los flujos de N2O se vieron favorecidos por el establecimiento de condiciones más reductoras durante los riegos por inundación. Los resultados sugieren que el CH4 se encuentra presente en el AR y no es producido en el sistema, ya que las emisiones se restringieron a los lisímetros regados con AR y únicamente se presentaron después del riego. Aunado a lo anterior, los valores de potencial redox permanecieron entre los 390 y 700 mV (condiciones óxicas). Se debe continuar con el monitoreo del sistema con la finalidad de evaluar si el cambio en la calidad de agua de riego puede ser una estrategia para mitigar la producción de GEI en los suelos del Valle de Mezquital.

CS-11

## CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y ACTIVIDAD MICROBIANA DURANTE LA DESCOMPOSICIÓN IN SITU DEL SARGAZO (SARGASSUM SP.) EN COZUMEL, MÉXICO

Chávez Vergara Bruno, Beltrán Paz Ofelia Ivette, López Martínez Rafael Antonio y Solleiro Rebolledo Elizabeth
*Instituto de Geología, UNAM*
chavezvb@geologia.unam.mx

En la última década, algunas costas del caribe mexicano han recibido un incremento notable en el arribo y depósito de macroalgas del género Sargassum, genéricamente denominado sargazo. Se calcula que tan sólo en 2018 se acumularon 275,000 metros cúbicos en 6 kilómetros lineales de costa en pilas de hasta 50 cm de altura. Se ha reportado que la biomasa del sargazo presenta una elevada concentración de nitrógeno, polisacáridos hidrolizables y compuestos fenólicos lo cual genera un escenario interesante para su utilización como biofertilizante. Sin embargo, se ha reportado que esta biomasa puede contener una elevada concentración de elementos potencialmente tóxicos, lo cual genera potencialmente un problema económico, ambiental y de salud para los pobladores de la zonas impactadas. Sin embargo, aun cuando el tema es de elevado interés, se conoce muy poco sobre el proceso de descomposición de la biomasa de sargazo una vez que se ha arribado a la costa. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo Caracterizar los cambios en la composición química y actividad microbiana durante la descomposición in situ del sargazo en Cozumel, México. En septiembre de 2018, se seleccionó un sitio rocoso donde se había acumulado sargazo desde el inicio del arribo en junio del mismo año y se abrió un corte en la pila para identificar la formación de estratos hasta el contacto con la roca. En cada estrato se colectaron muestras, las cuales fueron almacenadas a 4°C hasta su análisis en laboratorio. Se cuantifico el pH, conductividad eléctrica, concentración de C, N y P totales y sus relaciones estequiométricas, concentración total y en lixiviados de As, Cd, Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, biomasa microbiana, actividad enzimática y se caracterizó la composición química de la biomasa de sargazo mediante ATR-FTIR. Se observó que el sargazo acumulado se estratificó en cuando menos cinco capas reconocibles, esto de manera análoga a lo que ocurre con el mantillo en ecosistemas terrestres con diferencia que estos se mantienen con humedad <50%. La estratificación sugiere que el tiempo transcurrido desde el arribo hasta la colecta ha sido suficiente para la diferenciación morfológica del material vegetal, el cual llega a condiciones de fragmentación avanzada en la capa más profunda. La composición química se diferenció entre estas capas mostrando la preservación principalmente de compuestos aromáticos y alifáticos en el estrato más profundo, mientras que la concentración de elementos potencialmente tóxicos, la concentración de C y N y la eficiencia de la comunidad microbiana disminuye en favor de la profundidad. Lo anterior, resulta de interés para comprender la dinámica de la descomposición y la heterogeneidad de la biomasa de sargazo depositada en costa y su posible empleo como biofertilizante.

CS-12

## TELEDETECCIÓN PARA EVALUAR EL IMPACTO HISTÓRICO Y FUTURO DE ACTIVIDADES MINERAS A CIELO ABIERTO A PARTIR DEL CAMBIO DE CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DE SUPERFICIE EN EL MUNICIPIO DE CAUCASIA, ANTIOQUIA-COLOMBIA

Moscoso Perdomo Danna Paola, González
Manosalva José Luis y Muñoz García Andrés Mauricio
*Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM*
dannamoscoso282121@correo.itm.edu.co

Al norte del departamento de Antioquia-Colombia, se sitúa la subregión del Bajo Cauca Antioqueño. La vereda de Margento, perteneciente al municipio de Caucasia de dicha región, cuenta con un área de extracción de oro de depósitos aluviales. Uno de los renglones más importantes de las actividades sociales y económicas de los habitantes en la región es la actividad minera, ya que el suelo y el subsuelo de la zona es rica en material aurífero. Sin embargo, las operaciones de explotación producen cambios en los usos del suelo (CUS) que pueden tener efectos positivos o negativos sobre las condiciones ecológicas y climáticas del medio ambiente a diferentes escalas. El objetivo principal de este estudio es analizar los impactos ambientales producidos en un lapso de tiempo comprendido entre 2013-2021, debido a la actividad minera, a partir del cambio de características biofísicas de la superficie, entendidas como: cambios en el uso del suelo, cambios en la temperatura de la superficie (CTS) y los cambios en la cobertura de vegetación. mapeo de CUS, CTS y el cálculo del Índice Normalizado de Vegetación – NDVI. La metodología del trabajo fue: a) Se emplearon las bandas ópticas de las imágenes Landsat 7 y 8 para extraer los cambios CUS de 2013 a 2021 con base en la clasificación de Random forest; b) los cambios de CUS en el futuro se predijeron utilizando el modelo CA-Markov; c) los mapas de cobertura vegetal y CTS se calcularon con base en el algoritmo de un solo canal y el NDVI, respectivamente, para diferentes fechas; d) se investigó la tendencia de variaciones de CTS y NDVI, causada por cada tipo de cambios de CUS en diferentes períodos de tiempo; e) se utilizó el modelo CA-Markov para predecir los mapas futuros de CTS y NDVI. Producto del análisis se evidencia que el área de las tierras de minería se incrementa, la superficie de los espacios verdes se reduce, hay una expansión de áreas de alta temperatura y NDVI bajo, tanto para los datos históricos de 2013 – 2021 como los futuros. Los resultados de la predicción se encuentran en procesamiento, pero de acuerdo con los artículos consultados se indica que hasta el 2078, el área de tierras mineras aumentará y los espacios verdes tenderán a disminuir. La aplicación de modelos predictivos nos brinda una oportunidad para obtener información sobre los cambios futuros en el ecosistema y tomar medidas de protección contra situaciones que afectarán el características y dinámicas medio ambientales. De acuerdo con las direcciones futuras, se recomiendan estudios que tengan como objetivo nuevos métodos de exploración que permitan una explotación más precisa, disminuyendo el área a intervenir. Creemos que la geofísica tiene esta posibilidad disminuyendo el impacto ambiental.

CS-13

## EFECTO DEL ESTABLECIMIENTO NATURAL DE DOS ESPECIES DE PLANTAS EN UN JAL MINERO ABANDONADO EN VETAGRANDE, MÉXICO

Solis-Hernández Anaid Penelope[1], Rivera-Becerril Facundo[1], Rodríguez-Tovar Aída Verónica[2], Beltrán Paz Ofelia[3] y Chávez Vergara Bruno[3]
[1]*Universidad Autónoma Metropolitana*
[2]*Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN*
[3]*Instituto de Geología, UNAM*
penelope.sol.hernan@gmail.com

En México, millones de toneladas de desechos mineros se depositan a cielo abierto. Su contenido en elementos potencialmente tóxicos (EPT) representa un riesgo ambiental. En los jales mineros se establecen comunidades vegetales pioneras, asociadas a una determinada diversidad de hongos; las plantas y los hongos son fundamentales en la rehabilitación natural de los jales mineros. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el impacto del establecimiento natural de dos especies vegetales sobre la actividad microbiana y la composición de la comunidad fúngica, así como sobre la mitigación de EPT en un jal minero. En un jal denominado Jal Viejo en Vetagrande, Zacatecas se, seleccionaron tres sitios con base en la cobertura vegetal: uno vegetado por Reseda luteola, otro vegetado por Asphodelus fistulosus y uno sin vegetación. En cada sitio se colectó sustrato, en el caso de los sitios vegetados asociado a la rizosfera y biomasa vegetal. Se realizó la caracterización físico-química la cual incluyó la cuantificación de EPT; así como la actividad enzimática, la mineralización del carbono. También determinamos la diversidad fúngica en los sustratos y en el interior de las raíces, y estimamos la acumulación de carbono, nitrógeno, fósforo y EPT en tejidos vegetales. Los relaves tenían un alto porcentaje de arena; el sitio sin vegetación presentó la mayor conductividad eléctrica y la cobertura vegetal redujo la concentración de EPT en los sustratos. Las plantas aumentaron el contenido de carbono en los relaves. Las actividades enzimáticas de la #-glucosidasa y deshidrogenasa, y la mineralización del carbono fueron más altas en el sitio vegetado con A. fistulosus. R. luteola y A. fistulosus acumularon EPT en sus tejidos y exhibieron potencial en la fitorremediación de Pb, Cd y Cu. La diversidad de hongos fue más elevada en los sitios con vegetación que en el sustrato sin vegetación. Ascomycota predominó en los sustratos; los sustratos y las plantas compartían algunos taxones de hongos, pero otros taxones eran específicos. La cobertura vegetal y la rizosfera promovieron la atenuación natural de las condiciones extremas de los residuos mineros, moduladas por las especies vegetales y su rizosfera, lo que influye en una rehabilitación paulatina.

CS-14

## EVALUACIÓN DE TECHNOSOLES DE ORIGEN MINERO A NIVEL DE INVERNADERO

Díaz Jaime[1], Romero Francisco[1], Chávez Vergara Bruno[1], Martínez Jardines Luis Gerardo[1] y Zamora Monserrat[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*FES Zaragoza, UNAM*
biotic08@gmail.com

El presente estudio se desarrolló utilizando materiales de desecho del sitio minero de Peña Colorada, el cual se ubica al NE del estado de Colima, México. Es un yacimiento orto-magmático donde predomina la magnetita (>85%). Este yacimiento se encuentra en la Formación Mamey en la sub-provincia de la Sierra Madre del Sur. En la mina de Peña Colorada se extrae hierro y los jales producto de estas extracciones son depositados en la presa Arrayanal y Guasimas. La región tiene un clima semi-cálido subhúmedo con lluvias en verano y una precipitación media anual de 1600 mm, la temperatura media de 26.3°C. El desarrollo de Technosoles a partir de desechos de mina es el principal objetivo de esta investigación, en donde se reconocieron y caracterizaron de los principales subproductos de mina (roca caliza, conglomerado procedente del cerro León Dormido, jal no oxidado y jal oxidado, estiércol, aguas negras) con los cuales se formularon 3 tipos de Technosoles que se probaron a nivel de invernadero utilizando el pasto Lollium perene como bioindicador. Todos los Technosoles tuvieron desarrollo del pasto Lollium perene exceptuando el testigo con jales oxidado el cual no promovió el desarrollo de plantas ni la germinación. Mientras los Technosoles con enmiendas orgánicas que presentaron mayor desarrollo de biomasa fueron el estiércol y el agua negra. Los Technosoles formados a partir de jales no oxidados de Guasimas tuvieron uno de los rendimientos más altos al igual que el conglomerado del cerró León Dormido. El buen desarrollo de los pastos en los Technosoles principalmente con las enmiendas de estiércol o agua negra presupone un ahorro sustancial del 60% de materiales de préstamo que de cualquier otra manera tendrían que ser extraídos transportados y mezclados para desarrollar una cubierta edáfica, el cual es adecuada para el desarrollo de vegetación, convirtiendo a estos en la opción para el establecimiento de vegetación en la presa de jales de Guasimas.

CS-15

## CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS POSIBLEMENTE IMPACTADOS POR ACTIVIDADES MINERAS PROVENIENTES DE LOS ARROYOS LOCALIZADOS EN ZONAS MINERAS DE SONORA PARA SU USO POTENCIAL COMO TECNOSUELOS

Piedra Jorge, Romero Francisco Martín y Martínez Jardines Luis Gerardo
*Universidad Nacional Autónoma de México*
gabriel.rushcx@gmail.com

La actividad minera lleva consigo la potencial contaminación de diferentes matrices ambientales, como es el caso de sedimentos y agua. Al norte de Sonora, se llevan a cabo procesos de lixiviación de cobre de terreros que al no contar con medidas adecuadas de protección al ambiente llegan a impactar a los sedimentos y el agua de los arroyos cercanos. sin embargo, estos sedimentos pueden someterse a tratamientos adecuados para generar Tecnosuelos, los cuales son suelos artificiales cuyas propiedades están definidas por su orígen técnico (WRB, 2006), estos pueden ser empleados como reemplazo del suelo natural que requiera remediación ambiental, siendo una opción económica que permite una adecuada re-integración al paisaje. En el presente estudio se colectaron y analizaron sedimentos de los arroyos cercanos a los terreros de lixiviación. Durante el trabajo en campo se percibio una notable presencia de sales eflorescentes color blanco y azul verdoso en la superficie del cauce; los sedimentos tienden a ser ácidos, presentan baja salinidad, mientras que la concentración de elementos potencialmente tóxico (EPT) están por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Con los antecedentes expuestos, se recolectaron sedimentos provenientes de cuatro sitios seleccionados de manera aleatoria durante un muestreo exploratorio en el arroyo con el fin de utilizarlos como base para desarrollar Tecnosuelos. En total se tomaron 4 muestras compuestas por 8 submuestras. Para el análisis químico en laboratorio se tomó una muestra de cada sedimento por método del cuarteo, las cuales fueron identificadas como S1, S2, S3 y S4. El pH y conductividad eléctrica (CE) se midieron con potenciómetro en agua relación 1:2. La concentración de metales y metaloides se analizó por fluorescencia de rayos X (FRX). Los análisis de fertilidad fueron realizados en un laboratorio comercial. Los resultados indican que los sedimentos tienen pH ácido con valores en un rango de 3.08 a 4.51; CE de 0.002 a 0.0109 dS/m, el intervalo en la concentración de elementos potencialmente tóxicos fue de 29.58 a 65.01, 492.57 a 620.77, 21.2 a 58.54 y 30.16 a 123.13 mg/Kg para As, Ba, Cr y Pb respectivamente. Puesto que no tenemos datos de

fertilidad podemos indicar solamente que dadas las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos y CE baja, es decir, bajo contenido de sales; los sedimentos son una excelente opción como materia prima para Tecnosuelos, si se mezcla con roca caliza y/o alguna enmienda orgánica como composta o aguas residuales, se puede neutralizar el pH, además de proporcionar una mejor textura y desarrollo de estructura de los sedimentos para formar Tecnosuelos.

CS-16

## CUBIERTA GEOQUÍMICA PARA EL ABANDONO SEGURO DE UNA PRESA DE JALES

Reyes Tenorio Brayan, Martínez Jardines Luis Gerardo y Martín Romero Francisco
*Instituto de Geología, UNAM*
brayan_598@comunidad.unam.mx

La actividad minera es de gran importancia para el desarrollo de la sociedad, sin embargo, presenta un gran problema durante la concentración, ya que las leyes de minerales de interés son muy bajas, y por tanto los residuos generados durante la flotación de minerales, denominados jales, superan por varios órdenes de magnitud al mineral de interés obtenido, que al estar expuestos al agua y oxígeno, generan drenaje ácido de mina. En el presente trabajo se logró crear una cubierta geoquímica denominada tecnosuelo, se realizaron análisis geoquímicos a cada una de las muestras de jal, suelo de la zona, roca caliza y abono orgánico; para determinar la composición, geodisponibilidad de elementos potencialmente tóxicos, fertilidad, potencial de acidez y potencial de neutralización. Se desarrolló una formula, que brinda la cantidad necesaria de jal, roca caliza, suelo, y además de abono orgánico para que el tecnosuelo formado presente las características y concentraciones similares al suelo de la zona. Se formularon 3 tecnosuelos a diferentes concentraciones de abono orgánico y así buscar las mejores condiciones para una posible reforestación en la zona. De acuerdo a los análisis geoquímicos realizados en los tecnosuelos, se encontró que pueden prevenir el drenaje ácido de mina, ya que la relación entre el potencial de neutralización y potencial de acidez es mayor a 3, la cual se encuentra regulado por la NOM-141-SEMARNAT-2003. Además, la geodisponibilidad de los elementos potencialmente tóxicos se encuentran en concentraciones por debajo de los límites máximos permisibles regulados por la NOM-052-SEMARNAT-2005 reduciendo el riesgo ambiental y a la salud humana. Así mismo, de manera cualitativa se evaluó la germinación y crecimiento de pasto en cada uno de los tecnosuelos en pequeñas macetas, la cual se desarrolló de manera favorable. Con estos estudios se logró la optimización de cada fracción en el tecnosuelo, logrando resultados favorables para la realización y aplicación de una cubierta geoquímica para el abandono seguro de una presa de jales, previniendo la generación de drenaje ácido de mina y la geodisponibilidad de elementos potencialmente tóxicos, cumpliendo con las regulaciones ambientales de acuerdo a las normas oficiales mexicanas, y brindando características similares a la zona para que pueda realizarse a futuro, una posible reforestación en la zona, en beneficio de la población y el medio ambiente.

CS-17 CARTEL

## EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA DISPONIBLE EN SUELO AL FINAL DE LA ESTACIÓN SECA A LO LARGO DE UN GRADIENTE DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DE CUITZEO, MICHOACÁN

Reyna Pérez Antonio, Solleiro Rebolledo Elizabeth, Beltrán Paz Ofelia, Alcalá Martínez René y Chávez Vergara Bruno
*Universidad Nacional Autónoma de México*
jantonioreynap@gmail.com

Comúnmente la precipitación es utilizada como un indicador de la disponibilidad de agua para las plantas; no obstante, éstas no absorben el agua directamente de la lluvia, sino que lo hacen a través de sus raíces desde el suelo. Por lo que el agua edáfica es la principal fuente de agua para las plantas. El objetivo del presente trabajo fue establecer la relación entre la cantidad de agua disponible y las propiedades físicas del suelo a lo largo de un gradiente de precipitación en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán. Con base en la precipitación anual media (PAM) se seleccionaron cuatro sitios en un gradiente desde 850 hasta 1,200 mm y con coincidencia en la vegetación dominante, y en cada sitio se abrió una calícata de 100 cm de profundidad. En cada una se delimitaron los horizontes presentes y se recolectaron muestras para determinar la distribución del tamaño de las partículas, densidad aparente y real, porosidad, conductividad hidráulica, pH en agua y en NaF, concentración de carbono orgánico, humedad de campo y humedad al punto de marchitez permanente (PMP). Con los datos obtenidos se estimó la cantidad de agua disponible para las plantas al final de la estación seca y se realizó una prueba de correlación no paramétrica entre este parámetro y la precipitación anual media, además se llevó a cabo un análisis de regresión lineal múltiple por pasos entre las características edáficas y el agua disponible en cada horizonte. Consistentemente, los cuatro perfiles estudiados presentaron dos secciones de desarrollo edáfico delimitados por una discontinuidad litológica a los 30 cm de profundidad. En todos los sitios se determinaron clases texturales predominantemente arcillosas, con valores de pH ligeramente ácidos (# 6.5), y una disminución constante en la concentración de carbono orgánico con la profundidad. Excepto en el sitio con menor PAM, se observó un aumento en la densidad aparente con el aumento de la profundidad, así como una disminución en la conductividad hidráulica y porosidad en el mismo sentido. El porcentaje de espacio poroso, la concentración de carbono orgánico y el espesor de cada horizonte fueron los mejores predictores (R2=0.66) de la cantidad de agua disponible de cada horizonte. El contenido de agua disponible para las plantas al final de la estación seca en un metro cúbico de suelo fue mayor en el sitio con menor PAM, lo cual coincide con el aumento de la porosidad y conductividad hidráulica después de la discontinuidad. También coincide con el contenido de agua a humedad de campo casi constante a lo largo del perfil, aunado a un menor contenido al PMP comparado con los otros sitios; mientras que en el sitio con el segundo valor más alto de PAM se determinó el menor contenido de agua disponible. No se encontró relación entre el contenido de agua disponible y la PAM, lo cual sugiere que las condiciones edáficas determinan la capacidad de almacenamiento de agua disponible para la plantas aun sobre los patrones de precipitación anual media.

CS-18 CARTEL

## ALMACENAMIENTO DE C, N Y P EN SUELOS ASOCIADOS QUERCUS CASTANEA A LO LARGO DE UN GRADIENTE DE PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DE CUITZEO, MICHOACÁN

Condado Mejía Paola[1], Reyna Pérez Juan Antonio[2], Beltrán Paz Ofelia Ivette[3], Solleiro Rebolledo Elizabeth[3], García Oliva Felipe[4] y Chávez Vergara Bruno[3]
[1]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[2]*Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM*
[3]*Instituto de Geología, UNAM*
[4]*Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM*
paolacondado@gmail.com

Los suelos son el principal almacén de carbono orgánico (C) en los ecosistemas terrestres. Sin embargo, en los suelos también se almacenan otros elementos de elevada importancia para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, tal como son el nitrógeno (N) y el fósforo (P). La cantidad de estos elementos que se almacenan en los suelos está en función del balance entre la incorporación y pérdida, lo cual puede estar fuertemente influido por las condiciones ambientales. Uno de los principales reguladores ambientales que es empleado en modelos predictivos es la precipitación, ya que en función de esta se pueden explicar procesos como la productividad primaria y el desarrollo edáfico a través de la velocidad en el intemperismo y transformación de los minerales. Sin embargo, en ocasiones hay procesos no fácilmente observables que regulan el almacenamiento de elementos en los suelos. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo establecer la relación entre la precipitación anual media y el almacenamiento de C, N y P en suelos asociados a la misma especie vegetal dominante (Q. castanea). Para alcanzar el objetivo, se seleccionaron cuatro sitios a lo largo de un gradiente de precipitación y en cada uno de ellos se abrió una calicata a un metro de profundidad y, una vez identificados y descritos los horizontes, se colectaron muestras para la cuantificación de C orgánico, N y P totales. Así mismo se colectaron muestras inalteradas para la cuantificación de la densidad aparente, con la cual se calculó el contenido de C, N y P por horizonte y derivado de la sumatoria de todos los horizontes de un mismo perfil, el contenido en 1 m3. Se realizó un análisis de correlación lineal para establecer la relación entre la concentración de elementos y la precipitación anual media. Los resultados mostraron que existen características en los suelos (por ejemplo, discontinuidades litológicas) que modifican el contenido de elementos verticalmente en el perfil. Esto es que en algunos perfiles no se observa la disminución gradual conforme aumenta la profundidad y que produce que no haya una correlación significativa con el nivel de precipitación anual media. Lo anterior, resulta relevante para incluir otros aspectos edáficos a la modelación en la respuesta ante escenarios de modificación de la precipitación a futuro.

CS-19 CARTEL

## CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTAS DE MANEJO DE SUELOS AGRÍCOLAS SALINOS DE LA ZONA EJIDAL DE SANTIAGO, TULYEHUALCO, CDMX

Martínez Jardines Luis Gerardo, Ceniceros Gómez Agueda Elena, Martín Romero Francisco y Uribe Castillo Violeta Andrea
*Universidad Nacional Autónoma de México*
lgmartinezj@geologia.unam.mx

Desde la época prehispánica, la agricultura ha sido la base de la alimentación para la población del valle de México. Tras la llegada de los mexicas al islote donde se fundaría la ciudad de Tenochtitlán , construyeron sistemas de producción agrícola (chinampas), los cuales permitieron dividir las aguas saladas de Texcoco y las dulces de los lagos del sur y la agricultura.Actualmente, las chinampas son isletas irregulares, que conservan la combinación entre plataformas y canales, ubicadas en las alcaldías Tláhuac y Xochimilco, al sur de la Ciudad de México, en los pueblos de Xochimilco, San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco, Santiago Tulyehualco, San Pedro Tláhuac y San Andrés Mixquic.Estos suelos arcillosos se formaron a partir de la acumulación de materiales aluviales y cenizas volcánicas ,compuestos por iones calcio, sodio, magnesio y potasio, que por meteorización fueron liberados, formando iones solubles, responsables de la salinidad del suelo, además de actividades antrópicas.Ante esta problemática, se estudiaron suelos de la zona ejidal de Santiago Tulyehualco, al suroriente de la Ciudad de México, siguiendo los lineamientos de las normas: NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004(NOM-147),

NMX-AA-132-SCFI-2016(NMX-132), y la NOM-021-SECNAT-2000(NOM-021).Las variables de respuesta fueron conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y pH. Las muestras de suelos presentan costras blancas en la superficie, una CE entre 2-20dSm-1, PSI >15 y un pH alrededor de 7.0-8.1, observando que a valores de CE entre 0-2dSm-1 el rendimiento de los cultivos es adecuado, entre 4-8dSm-1 el rendimiento se ve afectado y >8dSm-1 el rendimiento es nulo.También, se llevó a cabo el análisis de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT´s) por la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) , cuyas concentraciones son : molibdeno 8-37mg/Kg, zinc 21-53mg/Kg, cobre 46-82mg/Kg , manganeso 107-218mg/Kg ,vanadio 254-247mg/Kg, titanio 849-1798mg/Kg ,potasio 1931-4399mg/Kg, hierro 7639-12828mg/Kg y calcio 12538-36119mg/Kg.Mientras que para el análisis del agua de riego, se empleó la técnica de Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES), cuyas concentraciones de EPT´s son: molibdeno 0.01mg/L, manganeso 0.06-0.12mg/L, zinc 0.02-0.14mg/L, hierro 0.04-0.21mg/L, aluminio 0.03-0.56mg/L, magnesio 9.4-15.2mg/L , potasio 9.3-15.9mg/L y calcio 14.8-23.5mg/L, determinado que el suelo y el agua de riego de la zona están libres de EPT´s, pues las concentraciones son menores a las de referencia indicadas en la NOM147.Actualmente se continua con la caracterización de estos suelos, tomando en cuenta la NOM-021 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, a fin de proponer una estrategia para la disminución de la salinidad en suelos y beneficiar el crecimiento de cultivos en la zona, contemplando las tecnologías descritas en la literatura (fisicoquímicas o biológicas).

CS-20 CARTEL

## PEDODIVERSIDAD EN EL KARST DE MONTAÑA DEL ESTADO DE CHIAPAS

García Pamela[1], Guillen Karla[1], Sedov Sergey[2] y Golden Charles[3]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*UNAM*
[3]*Brandeis University*
arqueopams42@outlook.com

El desarrollo de suelos sobre paisajes kársticos está altamente influenciado por las aportaciones de material parental, ya sea como residuo insoluble de las rocas carbonatadas o como material alóctono de diferentes posibles orígenes, así como por su movimiento lateral y vertical resultado de la evolución del paisaje kárstico. Estas condiciones han formado suelos particulares para los geosistemas kársticos como lo son las Terra Rossas y los suelos Rendzicos. La zona de estudio se encuentra en la región del alto Río Usumacinta, la cual se encuentra al este del estado de Chiapas, cercano a la frontera con Guatemala. Esta región está conformada por calizas plegadas formando un paisaje kárstico de sierras, lomeríos y valles. Esta zona presenta una alta densidad de vestigios prehispánicos mayas por lo que ha sido constantemente estudiada dentro de proyectos arqueológicos, uno de estos es el Proyecto Arqueológico Chocolja-Busiljá (PABC) que, en colaboración con el instituto de Geología de la UNAM y el grupo de Paleosuelos, se han enfocado en un estudio pedológico del área para comprender las relaciones entre suelo y sociedad. El presente trabajo muestra avances de esta investigación enfocándose en la pedodiversidad presente en el área, su distribución dentro del paisaje kárstico y su relación con los antiguos asentamientos prehispánicos presentes en la zona. Al momento se han registrado diversos tipos de suelos como los Phaeozem, Leptosol, Cambisol, Regosol, Luvisol, Fluvisol, Technosol y Gleysol; estos presentan particularidades según su ubicación dentro de la zona de estudio y su ubicación en el relieve. Algunas de estas particularidades pueden ser la presencia de material antrópico (ej. cerámica o hueso), en áreas cercanas a la ocupación prehispánica, o suelos con alto aporte de material redepositado tanto de manera natural como por actividad antrópica, también se cuenta con suelos con características gleycas que además han favorecido la generación de cristales de yeso en un área tropical donde no se esperaría encontrar esta característica. Además de las diferencias en el desarrollo de los suelos presentes en la zona según su posición en el relieve, ha sido visible un marcado uso del suelo por parte de los mayas, con presencia de asentamientos en las zonas altas del relieve y un uso agrícola en las zonas bajas con posible existencia de canales.

CS-21 CARTEL

## CAMBIOS A CORTO PLAZO EN LA MICROMORFOLOGÍA Y EN LA ESTABILIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS VOLCÁNICOS CON USO AGRÍCOLA AL SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO POSTERIORES AL CAMBIO DE FERTILIZACIÓN

Rivera Maria Yazmin[1], Chávez Vergara Bruno[1], Nava-Arsola Edith[2], Díaz-Ortega Jaime[1], Beltrán Paz Ofelia[1], Martínez Jardines Luis Gerardo[1] y Vela-Correa Gilberto[3]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Posgrado de Sostenibilidad, UNAM*
[3]*UAM-Xochimilco*
petuzza@gmail.com

En la parte sur de la Cuenca de México, se tiene registro sobre el empleo de los suelos para actividades agrícolas desde la época prehispánica. En el caso de los sitios de ladera, los suelos han sufrido deforestación, erosión y modificación a nivel de paisaje como se aprecia con la construcción de terrazas. Como consecuencia de esta intervención humana, actualmente lo suelos empleados para las actividades agrícolas presentan un bajo desarrollo edáfico y baja fertilidad. El objetivo de este trabajo fue el evaluar los cambios a corto plazo en la micromorfología y en la estabilización de la materia orgánica en suelos volcánicos con uso agrícola al sur de la Ciudad de México posteriores al cambio de fertilización. En un terreno agrícola comúnmente empleado para la producción de avena de temporal con fertilización sintética, se estableció un diseño en bloques aleatorios para probar tratamientos de cambios de fertilización en la producción de avena. Los tratamientos fueron: estiércol vacuno, lombricomposta, urea, de no adición y triple 16, éste último como testigo. Al final del experimento se tomaron muestras inalteradas para la preparación de secciones delgadas y muestras alteradas a las cuales se les cuantificó la concentración de carbono orgánico total y posteriores a un fraccionamiento por densidad. La presencia de materiales orgánicos en los horizontes Ap se debe a los restos orgánicos del cultivo reciente y sobre todo en los tratamientos lombricomposta y estiércol que aumentan significativamente con diferentes etapas de degradación, en comparación con el testigo. En estos mismos tratamientos se identificaron incipientes reorganizaciones estructurales. Además, de que se identificó el mayor porcentaje de porosidad, en especial el tratamiento de lombricomposta, conforme al estudio morfométrico. El cambio de fertilización promovió cambios en la concentración y distribución de materia orgánica a través de su interacción con las partículas del suelo, se observó que cuando se suspende la adición de fertilizantes la concentración de materia orgánica, expresada como carbono orgánico (CO), disminuyó y aumentó relativamente el CO en la fracción mineral fina (<53 $\mu$m) pero cuando se adiciona estiércol, no solo aumenta la concentración de CO así también se incrementa de forma absoluta la concentración de CO en la fracción fina con lo cual esta materia orgánica estaría efectivamente protegida en contra de la descomposición biológica. Como conclusión se identificó que la adición de enmiendas orgánicas: estiércol y lombricomposta en los cultivos promovieron cambios significativos sobre la micro estructura del suelo, formando pequeñas agregaciones de las partículas minerales asociadas a los restos orgánicos. Esto se correlaciona con el aumento de CO en los tratamientos con enmiendas orgánicas, en especial el estiércol donde se observó que la materia orgánica se encuentra asociada a las fracciones finas.

CS-22 CARTEL

## NITRATOS PROVENIENTES DE LA APLICACIÓN DE ABONOS EN LADERAS CULTIVADAS CON NOPAL VERDURA EN MILPA ALTA, CDMX

Vela-Correa Gilberto[1], Rodríguez-Gamiño María de Lourdes[2] y López-Blanco Jorge[3]
[1]*Universidad Autónoma Metropolitana*
[2]*Facultad de Filosofía y Letras, Colegio de Geografía, UNAM*
[3]*Global Change Consulting*
gvela@correo.xoc.uam.mx

La alcaldía de Milpa Alta, es la principal productora de nopal verdura (Opuntia ficus-indica L.) en la CDMX, con una superficie cultivada de 2,864 ha a cargo de 5,300 productores, donde es frecuente la aplicación de hasta 600 t ha-1 de estiércol fresco de bovinos. Se estima que la cantidad potencial de este insumo puede llegar hasta 1.71 millones de toneladas anuales, por lo que es obligado considerar los efectos ambientales que estos volúmenes de abonos podrían generar. Los nitratos son una forma soluble de nitrógeno que se mueve con el agua en el suelo, siendo fácilmente lixiviados. Además, es la forma principal en que se absorbe por las plantas, incluido el nopal verdura, pero al ser aplicados en una zona considerada como de recarga natural del manto acuífero, puede ser un factor de riesgo que afecte la calidad del agua que se consume en la CDMX. El objetivo fue determinar las concentraciones de nitratos (N-NO3-) provenientes de la aplicación de abonos en parcelas cultivadas con nopal verdura en laderas con diferente orientación en Milpa Alta, CDMX. Se tomaron ocho muestras de suelos a una profundidad de 0-20 cm distribuidos en dos laderas con nopal verdura. La primera de ellas tiene orientación al sur en el volcán Teuhtli y la segunda con orientación al norte en el volcán Tláloc, convergiendo ambas en la planicie intermontana a la altura de la comunidad de Villa Milpa Alta. La determinación de nitratos (N-NO3-) se realizó con ácido nitrofenoldisulfónico y su valoración con un espectrofotómetro Thermo-Scientific Genesys 2000. Las mayores concentraciones de nitratos se encontraron en los piedemontes y las menores en los suelos de la planicie. Existen varios factores que explican las concentraciones altas o bajas de nitratos en el relieve, como la temporalidad de las lluvias y temperatura, que impactan sobre la actividad microbiana, que metaboliza al nitrógeno, ya sea por nitrificación o desnitrificación. Además de que la mineralización del N es más intensa en suelos de textura gruesa. Las mayores concentraciones de nitratos se obtuvieron en los piedemontes de la ladera del volcán Tláloc (19.5 $NO^-3$ ppm) y las menores (11.7 $NO^-3$ ppm) en la ladera media del volcán Teutli.

CS-23 CARTEL

## COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL SUELO DEL EJIDO POTRERO DE LOS LÓPEZ, CALVILLO, AGUASCALIENTES. EN PRESENCIA Y AUSENCIA DE EUCALYPTUS-CAMALDULENSIS

Mejía Lilian Marcela, González-Cervantes Norma y Beraud-Macías Vianney
*Universidad Autónoma de Aguascalientes*
al160509@edu.uaa.mx

El suelo del ejido Potrero de los López ubicado en Calvillo, Aguascalientes, ha sido utilizado para actividades pecuarias sin un adecuado manejo causando su constante desgaste, haciéndolo infértil y alterando su calidad. Durante el período de 1993 a 2001 se realizaron plantaciones de eucalipto (Eucalyptus camaldulensis) en diferentes regiones de México, para incentivar la producción de celulosa y mejorar los suelos degradados. Sin embargo, la especie se considera negativa para estos fines debido su alto requerimiento de nutrientes, desecación y acidificación del suelo y la liberación de sustancias alelopáticas. En el presente trabajo se realizaron comparaciones de la composición del suelo entre parcelas con presencia y ausencia de eucaliptos con el objetivo de analizar la influencia de la especie sobre el crecimiento de flora en una zona semiárida. Se llevaron a cabo pruebas de densidad, nivel de materia orgánica, conductividad eléctrica, pH, estabilidad de agregados y desleimiento, así como inventarios de composición florística. De acuerdo con los resultados obtenidos no se encontraron diferencias significativas entre las parcelas con eucaliptos y aquellas con especies nativas, en ambos tratamientos hay un pH ácido, en cuanto a conductividad eléctrica se puede observar que hay una deficiencia en los niveles de salinidad de ambos tratamientos, el contenido de materia orgánica también es muy bajo en ambos. En cuanto al desleimiento del suelo este presenta una estabilidad muy alta, al contrario de lo que se pensaría esto es contraproducente ya que no permite la filtración de agua a capas más profundas quedando el suelo sin agua y causando erosión hídrica por arrastre. Por último, los resultados de la densidad aparente muestran que el suelo se encuentra compactado lo que lleva a una reducción del tamaño y número de poros impidiendo la aireación de este. En base a los resultados obtenidos hasta ahora, se determinó que la estructura del suelo de ambos tratamientos no presenta condiciones para la ocurrencia de actividades productivas agrícolas y pecuarias y que las plantaciones de Eucalyptus camaldulensis no han mejorado y/o restaurado los suelos degradados del sitio.

CS-24 CARTEL

## RESISTENCIA DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA EN SUELOS POR CAMBIOS EN EL RÉGIMEN DE FERTILIZACIÓN

Beltrán Paz Ofelia Ivette, Martínez Jardines Luis Gerardo, Solleiro Rebolledo Elizabeth, Rivera-Uria Yazmin, Díaz-Ortega Jaime y Chávez Vergara Bruno
*Instituto de Geología, UNAM*
ofe.ivette@ciencias.unam.mx

Las áreas periurbanas son definidas como zonas de transición entre las urbes y zonas rurales, estas desempeñan un rol importante en la conservación de servicios ecosistémicos como es la recarga de acuíferos, regulación del clima, captura de carbono, producción de alimentos y conservación de la biodiversidad. Estas áreas han sido sometidas a un manejo agrícola desde tiempos prehispánicos y actualmente estos agroecosistemas cuentan con la capacidad de seguir manteniendo la fertilidad de los suelos, lo cual es importante y prioritario evaluar. Uno de los principales indicadores para su evaluación es la actividad microbiana, ya que es una de las características biológicas que se encuentra sujeta a responder por las diversas practicas de manejo de los sistemas agrícolas, así como es dependiente de las transformaciones y disponibilidad de nutrientes en el suelo. El objetivo del presente estudio es evaluar la respuesta de la actividad microbiana en suelos agrícolas periurbanos con diversos regímenes de fertilizantes al sur de la Ciudad de México. Se realizo un experimento el con cultivo de avena en el cual se realizo un diseño en bloques en los cuales se establecieron 5 tratamientos: estiércol (E), vermicomposta (V); urea (U); NPK y sin adición de fertilizante (SF) y después de 152 días se tomaron 5 muestras de suelo de cada replica para realizar una muestra compuesta almacenándose en bolsas negras a 4°C para sus posteriores análisis. Se determino el carbono y nitrógeno microbiano en suelo; mineralización potencial de carbono ($CO_2$) y la determinación de la actividad enzimática asociadas a Carbono, Nitrógeno y Fósforo, Se determino la actividad enzimática especifica (SEA) y el coeficiente metabólico ($qCO_2$). Para la evalución de la resistencia se empleo el índice de Resistencia (Rs). La concentración de carbono en biomasa microbiana (Cmic) fue mayor en el tratamiento SF y E mientras que las concentraciones de Nmic no fueron significativas para ninguno de los tratamientos.El cociente Cmic:Nmic fue mas alto en el tratamiento SF y EV y menor en el tratamiento con NPK. La mineralización potencia de Carbono no presento diferencias signicativas ara ningun tratamientos, mientras que la actividad enzimatica la POX presento diferencias significativas entre tratamientos mientras que la U tuvo las concentraciones más altas para todos tratamientos. En cuanto a la SEA los valores bajos para el tratamiento SF y EV para todas la enzimas exepto NAG lo que sugiere que la actividad micrbiana es mas eficiente en la adquisisoon de C organico (SEA BG), carbono recalcitrante (SEA POX) y adquisison de P (SEA FME). EL $qCO_2$ se observaron valores bajos en el tratamienfo SF y E. En cuanto al índice de resistencia se observó que la actividad microbiana en los suelos es sensible al cambio de fertilización por lo cual en mostraron valores de Rs <0.75. Sin embargo, no en todos los casos la no resistencia implica una condición adversa, ya que con la fertilización con estiércol se incrementó la eficiencia metabólica de la comunidad microbiana, lo cual refleja una disminución del estrés asociado al uso del carbono y nutrientes.

CS-25 CARTEL

## ANALISIS DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA DE LA CIUDAD CORRESPONDIENTE A LOS ULTIMOS 10 AÑOS (2010-2019)

Beltrán Paz Ofelia Ivette, Solleiro Rebolledo Elizabeth, Chávez Vergara Bruno, Rivera-Uria Yazmin y Díaz-Ortega Jaime
*Instituto de Geología, UNAM*
ofe.ivette@ciencias.unam.mx

La superficie agrícola de la Ciudad de México ocupa el 10% del área destinada a esta actividad económica a nivel nacional, esta actividad es de gran importancia a nivel local ya que desempeña un papel fundamental para la conservación de los servicios ecosistémicos y el desarrollo sostenible debido a sus diversas funciones ecológicas. La actividad agrícola se desarrolla en zonas periubanas de la Ciudad de México en las alcaldías de Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta, Tláhuac, Cuajimalpa, Magdalena Conteras y Álvaro Obregón basándose en sistemas de producción tradicionales con base en tres ciclos de cultivos Primavera-verano, perenes y de temporal el cual es predominante. El objetivo del siguiente estudio es analizar la dinámica de la superficie agrícola en la Ciudad de México, así como conocer el valor, el volumen y los rendimientos de la actividad agrícola de los últimos 10 años. Se consultaron los datos públicos y disponibles del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquero (SIAP) de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural para los años 2010 al 2019. Se tomo la información sobre la actividad de las alcaldías antes mencionadas. Con los datos presentes en el SIPA se determinaron los siguientes parámetros: Total de superficie sembrada y cosechada, la dinámica con base a los datos anteriores y finalmente la producción en función del valor, volumen y rendimiento de los cultivos cuya área sea >1% del área sembrada. Los resultados obtenidos se encuentran que las alcaldías con mayor superficie destinada a la agricultura son en Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco. En cuanto a los cultivos las siete alcaldías presentan una gran variedad de tipos de cultivos desde hortalizas, flores, arboles frutales, cultivos tales como: amaranto, nopal, y cempaxúchitl, entre otros como avena, maíz y alfalfa. Los cultivos con mayor superficie sembrada y cosechada para las tres alcaldías con mayor superficie destinada a la actividad agrícola en los últimos diez años son los siguientes: Tlalpan la avena forrajera con más del 50% de la superficie; Xochimilco es la alcaldía con mayor diversidad de tipos de cultivos en donde el maíz grano es el principal cultivo y Milpa Alta es una de las alcaldías que se presentó una significativa disminución de en la superficie destinada a la agricultura atribuida principalmente al cambio de uso de suelo y como principal cultivo que ocupa la mayor superficie aproximadamente entre el 40% y 45% fue el nopal verdura. En cuanto al volumen y valor de la producción Las alcaldías de Tlalpan y Xochimilco presentaron un claro aumento del valor de su producción considerando el total de los cultivos en cambio para la alcaldía Milpa Alta sus valores son fluctuantes, el 2017 presento los valores más bajos del valor total de su producción.

CS-26 CARTEL

## VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ESTRUCTURAS EN PUERTO VALLARTA MEDIANTE RUIDO SÍSMICO AMBIENTAL

Castillo Jorge L., Escudero Christian R. y Gómez Adán
*Universidad de Guadalajara*
jorgecastillo.92@hotmail.com

La ciudad de Puerto Vallarta está ubicada en un área con mayor riesgo sísmico en México. Los efectos de sitio debido a los sedimentos cuaternarios, que son característicos del área de estudio. Se recabaron registros sísmicos utilizando nueve sismómetros Raspberry Shake 3D , los sismógrafos contienen tres sensores posicionados ortogonalmente, para un ancho de banda que va de 0.7 a 39 Hz, detectando movimiento de forma vertical y lateral. Con una velocidad de muestreo de 100 muestras por segundo, funcional en monitoreo local, regional, actividad geotérmica y movimiento microsísmico. En esta ocasión será utilizado para muestrear estructuras de ingeniería civil en Puerto Vallarta. Las cuales tienen variedad en cuestión de diseño estructural, unas son de marcos de concreto, marco de concreto con paneles de tabique, acero, mampostería, adobe, etc. Posteriormente se utilizó la técnica de Nakamura de cocientes espectrales (H/V) para analizar los registros de ruido ambiental y estimar modos de vibración predominantes de las estructuras, los cuales se compararon con las características mecánicas del suelo permitiendo determinar la vulnerabilidad al fenómeno de resonancia de cada estructura.

Sesión regular

# CLIMATOLOGÍA, CAMBIOS CLIMÁTICOS Y ATMÓSFERA

Organizadores:
Luis Felipe Pineda Martínez
Erika Danaé López Espinoza

CCA-1

## EVALUACIÓN DEL RIESGO POR SEQUÍA AGRÍCOLA DESDE UNA PERSPECTIVA INTEGRADA

Ortega-Gaucin David[1], Ceballos-Tavares Jesús Alberto[2], Ordoñez Sánchez Alejandro[1] y Castellano-Bahena Heidy Viviana[1]
[1]*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
dortega@tlaloc.imta.mx

La sequía es una de las mayores amenazas para la seguridad hídrica y alimentaria en muchas regiones del mundo. Este trabajo está enfocado a la evaluación del riesgo por sequía agrícola desde una perspectiva integrada, es decir, poniendo énfasis en el papel combinado del peligro, la exposición y la vulnerabilidad a la sequía. Para ello, utilizamos como caso de estudio el estado de Zacatecas, uno de los más propensos a padecer los efectos de la sequía agrícola. La metodología propuesta consta de tres etapas: Primero analizamos el peligro por sequía agrícola a escala municipal mediante el Sistema del Índice de Estrés Agrícola (ASIS-País) desarrollado por la FAO, y determinamos el Índice de Peligro por Sequía (IPS). Posteriormente, realizamos la evaluación municipal de la exposición y la vulnerabilidad a la sequía, con base en un conjunto de indicadores socioeconómicos y ambientales, que combinamos mediante un procedimiento analítico para generar el Índice de Exposición a la Sequía (IES) y el Índice de Vulnerabilidad a la Sequía (IVS). Y finalmente, calculamos el Índice de Riesgo por Sequía (IRS), mediante la adición ponderada de los índices de peligro, exposición y vulnerabilidad. Los resultados revelan que el 32% los municipios de Zacatecas tienen alto y muy alto riesgo por sequía agrícola, y se ubican principalmente en el centro y norte del estado; en estos municipios se localiza el 75.8% del área agrícola de secano y el 63.6% de las unidades de producción, en las cuales trabaja el 67.4% de las personas que dependen de la actividad agrícola en el estado. Los mapas obtenidos pueden ayudar a las partes interesadas y los responsables de formular políticas públicas, para orientar mejor las inversiones y las acciones tendientes a reducir la vulnerabilidad y el riesgo por sequía agrícola. Y la metodología desarrollada puede ser aplicada en otros estados de la república mexicana o, inclusive, puede ser adaptada para aplicarse en otros estados o países del mundo.

CCA-2

## MECANISMOS DE CANÍCULA MESOAMERICANA EN SIMULACIONES DE CMIP6 DEL UK MET OFFICE HADLEY CENTRE

García Franco Jorge, Gray Lesley y Osprey Scott
*Universidad de Oxford*
jorge.garcia-franco@physics.ox.ac.uk

Los mecanismos de la canícula en el sur de México y norte de Centroamérica han sido poco estudiados en modelos de clima globales. En este estudio se utilizan el reánalisis global del centro de pronóstico europeo (ECMWF) denominado ERA5, así como también los resultados de la fase 6 del proyecto de intercomparación de modelos acoplados (CMIP6) obtenidos con los modelos del UK Met Office Hadley Centre. Simulaciones pre-industriales, históricas y escenarios de cambio climático son evaluadas por sus diferentes representaciones del ciclo estacional de la precipitación en la región con el fin de entender los mecanismos que explican las diferencias entre climas pasados, presentes y futuros en estos modelos. Los datos de reanálisis y de los modelos de clima son analizados con un método de wavelets, utilizado para separar las diferentes etapas del ciclo estacional de la canícula. Teorías propuestas previamente, cuyas componentes son retroalimentaciones convectivo-radiativas y el ángulo de declinación solar y el jet de bajo nivel del Caribe, son evaluadas por su capacidad de predecir la variabilidad interanual observada de la canícula, así como también la variabilidad interanual en cada simulación y las diferencias entre los diferentes experimentos. Los resultados no muestran ninguna evidencia de que la canícula real o simulada se deba a retroalimentaciones convectivo-radiativas o al impacto del ángulo de declinación solar. En cambio, el agua precipitable en la columna, la advección de humedad y la energía estática húmeda total de la columna, y a un grado menor el jet del Caribe, explican la variabilidad observada y simulada.

CCA-3

## CARACTERIZACIÓN Y TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN EN LA REPÚBLICA MEXICANA EN EL PRIMER PERÍODO DEL SIGLO 21

Zarraluqui Víctor y Adams David K.
*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
vzs1@atmosfera.unam.mx

Desde finales de la década de los 90's, el país entró en un período de sequía que se ha extendido a través del presente siglo. La precipitación anual ha estado por debajo de la normal varios años, 1998, 2002, 2009, 2011, 2019. En contraparte los años 2010 y 2013 estuvieron por encima en más de un 20%. La República Mexicana está sujeta a diferentes fenómenos y sistemas que alteran los patrones normales del clima, así como la precipitación. Entre ellos, el Monzón de Norteamérica, El Niño-Oscilación del Sur, ZTIC. Al mismo tiempo año con año las costas tanto del Atlántico como del Pacífico son afectadas por ciclones y depresiones tropicales las cuales representan parte de la variabilidad en la precipitación que se registra en tierra. Otro factor importante lo representa la topografía que es compleja y debe ser tomada en cuenta para cualquier análisis. Dada la importancia que tiene el recurso agua en las actividades socio-económicas y las proyecciones que hacen los modelos en cuanto a la disminución de la precipitación en el futuro, aunque en algunos de ellos hablan de aumento, es necesario contar con una base de datos sólida para poder efectuar un buen diagnóstico que permita determinar las tendencias, así como regionalizar las áreas en donde se presenta una disminución/aumento de la precipitación, así como los posibles factores asociados. Para ello en el presente trabajo se llevó a cabo un estudio utilizando una base de datos construida a partir de las plataformas satelitales TRMM-GPM y validada con la red de estaciones de superficie del Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) y las bases de datos GPCC y CMORPH. Con ella se tuvo una cobertura de todo el territorio con una resolución de 0.1 grados. Con base en ella se elaboraron mapas de la distribución espacio temporal del parámetro que permitieron hacer un análisis de su comportamiento durante la época del Monzón de Norteamérica, así como de las alteraciones generadas por la presencia de la Oscilación del Sur en sus diferentes fases, incorporando un análisis de la actividad convectiva a lo largo del período. Por último, se aplicó un análisis de tendencia para el período se encontró una significancia negativa en gran parte de los estados de Veracruz, Tabasco, parte de Chiapas y Oaxaca. Así mismo se observó una significancia positiva en parte de Chihuahua, Jalisco, Colima y Michoacán. En los resultados se observa que la distribución de la precipitación no ha variado con respecto a períodos anteriores, las regiones afectadas por la oscilación del sur son similares a las descritas en la literatura. Así mismo el análisis mensual y anual ayudaron a entender las tendencias descritas.

CCA-4

## FUENTES, ORÍGENES Y SISTEMAS DE FORMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CIUDAD DE MÉXICO, MEDIANTE EL USO DE ISÓTOPOS ESTABLES

González-Ríos Sofía[1] y Muñoz-Villers Lyssette E.[2]
[1]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[2]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
sofiagr@ciencias.unam.mx

Los isótopos estables son formas no radiactivas de átomos de algún elemento y se aplican en una gran variedad de estudios hidrológicos. En el caso de la precipitación, los isótopos estables más abundantes de los elementos que la componen (18O y 2H) se utilizan como trazadores, lo que proporciona información sobre su origen, fuentes y procesos de formación. Por ello, analizar la composición isotópica de la lluvia es de gran importancia y puede contribuir enormemente en el entendimiento del ciclo del agua. En este contexto, existen muy pocos estudios realizados en ambientes continentales y urbanos. El presente trabajo examinó la variación isotópica de la lluvia en la Ciudad de México, colectada en el campus Ciudad Universitaria de la UNAM, al sur-poniente de la Ciudad, durante el periodo mayo-noviembre de 2019. Los primeros resultados arrojan una curva #2H= 8.28*#18O + 15.39‰, la cual se comparará con la Línea Meteórica Global con el fin de conocer tanto el origen de las masas de aire responsables de dicha precipitación, como posibles sucesos de fraccionamiento isotópico ocurridos en su trayectoria. Del mismo modo, se analiza el exceso de deuterio para dilucidar si la lluvia sufrió procesos de re-evaporación durante el trayecto. De esto último, los resultados muestran un alto reciclaje de humedad en la precipitación Asimismo, utilizando el modelo HYSPLIT, se trazaron las trayectorias que siguieron de las masas de aire correspondientes a cada evento de precipitación, con el fin de conocer las fuentes principales de la lluvia para el sitio de estudio, así como los principales sistemas atmosféricos asociados a la precipitación. Resultados preliminares muestran que los canales de baja presión son los sistemas atmosféricos más frecuentes asociados a la generación de lluvia. Sin embargo, sistemas asociados con la entrada de humedad debido a la ZITC o a disturbios tropicales, son los que ingresaron mayores cantidades de precipitación. En un primer intento por determinar si los diferentes sistemas atmosféricos cuentan con una firma isotópica específica, se realizaron pruebas ANOVA para evaluar diferencias entre grupos, sin embargo, los grupos se comportaron de forma similar. Finalmente, se examinaron las posibles variables que influyen en la composición isotópica de los eventos muestreados de lluvia. Para ello se construyó un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) incorporando variables como la precipitación, precipitación acumulada en la trayectoria, intensidad del evento, entre otras.

CCA-5

## FORZAMIENTOS QUE PROMUEVEN LLUVIA EXTREMA DE VERANO EN EL NORESTE DE MÉXIC

Colorado Gabriela y Cavazos Tereza
*CICESE*
colorado@cicese.edu.mx

En el noreste de México se ha detectado un incremento en la lluvia extrema durante el verano para el periodo de 1981-2010. Por lo que, en este trabajo se analizan los mecanismos que modulan la lluvia en esa región y sus tendencias, para identificar si algún patrón sinóptico presenta incrementos en su ocurrencia

que puedan explicar las tendencias positivas de la lluvia extrema. Se aplicaron los mapas autoorganizados (SOMs, por sus siglas en inglés) para el verano extendido (junio-octubre) durante el periodo 1981-2020 con datos de ERA5 y una topología rectangular de 3x3. Las variables de entrada a los SOMS fueron presión reducida al nivel del mar, humedad relativa a 850mb, vorticidad a 925mb, y corte del viento para el noreste de México. Con esta configuración, tres nodos se relacionaron con lluvia extrema, dos claramente asociados a la presencia de ciclones tropicales, poco frecuentes, pero con lluvia muy intensa, mientras que el tercero que es el más frecuente y que también genera extremos de lluvia está asociado a otros fenómenos tropicales. En los tres nodos tanto la corriente del caribe de bajos niveles como la corriente de las grandes planicies se encuentran menos intensos de lo normal, principalmente en junio, septiembre y octubre. Por otro lado, se encontraron dos nodos muy frecuentes durante julio y agosto, en los cuales se caracterizan con lluvia promedio o debajo de lo normal. En ambos se observó intensos tanto el alta subtropical del Atlántico (NASH) y como las dos corrientes de bajos niveles. Se identificó, un nodo claramente relacionado con los eventos de norte, con mayor ocurrencia en octubre y casi nula presencia en los demás meses de verano. El resto de los nodos se consideran nodos de transición. En conclusión, se observó que el algoritmo de los SOMs es una herramienta muy útil para sintetizar los diferentes forzantes meteorológicos que afectan al noreste de México.

CCA-6

## LA INFLUENCIA DE LOS TECHOS Y SUS MATERIALES EN LA FORMACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN LA ZONA METROPOLITANA DE MONTERREY

Escobedo Tamez Andrea N. y Yépez Rincón Fabiola D.
*Universidad Autónoma de Nuevo León*
andreaescobedo6200@gmail.com

Más de la mitad de la población mundial vive en las zonas urbanas y, por tanto, es susceptible a fenómenos meteorológicos como las ondas de calor extremo, que debido al cambio climático se prevé serán más severas en los próximos años. Aún cuando las islas de calor urbano en la superficie (SUHI por sus siglas en inglés) están bien investigadas en todo el mundo, especialmente en ciudades de América del Norte y Europa, pocos estudios detectan puntos críticos en ciudades medianas y grandes de América Latina, y menos en México, donde algunas ciudades por su ubicación geográfica o empuje económico, como es el caso de la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), que será el blanco para la migración, provocando un crecimiento urbano futuro más pronunciado. Al urbanizar la morfología de la ciudad cambia, la topografía, vialidades y techos de las edificaciones son las modificaciones más notorias. Se conoce que las características de los techos representan un factor importante en el fenómeno de las islas de calor urbano. El uso de materiales con bajo albedo, como el asfalto, ladrillo y piedra, intensifican el efecto de emisividad del calor, mientras que los materiales con alto albedo (colores claros) promueven la pronta reflectividad. Este efecto podría considerarse como una acción para mitigar la isla de calor, pero es mucho más complejo, ya que podría ser contraproducente para la población dependiendo de la altura de los edificios. De acuerdo con una clasificación de uso de suelo de la ZMM del 2019 los materiales más utilizados para la construcción de techos son el concreto y el acero. Una de las maneras más utilizadas para estudiar las islas de calor urbanas es mediante la clasificación por Zonas Climáticas Locales (Local Climate Zones, LCZ) de acuerdo con la World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT), que relaciona el clima de estructura urbana y cobertura del suelo, además de involucrar otras variables como el factor de cielo visible, fracción de superficie permeable, altura de los elementos construidos, rugosidad del terreno, materiales y sus propiedades térmicas. Para este estudio se mapeó la ZMM siguiendo la clasificación LCZ, la cual tiene 10 clases para tipo de edificaciones y 7 clases para cobertura de suelo utilizando Google Earth y modelos digitales de alturas generados a partir del Continuo de Elevaciones Mexicano CEM V3. Esta clasificación se comparó con una imagen térmica y con datos sobre los materiales de los techos de las construcciones para encontrar la relación que existe entre ellos.

CCA-7

## MITIGACIÓN DE LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR URBANA POR ZONAS VERDES: UNA SIMULACIÓN NUMÉRICA 2D

Gutiérrez Rivera Marlin y García Chan Néstor
*Universidad de Guadalajara*
marlin.gutierrez3413@alumnos.udg.mx

La creciente urbanización en las ciudades impone cambios al ecosistema y medio ambiente de forma continua, que en muchas ocasiones afectan la vida y el bienestar de la sociedad. Una de las consecuencias negativas de la constante variación de los componentes de la superficie debido a las construcciones y disminución de áreas verdes son las llamadas Islas de Calor Urbanas (UHI, por sus siglas en inglés), caracterizada por temperaturas cálidas al interior de la ciudad respecto a su entorno rural. En el estudio de la UHI, destacamos el estudio de Heider Taha (1997) donde se describe como los parques urbanos pasan de ser islas frescas durante el d##a a cálidas durante la noche. Es conocido que la presencia de árboles mitiga la intensidad de la UHI, ya que la evapotranspiración de la masa vegetal modera la temperatura cerca de la superficie. Debido a la importancia del problema medioambiental y la creciente modernización de los métodos de cómputo, se propone como objetivo de este trabajo implementar un modelo 2D horizontal que caracterice la dinámica de los parques dentro de una UHI a partir de las ecuaciones que rigen la f##sica del problema, teniendo en cuenta condiciones de contorno relativamente simples. El modelo se solucionará a partir del Método del Elemento Finito y se implementará sobre una malla que representa una porción del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG). A partir del mismo se obtendrá la dinámica planteada por Taha, que constituye una forma de validar la correcta simulación del Modelo. Se analizarán experimentos donde se var##an varios parámetros que intervienen en el Modelo para comprobar su eficacia y finalmente a partir de las simulaciones se podrá valorar la importancia de las áreas verdes en las zonas urbanas.

CCA-8

## EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE TECHOS VERDES EXTENSIVOS EN UN AMBIENTE URBANO A NIVEL MICRO Y MACRO ESCALA, MEDIANTE EXPERIMENTACIÓN Y SIMULACIÓN

Guerra Cobián Víctor Hugo, García Avila Germán, Ferriño Fierro Adrián Leonardo, Yépez Rincón Fabiola D., De León Gómez Héctor y Guerra Puente Hugo
*Universidad Autónoma de Nuevo León*
victor.guerracb@uanl.edu.mx

El creciente desarrollo urbano ha provocado un incremento considerable en la temperatura de la superficie terrestre a nivel global. Uno de los principales motivos es el uso de materiales de construcción con baja reflectividad de la radiación solar en las zonas urbanas. En este sentido, los techos verdes surgen como una medida que permite mejorar el comportamiento térmico de un edificio. Por consiguiente, el objetivo de la presente investigación consistió en un análisis a nivel micro escala por medio de Prototipos de Techos Verdes Extensivos (PTVE) y a nivel macro escala a través de una modelación utilizando el programa ENVI-met, el cual permite cuantificar el gradiente de temperatura de edificios con techos convencionales en relación a edificios con techos verdes extensivos; así como su influencia en la temperatura del aire, temperatura de las superficies de los techos, y el flujo de calor en un edificio. En la investigación, se buscó un enfoque práctico para la contribución a la mejorar del medioambiente. La propuesta del presente trabajo consistió en el análisis de las variables térmicas en los PTVE, lo cual permitió determinar el espesor adecuado de sustrato de los PTVE con el mejor rendimiento de temperatura con respecto a un techo convencional. A nivel micro escala se recopilaron e interpretaron datos de temperatura en los sustratos de los PTVE en un período de un año, a profundidades de 5, 10 y 15 centímetros respectivamente, junto con datos tomados superficialmente en el sustrato de los PTVE, y otro directamente en el techo convencional. Asimismo, se determinó por medio de una modelación, la influencia de los techos verdes en el comportamiento térmico de las variables térmicas a nivel de macro escala con el programa ENVI-met. Se seleccionó un área de tipo habitacional del municipio de San Nicolás de los Garza, Nuevo León, utilizando datos de radiación solar (W/m2), temperatura ambiental (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), dirección del viento (grados) y precipitación (mm). Los resultados obtenidos a nivel micro escala, muestran que el PTVE de mejor rendimiento térmico es el que tiene una profundidad de 15 cm, presentando una disminución de temperaturas máximas de hasta 44% en épocas de verano y, mantiendo temperaturas más cálidas en un 91% en épocas de invierno en comparación con un techo convencional. Por otro lado, a nivel macro escala, se determinó que aplicando en el modelo ENVI-met un 50% de techos verdes en el área seleccionada, los resultados muestraron un potencial de disminución de temperatura del aire de 0.42°C, una reducción de 15.24 W/m2 en el flujo de calor y 0.22°C de temperatura en la superficie del techo de los edificios más bajas en época de verano. Finalmente, la aplicación de un medio con vegetación en un techo convencional, evita la absorción de los rayos solares a las superficies urbanas, mejorando el rendimiento térmico de los edificios en épocas de verano y en épocas de invierno.

CCA-9

## CLIMATOLOGÍA DESCRIPTIVA INVERNAL DE FRENTES FRÍOS Y VIENTOS INTENSOS PARA EL NORTE DE MÉXICO

Pineda Martínez Luis Felipe, Rodríguez González Baudelio y Escalona Alcázar Felipe de Jesús
*Universidad Autónoma de Zacatecas*
lpineda@uaz.edu.mx

Los frentes fríos son un fenómeno que caracteriza la climatología de invierno principalmente en el centro y norte de México. Durante este fenómeno se presentan descensos de temperatura, heladas, lluvia y vientos intensos. Dicho fenómeno corresponde a la parte frontal de una masa de aire polar, la cual provoca un descenso en la temperatura e inestabilidad en la atmósfera a su paso. Uno de los principales efectos es la intensificación de los vientos, en este trabajo presentamos una climatología invernal de frentes fríos en la región centro y norte de México, así como la estimación de parámetros como las temperaturas mínimas y vientos máximos diarios. Se muestran series de tiempo y mapas de tendencias para un periodo de 1980-2020 de días con presencia de frentes fríos para identificar patrones de variabilidad espacial y temporal.

CCA-10

## AN EXTREME VARIABLE GRID MODEL FOR LOCAL HIGH-RESOLUTION WEATHER FORECASTS FROM GLOBAL INITIAL DATA

Gross Markus y Magar Vanesa
*CICESE*
mgross@cicese.mx

Global models are desirable in many ways. They are self-sufficient, not depending on boundary updating, and do not inherit potential inaccuracies from the driving model(s). Step changes at the boundaries and relatively coarse sampling in time usually add undesirable artifacts in the traditional nested modeling strategies. High-resolution models are also desirable, as local orography and surface types can strongly influence the forecast, in particular when local forecasts and not just general trends are sought. However, high-resolution global models can only be run by the largest weather services, due to their high computational demand. This is where variable resolution models have an advantage. The grid can be refined to the desired resolution in the area of interest, whilst keeping it coarse in areas of less or no interest. We will present such a model, which has been pushed to an extreme: Very coarse resolution in most parts of the globe, which has been refined to a very high resolution around Ensenada, Mexico. The results of this model are compared to the forecast extracted from the model which provides the initial state. It will be shown that the model certainly improves on this forecast in most of the local weather stations. As expected, further away, where the resolution degrades, so does the forecast. It will also be compared to a forecast from a collection of analyses from the HRRR, a best-case scenario, as the analysis already includes the most recent observations. As such the HRRR data does not qualify as a forecast. Nevertheless it is interesting to see how the variable mesh fares compared to this data, for example for retrospective or climate studies.

CCA-11

## ORIGINS OF MULTI-DECADAL VARIABILITY IN SUDDEN STRATOSPHERIC WARMINGS

Dimdore-Miles Oscar
*Universidad de Oxford*
oscar.dimdoremiles@gmail.com

Variations in the strength of the Northern Hemisphere winter polar stratospheric vortex can influence surface variability in the Atlantic sector. Disruptions of the vortex, known as sudden stratospheric warmings (SSW), are associated with an equatorward shift and deceleration of the North Atlantic jet stream, negative phases of the North Atlantic Oscillation as well as cold snaps over Eurasia and North America. Despite clear influences at the surface on sub-seasonal timescales, how stratospheric vortex variability interacts with ocean circulation on decadal to multi-decadal timescales is less well understood. In this study we use a 1000 year pre-industrial control simulation of the UK Earth System Model to study such interactions using a wavelet analysis technique to examine non-stationary periodic signals in the vortex and ocean. We find that intervals which exhibit persistent anomalous vortex behaviour lead to oscillatory responses in the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC). The origin of these responses appears to be highly non-stationary with spectral power in vortex variability and the AMOC at periods of 30 and 50 years. In contrast, AMOC variations on longer timescales (near 90 year periods) are found to lead to a vortex response, through a pathway involving the equatorial Pacific and Quasi-biennial Oscillation. Using the relationship between persistent vortex behaviour and the AMOC response established in the model, we use a regression analysis to estimate the potential contribution of the 8 year SSW hiatus interval in the 1990s to the recent negative trend in AMOC observations. The result suggests that between 17% and 30% of the trend may have been caused by the SSW hiatus.

CCA-12

## PROPIEDADES ÓPTICAS DE AEROSOLES ATMOSFÉRICOS EN TACNA, PERÚ

Liñán Abanto Rafael Nery
*Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, Perú*
rnlinan@unjbg.edu.pe

En la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG) de la Ciudad de Tacna, Perú; venimos midiendo las propiedades ópticas de los aerosoles atmosféricos, con un Extinciómetro Foto acústico (PAX), y los principales parámetros meteorológicos. Presentamos los resultados de las mediciones continuas de 18 meses (enero 2020 a junio 2021) del coeficiente de dispersión (Bscat) y el coeficiente de absorción (Babs). Durante este periodo, el mayor Bscat se presentó durante el mes de junio del 2021, con 48.8 Mm-1; mientras que el mayor valor de Babs, se observó en el mes de julio del 2020, con 4.7 Mm-1. En contraste, el menor valor de 9.7 Mm-1 para el Bscat, se observa durante el mes de marzo del 2020 (mes donde se inicia la cuarentena por la presencia del coronavirus SARS-CoV-2, que produce COVID-19); mientras para el Babs, su menor valor de 2.9 Mm-1 se presenta durante el mes de febrero del 2020. Se observan los mayores valores en los meses de invierno y los menores valores durante meses de verano, debido a la influencia de la meteorología estacional. Estos resultados, con coincidentes con los obtenidos en zonas urbanas en diferentes lugares del mundo.

CCA-13

## IMPORTANCIA DE LAS PARTÍCULAS BIOLÓGICAS DE ORIGEN TERRESTRE Y OCEÁNICO EN LA FORMACIÓN DE NUBES MIXTAS

Melchum Juárez Aimeé Margarita[1], Córdoba Fernanda[1], Martínez Leticia[1], Salinas Eva[1], García Ernesto[2], Rosas Irma[1], Raga Gabriela[1] y Ladino Luis A.[1]
[1]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
[2]*CICESE*
aimee.melchum@ciencias.unam.mx

Existen diferentes tipos de partículas en aerosol que tienen la capacidad de actuar como núcleos de glaciación de hielo (INPs, por sus siglas en inglés) afectando la formación de nubes, el desarrollo de precipitación sólida y, por lo tanto, el ciclo hidrológico. Diversos estudios han demostrado que las partículas de origen biológico son los INPs más eficientes en nuestro planeta, dado que tienen la capacidad de nuclear hielo a temperaturas cercanas a 0°C. En el presente estudio se analizaron las habilidades como INPs de diferentes bacterias, hongos y diatomeas colectadas y aisladas en Mérida (Yucatán), la estación de monitoreo atmosférico Altzomoni (Estado de México), el Centro de Ciencias de la Atmósfera (Ciudad de México), Sisal (Yucatán) y en las costas de Ensenada y Manzanillo (Pacífico Mexicano). La capacidad de nucleación de cada uno de los microorganismos aislados se llevó a cabo a través de la técnica de ensayo de congelamiento de gota o Droplet Freezing Assay (UNAM-DFA[1], por sus siglas en inglés). Se encontró que la mayoría de las bacterias colectadas en Yucatán y Altzomoni resultaron ser INPs ineficientes, dado que su acción como INP ocurre a temperaturas < -25°C. Sin embargo, se encontró que la bacteria Ralstonia paucula, asilada en Altzomoni, actúa como INP a -11.5°C. De los diferentes propágulos de hongos colectados en Mérida y en el Centro de Ciencias de la Atmósfera la gran mayoría comenzaron a actuar como INPs a -20°C; sin embargo, se encontró que la temperatura media de congelación oscilaba entre -32 y -33°C. Por último, solo dos de las 12 diatomeas recurrentes del Pacifico mexicano analizadas en el presente estudio mostraron actuar como INPs a temperaturas superiores a -30°C. Si bien las biopartículas analizadas mostraron tener el potencial de impactar la formación de hielo dentro de las nubes mixtas, existe una gran variabilidad en sus habilidades como INPs. [1] Ladino, L.A., Juarez-Perez, J., Z. Ramirez-Diaz, L.A. Miller, J. Herrera, G.B. Raga, K. Simpson, G. Cruz, D. Pereira, and F. Cordoba (2021). The UNAM-Droplet Freezing Assay: An Evaluation of the Ice Nucleating Capacity of the Sea-Surface Microlayer and Surface Mixed Layer in Tropical and Subpolar Waters. Atmósfera, https://doi.org/10.20937/ATM.52938 (en prensa)

CCA-14

## THE BUS RAPID TRANSIT SYSTEM IMPOSES HIGH PM2.5 AND PAHS EXPOSURE TO COMMUTERS IN MEXICO CITY

Hernández Paniagua Iván Yassmany, Andraca Ayala Gema L., Amador Muñoz Omar, Rosas Pérez Irma y Jazcilevich Arón
*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
ivan.hernandez@atmosfera.unam.mx

Commuter exposure to PM2.5 and PAHs on the bus rapid transit (BRT) systems in Mexico City was evaluated using personal monitors, and compared with exposure on underground systems, during morning and evening rush hours for south-north and west-east BRT and underground routes. Overall, a total of 84 valid commutes were obtained for two typical weather seasons: cold-dry (CD) and warm-dry (WD). In each season, the highest PM2.5 exposure concentration averages of up to 140 $\mu$g m-3were observed inside Euro 3 diesel bus cabins, with exposure averages of 21-71 $\mu$g m-3 observed inside Euro 4-5 bus cabins. Exposure concentration averages for the underground ranged between 12-39 $\mu$g m-3. Exposure concentrations to PAHs ranged from 2-232 ng m-3 and 1-54 ng m-3 in the Euro 3-5 buses, and underground, respectively. During the CD season, PAHs of low molecular weight (LMW <228 g mol-1) comprised 50 to 100 % of total PAHs for commutes on Euro 3 buses. PAHs of high molecular weight (HMW #228 g mol-1) comprised between 30-50 % on Euro 4-5 buses. During the WD season, LMW PAHs represented 6-50 % of total PAHs in buses and the underground lines. Similar overall contributions of HMW PAHs of 10-30 % of the total were observed in each underground line. LMW PAHs are mainly present in the gas phase, and their presence in PM2.5 suggests adsorption onto black carbon. HMW PAHs were not observed between 11:00-13:00 LST. Our results suggest that BRT commuters experience not only greater exposure to PM2.5 than on the underground, but also greater health risks due to greater exposure to PAHs.

CCA-15

## CONTENIDO DE METALES TRAZA EN PM2.5 Y SU POTENCIAL DE RIESGO A LA SALUD EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

Martínez Stephanie[1], Cerón Julia[2] y Carbajal Noel[1]
[1]*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
[2]*Universidad Autónoma del Carmen*
stephanie.martinez@ipicyt.edu.mx

La contaminación del aire es uno de los problemas más complejos y de mayor impacto ambiental a nivel mundial. Los lugares con índices de mala calidad de aire son típicamente áreas urbanas. En este trabajo se realiza una caracterización de material particulado (PM2.5) que es un representativo común de la contaminación del aire. La mala calidad de aire afecta directamente a las personas siendo un tema relevante de salud pública. Las partículas finas (PM2.5) adquieren, en la dinámica atmosférica, altas concentraciones de metales traza, potencialmente tóxicos, los cuales posteriormente se incorporan en el cuerpo mediante inhalación. El objetivo principal de este estudio es la determinación de metales en estas partículas mediante análisis SEM-EDS y FAAS. Las muestras se colectaron mediante muestreo manual en dos sitios del Área Metropolitana de Monterrey (AMM) durante dos temporadas climáticas diferentes. Se utilizaron métodos estadísticos para determinar las posibles fuentes de los contaminantes y su relación con los parámetros meteorológicos. Se realizó un análisis de riesgo a la salud por exposición a contaminantes siguiendo la metodología de la EPA para partículas.

CCA-16

## FORMULACIÓN FUERTE PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD EN EMISIONES INTERMITENTES

Parra Guevara David y Skiba Yuri
*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
pdavid@atmosfera.unam.mx

Los problemas inversos consisten en la determinación de las causas a partir del conocimiento de los efectos en un sistema (modelo). Siendo los efectos los valores observados de las variables de estado, y las causas, las condiciones iniciales, forzamientos o valores de parámetros que tienen la capacidad de conducir al sistema hasta dicho comportamiento. En este trabajo se estudia un problema de este tipo, el cual consiste en la recuperación de la tasa de emisión de una fuente desconocida a partir de los datos de la concentración de un contaminante. La solución de este problema inverso permite estimar y verificar inventarios de emisiones de diversas sustancias tóxicas de origen químico o biológico, así como para detectar la intensidad de fuentes desconocidas que emiten contaminantes accidentalmente. La estimación de la masa de las sustancias radioactivas liberadas en el accidente de la planta nuclear Daiichi en Fukushima es un ejemplo de este problema inverso [1-2]. Otro ejemplo reciente de gran importancia ha sido la estimación de la intensidad y localización de fuentes clandestinas en Asia que emiten CFC's, gases relacionados con la destrucción de la capa de ozono [3]. En este trabajo se asume que la fuente desconocida emite un contaminante en forma intermitente de acuerdo con ciertos perfiles conocidos (emisiones instantáneas, constantes, etc.); y los parámetros que se determinan son las intensidades de emisión que ajustan a los datos de concentración recabados en un sitio de monitoreo. La recuperación de dichos parámetros se obtiene a través de una "Formulación Fuerte" definida por un problema de programación cuadrática que depende de un parámetro de regularización. En dicha formulación se utilizan las soluciones de un modelo de dispersión obtenidas cuando el forzamiento es un perfil de emisión básico. Dichas funciones se calculan eficientemente utilizando las soluciones adjuntas o de influencia [4-5]. Al final del trabajo se presentan ejemplos numéricos sintéticos para mostrar el desempeño de la técnica. Referencias [1] Chai, T, R. Draxler and A. Stein. Source Term Estimation Using Air Concentration Measurements and a Lagrangian Dispersion Model – Experiments with Pseudo and Real Cesium-137 Observations from the Fukushima Nuclear Accident. Atmospheric Environment, 106 (2015), 241-251. [2] Nagai, H. G. Katata, H. Terada and M.Chino. Source Term Estimation of 131I and 137Cs Discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the Atmosphere. In: Takahashi S. (eds). Radiation Monitoring and Dose Estimation of the Fukushima Nuclear Accident. Springer, Tokyo (2014),155-173. [3] Rigby, M. et al. (2019). Increase in CFC-11 emissions from eastern China based on atmospheric observations. Nature, Vol. 569, 23 May 2019, 546-550. [4] Parra-Guevara, D. and Yu.N. Skiba (2019). Chapter 3: Assessment of Basic Parameters for Unknown Constant and Instantaneous Point Sources. In: Horizons in World Physics (Albert Reimer Editor), Vol. 301, pp. 135-172. NY: Nova Science Publishers, Inc., USA. [5] Skiba, Yu.N. and D. Parra-Guevara (2015). Application of Adjoint Equations to Problems of Dispersion and Control of Pollutants. NY: Nova Science Publishers, Inc., USA. 336 p.

CCA-17

## CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL POLVO MINERAL PROVENIENTE DEL DESIERTO DEL SAHARA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Silva Ma. de L. Montserrat[1], Rosas Daniel[2], Figueroa Bernardo[3], Morales Javier[4], Uuh Jorge[3], Pinto Marco[5], Álvarez Harry[1], Pi Puig Teresa[6], Raga Graciela[1], Salcedo Dara[7], Rosas Irma[1], Olivares Jessica[3] y Ladino Luis A.[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Universidad Autónoma de Yucatán*
[3]*Universidad Nacional Autónoma de México, Sisal, Yucatán*
[4]*Centro de Investigación Científica de Yucatán, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Yucatán*
[5]*Instituto Tecnológico de Mérida*
[6]*Instituto de Geología, UNAM*
[7]*Facultad de Ciencias, UNAM*
montserratsilvac@outlook.com

Dentro de las fuentes más importantes de aerosol atmosférico a nivel global se encuentra el polvo mineral proveniente de los desiertos, donde aproximadamente el 70% de las emisiones tienen lugar en el desierto del Sahara. Varios estudios han demostrado que las partículas de polvo africano son transportadas por el Océano Atlántico del Norte, con un máximo en los meses de verano, pudiendo llegar a la Península de Yucatán. Por lo tanto, el polvo del Sahara puede influir en la calidad del aire y en el ciclo hidrológico de la región, ya que puede actuar como catalizador de la formación de cristales de hielo en las nubes. En México existen muy pocos estudios de campo relacionados con la llegada de las partículas de polvo africano y su composición química. Para poder evaluar el impacto que tiene el polvo mineral y los cambios en sus propiedades químicas a su paso por la Península de Yucatán, se realizó la recolección de muestras de aerosol atmosférico en dos puntos simultáneamente: Cozumel (Quintana Roo) y Sisal (Yucatán). Se realizó una colección diaria de partículas con dos muestreadores de alto volumen (HiVol) entre el 04 y el 21 de julio del 2021. El análisis químico y mineralógico de las partículas de aerosol se realizó por medio de la técnica de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y por difracción de rayos X (DRF), respectivamente. Además, se monitoreo en tiempo real la concentración másica de PM2.5 utilizando un DustTrack en cada sitio, para determinar incrementos de concentración asociados a los episodios de la llegada del polvo africano.

CCA-18

## ESTUDIO DE LA VISIBILIDAD Y SU RELACIÓN CON LA OCURRENCIA DE PRECIPITACIÓN EN LA ESTACIÓN DE BIOLOGÍA CHAMELA DE LA RUOA

Mercado Mejía Edith Ariadna, Montero Martínez Guillermo y García-García Fernando
*Universidad Nacional Autónoma de México*
ari_merc@ciencias.unam.mx

La visibilidad atmosférica depende de la forma como la luz se transmite y extingue en el aire. Ciertas condiciones meteorológicas, como la precipitación, la pueden reducir considerablemente. La visibilidad se puede estimar con datos que miden la atenuación de la luz en el aire y relacionarlos con una medida objetiva, como el rango óptico meteorológico (MOR, por sus siglas en inglés). Las distribuciones por tamaños de las gotas de lluvia (DSD, por sus siglas en inglés) son una característica importante de los procesos microfísicos. En correspondencia con diferentes tipos de lluvia y ubicaciones climáticas, se sabe que las DSD varían espacial y temporalmente en todo el mundo; este conocimiento no sólo es importante para mejorar la precisión de la estimación de precipitación cuantitativa, sino que también es muy útil en muchos campos. El objetivo de este trabajo es estudiar los efectos de la precipitación en la visibilidad atmosférica. El presente trabajo consistió en el análisis de las series de tiempo de las mediciones de MOR, detectadas con un disdrómetro PWS100 (manufacturado por Campbell Scientific) en la Estación de Biología Chamela de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA) de la UNAM, así como sus variaciones durante la ocurrencia de eventos de precipitación. Los resultados obtenidos muestran que la disminución en la visibilidad es afectada claramente por la temperatura, la humedad relativa y, sobre todo, por la precipitación. Entonces, se puede inferir que la visibilidad disminuye significativamente durante eventos de precipitación y con alta humedad relativa, y que aumenta con la temperatura. Se puede notar que los datos de MOR también pueden estar correlacionados con la hora del día, ya que la visibilidad disminuye en la noche y aumenta durante el día. Esto puede ser debido al comportamiento de la capa límite planetaria. Otro posible factor es la niebla, que se puede presentar con la reducción de temperatura y el aumento de humedad, aunado a que el sitio de muestreo se encuentra a dos kilómetros de la costa del Océano Pacífico.

CCA-19

## ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA MICROFÍSICA DE LA LLUVIA EN LA VISIBILIDAD EN QUERÉTARO

Armenta de los Reyes Lilly Roxana, García-García Fernando y Montero Martínez Guillermo
*Universidad Nacional Autónoma de México*
lilly.armenta@ciencias.unam.mx

La visibilidad atmosférica se refiere a la distancia horizontal a la que un objeto de destino es perceptible al ojo humano o a instrumentos meteorológicos especializados. Esta variable es importante en temas como el transporte, particularmente en la aviación, y en la contaminación atmosférica. Con el uso de instrumentos ópticos modernos, se relaciona la atenuación de la luz en el aire con una medida objetiva de la visibilidad, tal como el rango óptico meteorológico (MOR, por sus siglas en inglés). Desde la década pasada se han analizado parámetros microfísicos de las gotas de lluvia durante eventos de precipitación ocurridos en diversos estados de la República Mexicana, a través de plataformas de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA) de la UNAM. El objetivo de este trabajo es determinar una relación entre la variación de parámetros microfisicos de las gotas de lluvia y la visibilidad atmosférica en la plataforma de la RUOA ubicada en Juriquilla, Querétaro. La presentación incluye un análisis de datos microfísicos observados con el disdrómetro PWS100 (manufacturado por Campbell Scientific) y de los espectros de gotas medidos durante eventos de lluvia, lo que permitió estudiar los parámetros microfísicos que estaban modificando la visibilidad obtenida. El tamaño de la gota de lluvia, su área superficial y su contenido de agua líquida son parámetros microfísicos esenciales para la interpretación de la variación de la visibilidad. A partir de ese resultado se estudiaron las características microfísicas de las gotas de lluvia para cada uno de los eventos de precipitación, obteniéndose relaciones entre los parámetros microfísicos de las gotas de lluvia y el MOR. Estos resultados revelan que es necesaria una investigación continua para estudiar los parámetros microfísicos de las gotas de lluvia que afectan de manera directa a la visibilidad de una región; esto con el fin de mejorar nuestro conocimiento en cuanto a las variaciones de la visibilidad en distintas áreas de la República Mexicana.

CCA-20

## DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE EROSIÓN PLUVIAL DEL SUELO MEDIANTE PARAMETRIZACIONES DE ESPECTROS DE GOTAS

García-García Fernando, Montero Martínez Guillermo y García-Loginova Vladimir
*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
ffgg@atmosfera.unam.mx

La erosión es el proceso de degradación de la superficie terrestre debida a la lluvia y otros factores ambientales, y puede describirse mediante índices como la energía cinética o la cantidad de movimiento (momentum) de la lluvia. Con el objetivo de determinar estos parámetros, se utilizaron datos de disdrómetros ópticos instalados en cuatro de los observatorios de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos: Chamela, Los Tuxtlas, Juriquilla y Ciudad Universitaria. Estos instrumentos tienen la capacidad de medir no sólo los tamaños de gotas de lluvia individuales, sino también sus velocidades de caída durante eventos de precipitación. Los datos microfísicos fueron utilizados para obtener las distribuciones por tamaños (diámetros) de gotas de lluvia, las cuales fueron parametrizadas mediante una función Gamma. Se observó también que las velocidades de caída de gotas de lluvia individuales medidas con los disdrómetros concuerdan con las estimaciones teóricas y que los valores promedio de las velocidades de caída en los sitios de muestreo localizados en el Altiplano (altitudes medias y altas) son mayores que en los cercanos a las zonas costeras (altitudes bajas), lo cual implica mayores valores de los parámetros de erosividad en estas últimas. Las parametrizaciones de los espectros de gotas y de las velocidades de caída así obtenidas fueron usadas para calcular la energía cinética y el momentum de eventos de lluvia en cada sitio. En este trabajo, se presentarán los resultados obtenidos y se compararán con parametrizaciones semi-empíricas utilizadas comúnmente.

CCA-21

## MODELACIÓN NUMÉRICA DE TORNADOS: CASO SAN NICOLÁS BUENOS AIRES, PUEBLA

Monterde Gutiérrez Daniela Irais[1], Carbajal Noel[1] y Pineda Martínez Luis Felipe[2]
[1]*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
[2]*Universidad Autónoma de Zacatecas*
daniela.monterde@ipicyt.edu.mx

En México, los tornados del tipo no supercelda son un fenómeno meteorológico recurrente en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) durante los meses de primavera y verano. En un caso extraordinario ocurrido en San Nicolás Buenos Aires, Puebla el pasado 01 de mayo de 2020 se documentaron cinco tornados ocurridos de forma simultánea. En este trabajo se analizan las condiciones meteorológicas que imperaron en el fenómeno de tornados múltiples. El análisis de la dinámica atmosférica sugiere que la vorticidad fue generada por la inestabilidad a lo largo de una línea de corte de velocidades muy intenso. Se investiga si la compleja orografía jugó un papel primordial. Este evento fue modelado numéricamente aplicando el modelo Weather Research and Forecasting (WRF-ARW) a una resolución de 250 metros y validado con las estaciones meteorológicas de la CONAGUA más cercanas al lugar. Los resultados indican claramente la posición de un tornado por la rotación ciclónica imperante y a través de perturbaciones ciclónicas y convección vertical positiva intensa la posible ubicación de otros tornados. Se analiza el comportamiento de variables meteorológicas como la temperatura, humedad, viento y helicidad determinantes durante el evento.

CCA-22

## TENDENCIAS CLIMÁTICAS DE LOS INDICADORES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN JALISCO, MÉXICO

Lino Solano José Juan y Montes Aréchiga Jorge Manuel
*Universidad de Guadalajara*
jose.lino3413@alumnos.udg.mx

Día a día la humanidad enfrenta diversos fenómenos hidrometeorológicos que pueden hacer vulnerable una zona urbana ante los cambios del clima; una evidencia más clara y observada en las urbes es específicamente a través de análisis de los patrones en las temperaturas y la precipitación diaria. Por consiguiente, un estudio de la variabilidad climática permite entender las tendencias ante escenarios de cómo sería el clima dadas ciertas condiciones a mediano y largo plazo de un territorio como en el estado de Jalisco. El objetivo de este trabajo consistió en determinar y caracterizar la distribución espacial de las tendencias climáticas para el estado de Jalisco mediante ocho de los índices de cambio climático recomendados por el Equipo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI). Se analizaron las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y la precipitación de 75 estaciones climáticas desde 1980 a 2014; obtenido de la Base de Datos Climatológicos Nacional del sistema CLICOM. Las bases de datos fueron trabajadas mediante un proceso de control de calidad para detectar problemas en el registro que no corresponden a la variabilidad natural, y un proceso de homogeneidad para lograr bases de datos completas y confiables. Finalmente, se obtuvieron cuadrículas ajustadas al Continuo de Elevaciones de México (CEM v3) para representar espacialmente los resultados con el objetivo de que el análisis resulte a detalle de interés a nivel regional inclusive municipal del comportamiento de las temperaturas y la precipitación a lo largo de la serie de tiempo analizada. La importancia de estos estudios sobre tendencias climáticas radica en el interés de aumentar la precisión con la que detectamos cambios en la distribución espaciotemporal de las variables climatológicas en diferentes regiones del territorio de Jalisco, su economía, su agricultura y turismo.

CCA-23

## ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIA DE SEQUÍAS BASADO EN L-MOMENTOS PARA LA CUENCA DEL RÍO BRAVO, MÉXICO

Ceballos-Tavares Jesús Alberto[1] y Ortega-Gaucin David[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA*
b_jact@hotmail.com

Se realizó el análisis regional de frecuencias basado en L-momentos (ARF-LM) para determinar las características de los periodos de sequía meteorológica ocurridos en la cuenca del río Bravo, México, durante el lapso 1984-2013. Para ello, se usaron registros de precipitación mensual de 90 estaciones climatológicas que fueron sometidos a un proceso de control de calidad y homogeneización de datos. Mediante un proceso iterativo, se identificaron cinco regiones homogéneas (RH) de acuerdo con el criterio de precipitación media anual. Las funciones de distribución de probabilidades que mejor se ajustaron a los registros fueron Gaucho (RH1) y Logística Generalizada (RH2 a RH5). Con base en estas funciones se determinaron los cuantiles (valores de precipitación anual asociados a un determinado valor de probabilidad de ocurrencia), y se generaron mapas de déficit de precipitación con períodos de retorno de 5, 10, 15, 20, 50 y 100 años. Los resultados indican que en la cuenca se presentan eventos de sequía meteorológica con duración promedio entre 1.7 y 2.5 años, y con una recurrencia media de 3.9 a 4.5 años; el período de sequía más prolongado ocurrió entre los años 1993-2002, y el período que presentó el mayor déficit de lluvia fue 2011-2012. Las regiones más afectadas se ubican en los estados de Chihuahua y Coahuila, donde los niveles de disminución de la precipitación pueden superar el 80% de déficit, lo que indica que para un periodo de retorno de 100 años, más de la mitad de la cuenca presentaría un grado de sequía extraordinaria, lo cual tendría graves repercusiones en los distintos sectores socioeconómicos.

CCA-24

## ANÁLISIS DE PATRONES SINÓPTICOS SOBRE MÉXICO EN ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Cala Pérez Yoel Alejandro[1], Ochoa Moya Carlos Abraham[1], Quintanar Isaías Ignacio Arturo[1] y Castro Christopher L.[2]
[1]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
[2]*Department of Hydrology and Atmospheric Sciences, The University of Arizona, USA*
ycalap91@gmail.com

El estudio de patrones sinópticos y de la circulación a gran escala permiten analizar el comportamiento de fenómenos climatológicos que influyen sobre una región determinada. Estas categorías sinópticas, también conocidas como "weather types (WT)" pueden ser identificadas mediante proyecciones futuras en modelos climáticos, brindando información de cómo pueden variar estos fenómenos en el futuro respecto a su comportamiento en el período histórico. En este estudio se utilizan los datos del modelo CESM-LE para obtener WTs mediante el método Self-Organizing Maps (SOM) y asociarlos con WTs obtenidos mediante los datos de reanálisis de ERA Interim en el período 1980-2016 en la región definida como Middle-Americas Region (MAR). Los WTs del período húmedo (mayo-octubre) mostraron una mayor correspondencia entre ellos, en cuanto a frecuencia de ocurrencias, correlaciones en variables como presión a nivel del mar y precipitación; así como en la posición de centros permanentes de altas presiones como la Alta del Pacífico Norte (NPH) y el Anticiclón Subtropical del Atlántico (NASH). Aquellos WTs relacionados con la Sequía de Medio Verano (MSD) y con el Monzón de Norteamérica (NAM) muestran un aumento en su frecuencia para el período futuro 2006-2100; sin embargo, el comportamiento de la precipitación en la región muestra una disminución significativa. Este comportamiento en la precipitación para la MSD y el NAM, pueden estar relacionados con el desplazamiento de los centros de NPH y NASH mostrándose más alejados de la región de estudio.

CCA-25

## MODO DIPOLAR VIENTO-SST EN EL CARIBE Y GOLFO DE MÉXICO: CARACTERÍSTICAS E IMPULSORES DE GRAN ESCALA

Rodríguez-Vera Geidy[1], Romero-Centeno Rosario[1] y Ribera Pedro[2]
[1]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
[2]*Universidad Pablo de Olavide*
heirove@gmail.com

El modo dipolo o dipolar (MD) es el patrón principal de variabilidad interanual acoplada entre el viento y la temperatura superficial del mar (SST) en los mares intra-americanos durante la primavera, y se caracteriza por anomalías de SST de signo opuesto entre el Mar Caribe y el Golfo de México. Utilizando la desviación estándar del viento en un análisis de correlación máxima, este estudio tiene como objetivo proporcionar una visión más dinámica del papel de la atmósfera en su acoplamiento con la SST. Los resultados muestran que la fase positiva del MD está asociada a un aumento de la inestabilidad atmosférica, mientras que la fase negativa emerge en condiciones atmosféricas más estables. El MD está precedido por cambios en el cinturón subtropical de alta presión durante el invierno previo, particularmente en el Atlántico Norte, y refleja cambios en la posición latitudinal de la corriente en chorro subtropical. La fase positiva del MD tiende a ocurrir después de un invierno de El Niño y bajo condiciones negativas de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO). El Niño modula el MD a través de un debilitamiento en el gradiente de presión meridional y un desplazamiento hacia el sur de la corriente en chorro. Una NAO negativa implica un debilitamiento de la alta subtropical del Atlántico Norte y, por tanto, una circulación más irregular en la región. Tanto El Niño como las condiciones negativas de la NAO favorecen un aumento de la variabilidad del viento durante la fase positiva del MD, consistente con un incremento en las perturbaciones atmosféricas. La fase negativa del MD responde más a una NAO positiva en el invierno previo, revelando una alta subtropical del Atlántico Norte más intensa que actúa como bloqueo atmosférico, lo que justifica una disminución en la variabilidad del viento y una circulación más estable.

CCA-26

## SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA DURANTE EL MONZÓN DE NORTEAMÉRICA: MECANISMOS DE PROPAGACIÓN

Ramos Pérez Omar[1], Adams David K.[2], Ochoa Moya Carlos Abraham[2] y Quintanar Isaías Ignacio Arturo[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
omar.ramos@atmosfera.unam.mx

En el presente trabajo, utilizamos datos del canal infrarrojo (4x4 km y con una resolución temporal de 15 minutos) obtenidos por el Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (GOES por sus siglas en inglés) durante el monzón de Norteamérica (junio-septiembre) y para el periodo 2011-2017, con la finalidad de entender mejor el mecanismo que favorece la propagación de Sistemas Convectivos de Mesoescala (MCSs en inglés) en esta región de orografía compleja. Definimos a un MCS con base en los siguientes criterios: Temperatura del Tope de Nube # 221 K, área de cobertura # 5,000 km2 y una duración # 6 horas. La velocidad de propagación la estimamos mediante dos técnicas: 1) Diagrama Hovmöller y 2) Cambio en el centroide (latitud y longitud) del escudo de nube durante el inicio y disipación del MCS. Nuestros resultados sugieren que los MCS que viajan desde la Sierra Madre Occidental (SMO) hacia el Golfo de California (GoC) (Trayectoria 1) son los más frecuentes con un 44 % de ocurrencia, enseguida los MCS propagándose paralelos a la SMO (Trayectoria 2) con el 35 % y finalmente con un 7 % los MCS que se propagan desde la SMO hacia Chihuahua (Trayectoria 3). En cuanto a su velocidad de propagación, las dos técnicas muestran resultados similares para la Trayectoria 1 y 3 con rango promedio 4.9-7.5 m/s y 4.4-6.4 m/s, respectivamente. El diagrama Hovmöller tiene problemas en la Trayectoria 2 probablemente debido a que los MCS tienen distintas velocidades y direcciones de propagación. Nuestros resultados sugieren que las velocidades de propagación encontradas (rango promedio 4.4-9.4 m/s) son menores a las asociadas con ondas de gravedad (~ 15 m/s) y son relativamente mayores a las velocidades de advección asociadas con el "steering-level winds" entre 700 y 500 mb (rango 3.3-6.0 m/s). Sin embargo, estas velocidades son similares y consistentes con las asociadas a corrientes de gravedad o piscinas frías, resultado de las corrientes descendentes de los MCS, reportadas/estimadas en otros estudios (p. ej., Lang et al., 2007; Clark et al., 2014; Grant and van den Heever, 2016; Jeevanjee, 2016; Jain et al., 2018; Hirt et al., 2020).

CCA-27

## MODELOS MACROECOLÓGICOS DE BIODIVERSIDAD PARA EVALUAR IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Velasco Vinasco Julian Andres[1], Estrada Francisco[1], Calderón-Bustamante Óscar[1] y Luna-Aranguré Carlos[2]
[1]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
[2]*Instituto de Ecolog##a, Universidad Nacional Autónoma de México*
javelasco@atmosfera.unam.mx

La rápida pérdida de biodiversidad por la transformación del paisaje y el cambio climático antrópico impone una serie de desafios para los tomadores de decisiones sobre la necesidad de implementar acciones efectivas de conservación de forma rápida. Por ejemplo, la evaluación de impactos de eventos de cambio climático abrupto sobre la biodiversidad son desconocidos para muchos grupos de plantas y animales y por lo tanto es necesario desarrollar enfoques a gran escala basados en un marco teórico ecológico y evolutiva sólido. Aunque algunos modelos mecanísticos proveen proyecciones robustas sobre el impacto de estos eventos estos modelos no pueden implementarse en muchos grupos de especies por la falta de datos detallados de ecología y fisiología. Los modelos macroecológicos brindan una respuesta computacional más eficiente y rápida para generar proyecciones a futuro sobre impactos de cambio climático y uso de suelo. Estos modelos permiten anticipar impactos antes que las extinciones locales y regionales de especies sean más comunes y extendidas. Aquí, presentamos un modelo macroecológico orientado a generar predicciones actuales de biodiversidad (i.e., riqueza de especies) en cuatro grupos de vertebrados terrestres con base en una serie de hipótesis ecológicas y evolutivas. Estos modelos pueden generar proyecciones a futuro de cambios de biodiversidad (i.e., ganancia y pérdida de riqueza de especies) a través de diferentes escenarios de cambio climático y uso de suelo. Las pérdidas proyectadas de cambios en riqueza de especies varian a través de los diferentes grupos de especies y a lo largo de la geografía. Estos resultados preliminares sugieren que la respuesta de los grupos de especies frente al cambio climático puede ser bastante idiosincrática y no son estacionarios a través del tiempo y el espacio. Estos modelos pueden ser acoplados con otros modelos de evaluación integrada que estiman funciones de daño en sectores económicos (e.g., cambios en PIB) y de agricultura (e.g., cambios en rendimientos de cultivos).

CCA-28

## EFECTO PERSISTENTE DE LA TEMPERATURA SOBRE EL PIB IDENTIFICADO A PARTIR DE LA VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA DE BAJA FRECUENCIA

Bastien-Olvera Bernardo A. y Moore Frances C.
*University of California Davis*
bastien@ucdavis.edu

Está bien establecido que la variabilidad de la temperatura afecta a una serie de resultados relevantes para el bienestar humano, como la salud (Gasparrini et al., 2017), el estado de ánimo (Baylis et al., 2018), y la productividad en una serie de sectores económicos (Carleton & Hsiang, 2016; Dell et al., 2014). Sin embargo, una cuestión empírica crítica y aún no resuelta es si la variación de la temperatura tiene un efecto duradero en la productividad económica y, por lo tanto, si los daños se agravan con el tiempo en respuesta al cambio climático. Varios estudios han identificado una relación entre la temperatura y el PIB (Burke et al., 2015; Dell et al., 2012; Kalkuhl & Wenz, 2020), pero las pruebas empíricas sobre la persistencia de estos efectos son todavía débiles. Este trabajo presenta un enfoque novedoso para aislar el componente persistente de los efectos de la temperatura sobre la producción utilizando la variación de la temperatura de baja frecuencia. Utilizando tres bases de datos diferentes, descubrimos que las anomalías de temperatura más prolongadas afectan al crecimiento del PIB tanto o más que las anomalías de corta duración,

lo que implica efectos persistentes y, por tanto, acumulativos del cambio climático sobre la producción económica. El efecto global ponderado por la población de -0.8 puntos porcentuales por grado centígrado es suficiente para reducir el PIB per cápita en 2100 en un 44% bajo el RCP6, aproximadamente un orden de magnitud mayor que los daños representados actualmente en los modelos de evaluación integrada de costo-beneficio (Diaz & Moore, 2017).

CCA-29

## PROSPECTIVA DEL INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR Y POSIBLES IMPACTOS EN LA ZONA DIAMANTE DE LA CIUDAD DE ACAPULCO DE JUÁREZ, MÉXICO

Gómez-Villerías Ramiro Salvador[1] y Tejeda-Martínez Adalberto[2]
[1]*Universidad Autónoma de Guerrero*
[2]*Universidad Veracruzana*
rsgomez@uagro.mx

El objetivo de este artículo es explorar los riesgos de inundación presentes y futuros en la región costera de la zona Diamante en la ciudad de Acapulco de Juarez, México, y mejorar nuestra comprensión de las vulnerabilidades a las inundaciones asociadas a los procesos relacionados con el clima (por ejemplo, el incremento del nivel del mar). Las áreas bajas de la ciudad de Acapulco, y en especial de la zona Diamante, son el hogar de aproximadamente una cuarta parte de la población del municipio. En estas, se encuentra gran parte de la infraestructura crítica existente y en ella se encuentran recursos icónicos del puerto, tanto naturales, como económicos, y culturales. Irónicamente, las ciudades de mayor crecimiento (físico y demográfico), son las menos preparadas y/o equipadas para hacer frente a las amenazas del cambio climático ya que suelen tener un profundo déficit en gobernanza, infraestructura y equidad socioeconómica. El AR5 proporciona proyecciones del nivel del mar y su incertidumbre. Con el fin de proporcionar una explicación probabilística de la proyección del aumento del nivel del mar de acuerdo con el IPCC, esta sección convierte los resultados del AR5 en términos de la incertidumbre. Según AR5 la proyección del aumento del nivel del mar utilizado en el diseño del esquema se basa en tres RCPs. Por razones físicas, como la inestabilidad de la capa de hielo marino, el desprendimiento de glaciares, o la expansión térmica de los océanos, existe un límite superior al aumento del nivel del mar para 2100. Proyecciones globales construidas sobre el extremo superior del rango de futuros del nivel del mar previstos por la comunidad científica (Kopp et al., 2017). Utilizamos estadísticas de riesgo de inundación publicadas por Muis et al. 2016, quienes estudiaron 35 años de condiciones atmosféricas globales registradas para simular y estimar la frecuencia de inundaciones extremas en todas partes de la tierra (Muis et al., 2016). Se tomaron tres prospectivas de calentamiento del planeta producto del cambio climático, elegidas para este estudio con los cuales se modeló el incremento del nivel del mar: "de facto" (PCR 2.6), "status quo" (PCR 4.5), y "calamitoso" (RCP 8.5). Las proyecciones en este trabajo muestran que, si se detiene el aumento de la temperatura global del planeta Tierra a 2°C con respecto a la temperatura global en 1850, es posible que para el 2100 hasta el 73% de la zona de estudio se vea afectada por inundaciones extremas; y si alcanzándose alcanzan los 3°C, el 89% de Acapulco Diamante en el 2100 se encontrará bajo el agua, este es el peor escenario previsto.

CCA-30

## TENDENCIAS DEL NIVEL DEL MAR EN ALGUNAS ZONAS COSTERAS DEL PACÍFICO MEXICANO

López-Espinoza Erika Danaé[1], Gómez-Ramos Octavio[2], Zarza Alvarado Miriam Arianna[2], Herna#ndez Maguey Felipe[2], Herna#ndez Sotelo Katia[3], Reno# Domingos Karina[4] y Rocha Bermu#dez Alejandro Jose#[5]
[1]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[4]*Ingenieri#a Geoma#tica, Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro*
[5]*Ingenieri#a Geoma#tica, Universidad de Costa Rica*
danae@atmosfera.unam.mx

México es un país rodeado por grandes mares, al oeste el Océano Pacífico y al este el Golfo de México y Mar Caribe. De sus 32 entidades federativas 17 tienen apertura al mar siendo esto el 56% de su territorio nacional. El 15.8% de la población total de México (>20 millones de habitantes) se encuentra viviendo en municipios costeros (INEGI, 2015). De acuerdo con el índice de marginación de 2020, nueve entidades federativas (Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Nayarit, Michoacan, Yucatan, Campeche, Tabasco y Veracruz) tienen un grado de marginación de alto a muy alto. El incremento del nivel medio del mar implica un gran reto en esas entidades, pero especificamente en los municipios costeros, pues las inundaciones junto con la erosión costera pueden afectar la infraestructura (aeropuertos, carreteras, puertos, hospitales, casas, etc) teniendo además efectos severos también en el desarrollo económico y la cultura local. El aumento del nivel medio del mar presenta diferencias regionales con respecto al nivel medio del mar a escala global, por tal motivo es necesario determinar las tendencias locales. En este trabajo se presenta la metodología de control de calidad desarrollada que considera procesos automa#ticos y manuales para generar informacio#n robusta del nivel del mar de las costas mexicanas, así como un análisis de las tendencias del nivel del mar basado en un periodo de 70 años de monitoreo (1952-2020) sobre las estaciones del Servicio Mareográfico Nacional.

CCA-31

## MAPAS COGNITIVOS DIFUSOS PARA EXPLORAR LAS REPERCUSIONES QUE CAMBIOS EN LOS PATRONES DE PRECIPITACIÓN TENDRÁN SOBRE LA SALUD Y VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN DE LA ZMVM

Olvera-Fuentes Norma Elizabeth, Gay-García Carlos y Sánchez-Meneses Oscar
*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
norma.olvera@atmosfera.unam.mx

La ZMVM (Zona Metropolitana del Valle de México) con sus más de 22 millones de habitantes enfrenta problemáticas que afectan en forma directa o indirecta la salud de su población y su bienestar. La ocurrencia de eventos meteorológicos cada vez más extremos como sequías o supertormentas están afectando a poblaciones concentradas con mayor frecuencia (Li, et al., 2015). Como indica Vorösmarty et al. (2000), centros urbanos como este serán algunos de los lugares más vulnerables ante los efectos del cambio climático. En esta investigación se exploran los posibles escenarios futuros que cambios en los patrones de precipitación (aumento/decremento) y la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos generados por el cambio climático tendrán sobre el subsistema social del servicio de abasto de agua, particularmente en el sector salud. Para tal fin se aborda el análisis de este sistema complejo bajo una mirada nueva que no requiera las herramientas tradicionales. El Campo de las Ciencias de la Complejidad, en donde la lógica difusa abarca a los mapas cognitivos difusos (MCD), brinda una herramienta teórico-metodológica muy pertinente para obtener información sobre este tipo de sistemas. Entre las numerosas ventajas de los MCD destacan: sus representaciones visuales claras y directas de las relaciones causales; el manejo de información más general que no solo involucre cantidades numéricas sino también información cualitativa relevante al problema, lo que permite analizar el comportamiento de sistemas donde no existen funciones analíticas o relaciones numéricas; así como poder trabajar con falta de información o ante una gran incertidumbre, como ocurre en el estudio de sistemas climáticos, sociales y sus relaciones (Kosko, 1986). Los MCD permiten obtener respuestas rápidas sobre el comportamiento de un sistema dinámico (sus problemáticas). Esto permite obtener una estimación inicial del comportamiento del sistema antes de llevar a cabo una técnica numérica más precisa. Los conceptos (o nodos) considerados en este análisis fueron: crecimiento industrial, poblacional y turístico (S1); aumento en la demanda de agua (S2); aumento de recortes en el suministro de agua (S3); decremento en la calidad del agua (S4); deterioro de la salud (S5); aumento de la vulnerabilidad de las comunidades (S6); incremento de la temperatura (C1); decremento/aumento en la precipitación (C2); aumento de eventos climáticos extremos (C3); incremento en la evapotranspiración (C4). A partir de un análisis de redes e identificación de los patrones de retroalimentación y convergencia al estado final al que evoluciona el subsistema social en cada escenario, fue posible detectar los componentes que presentaban un mayor deterioro por los efectos del cambio climático ante una posible disminución o aumento en los patrones de precipitación. En orden decreciente estos son: deterioro de la salud de la población (S5), aumento de la vulnerabilidad de las comunidades (S6), decremento en la calidad del agua y (S4) aumento en la demanda de agua (S2). A partir de los resultados obtenidos se plantearon medidas de mitigación para este subsistema, ejemplificando lo oportuno de la metodología aquí aplicada para presentar acciones concretas y eficientes a los tomadores de decisiones.

CCA-32

## MITIGACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y METAS DE CUMPLIMIENTO

Vázquez Ibarra Gabriela[1] y Cruz Nuñez Xochitl[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
312189738@quimica.unam.mx

México ha comprometido la reducción de sus emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero para 2030 y 2050 como parte del Acuerdo de París y de sus Contribuciones Nacionales Determinadas (NDC). Los compromisos de reducir 22% y 36% las emisiones de dióxido de carbono equivalente ($CO_2$-eq) para 2030 respecto de la línea tendencial y el 50% respecto del valor del año 2000 para 2050, aún cuando son modestos no se han empezado a realizar. México ha reducido sus emisiones como parte de la pandemia de la Covid-19 y anteriormente, con el cambio de administración, la actividad industrial había sido reducida y la instrumentación de las energías renovables detenida en aras de los combustibles fósiles. Sin embargo, al reiniciarse las actividades se espera un "rebote" en las emisiones a escala mundial y México no es la excepción. Las acciones de mitigación para cumplir con los compromisos de México aún no aparecen como prioritarios en la agenda nacional y por ello se espera un crecimiento mayor de las emisiones a escala nacional en los próximos años. Se presentan diversos escenarios de emisiones en México mediante la evaluación de conjuntos de medidas de mitigación. Para la línea base se usaron los datos nacionales de 2015 a la fecha y se usan datos como el crecimiento industrial, residencial, habitacional, de transporte, etc. para estimar los escenarios

base y de reducción. Se adaptó el Modelo de Costos de Reducción de Gases de Efecto Invernadero (por sus siglas en inglés GACMO), a las condiciones de México. Las estimaciones se realizan tomando en cuenta los costos y beneficios de las medidas de mitigación así como su penetración a lo largo de los años evaluados. Los resultados se presentan como gráficas de escenarios base y de mitigación y como gráficos de curvas de abatimiento.

CCA-33 CARTEL

## IMPORTANCIA DE LAS CENIZAS VOLCÁNICAS PROVENIENTES DE CUATRO VOLCANES DE MÉXICO, COLOMBIA Y ECUADOR EN LA FORMACIÓN DE NUBES MIXTAS

Vivar Alducin Karla Itzel[1], Rodríguez Aldo[1], Carabalí Giovanni[2], Pi Puig Teresa[3], Pereira Diana L.[4], Córdoba Fernanda[4], Raga Graciela[4], Rodríguez Abril[1], Gavilán Irma[5] y Ladino Luis A.[4]
[1]*Universidad Veracruzana*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Instituto de Geología, UNAM*
[4]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
[5]*Facultad de Química, UNAM*
caoimhe.karla@gmail.com

Durante las erupciones volcánicas se libera una gran cantidad de partículas de aerosol hacia la atmósfera y, dependiendo de su tamaño, composición química, mineralógica, y morfológica, estas pueden actuar como núcleos de glaciación (INPs, por sus siglas en inglés), favoreciendo la formación de hielo en las nubes mixtas y, por lo tanto, alterando el desarrollo de precipitación y el ciclo hidrológico. De igual forma, los andosoles, o suelos formados a partir de la alteración de materiales piroclásticos (tefra) emitidos por un volcán activo o recientemente activo, pueden ser re-suspendidos en la atmósfera por acción del viento y, al igual que la ceniza volcánica, tener la capacidad de actuar como INPs. En el presente estudio, se colectaron muestras de ceniza y suelos volcánicos asociados a las erupciones de los volcanes Popocatépetl (México), Tungurahua (Ecuador), Galeras (Colombia) y Citlaltépetl (México) para analizar las habilidades de dichos suelos y cenizas como INPs. Las muestras fueron colectadas entre el 2018 y el 2021, con excepción de una muestra de ceniza volcánica del Popocatépetl colectada en la CDMX durante la erupción de 1997. La capacidad de las partículas de aerosol para actuar como INPs fue evaluada en función del tamaño de partícula (0.32 #m a 10 #m) con la cámara de nube UNAM-Micro-orifice Uniform Deposit Impactor - Droplet Freezing Technique (UNAM-MOUDI-DFT). Asimismo, se analizó mediante Difracción de Rayos X la composición mineralógica de las cenizas y suelos para identificar qué componente mineralógico promueve la eficiencia como INP de una ceniza volcánica. Finalmente, se evaluaron las áreas en donde las cenizas del Volcán Popocatépetl son típicamente depositadas con ayuda de los softwares WRPLOT y HYSPLIT para determinar la región donde se espera que dichas emisiones tengan un mayor impacto ambiental.

CCA-34 CARTEL

## CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y GEOQUÍMICAS DE LAS PARTÍCULAS FINAS Y GRUESAS DE LA CENIZA VOLCÁNICA EMITIDA POR EL POPOCATÉPETL Y OTROS VOLCANES SURAMERICANOS

Rodríguez Aldo[1], Alducin Karla I.[1], Pereira Diana[2], Córdoba María Fernanda[2], Morton-Bermea Ofelia[3], Campion Robin[3], Rodríguez Abril[1], Boulesteix Thomas[4], Taquet Noemi[4], Miranda Javier[5], Ladino Luis A.[2] y Carabalí Giovanni[2]
[1]*Universidad Veracruzana*
[2]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[4]*Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Productos Naturales y Agrobiología, Estación Volcanológica de Canarias, Santa Cruz de Tenerife, España*
[5]*Instituto de Física, UNAM*
aldo.guzman29@gmail.com

El volcán Popocatépetl (Popo) es conocido por su alta actividad volcánica, convirtiéndose en una fuente importante de aerosoles naturales en México. Continuamente, emite grandes cantidades de ceniza volcánica (CV) y gases que alcanzan alturas elevadas, que pueden afectar las propiedades microfísicas de las nubes. En el presente trabajo, se estudiaron las características morfológicas y geoquímicas de partículas finas (diámetro aerodinámico, Da < 2.5 $\mu$m) y gruesas (Da entre 2.5 $\mu$m y 10 $\mu$m) de la CV dispersada en los alrededores de los volcanes Popo e Iztaccíhuatl (Izta). Adicionalmente, se realizó una comparación con las muestras de CV y suelos recolectados en las faldas de los volcanes Citlaltépetl (Citla), Tungurahua (Tung) en Ecuador, y Galeras (Gal) en Colombia. Para el estudio analítico de las muestras, fue necesario prepararlas previamente, sometiéndolas a un proceso de secado y tamizado. Posteriormente, se introdujeron pequeñas cantidades del polvo resultante en un generador de aerosoles en seco, el cual se conectó directamente a un impactador en cascada de micro-orificios (MOUDI, por sus siglas en inglés), en donde las partículas fueron colectadas sobre rejillas de cobre para microscopia electrónica. Por otro lado, se recolectaron muestras de partículas PM2.5 y PM10 en filtros de Teflón con la ayuda de un MiniVol para su posterior análisis químico. La morfología de las partículas se analizó empleando un Microscopio Electrónico de Barrido, acoplado a un detector de rayos-X (SEM/EDS, por sus siglas en inglés), mientras que las concentraciones de elementos principales y traza en suspensiones de partículas finas se determinaron usando la Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS, por sus siglas en inglés).

CCA-35 CARTEL

## INVERSIONES EN EL VALLE DE MÉXICO EN PERIODO SECO Y LOS EFECTOS POR CAMBIOS DE USO/COBERTURA DE SUELO

Aquino Martínez Lourdes Paola, Quintanar Arturo I. y Ochoa-Moya Carlos A.
*Universidad Nacional Autónoma de México*
lulusita.am@gmail.com

En el Valle de México las condiciones locales se ven moduladas día a día por las circulaciones sinópticas. En periodo seco, los sistemas anticiclónicos limitan la convección seca, incrementan la estabilidad vertical y la radiación dando lugar a fuertes inversiones en superficie. Debido a los cambios de uso/cobertura de suelo (LULC) que ha experimentado la zona de estudio a lo largo de décadas se han observado cambios en las propiedades radiativas y termodinámicas. La climatología de los radiosondeos y simulaciones de casos de estudio con el modelo WRF muestran que los cambios de LULC de natural a urbana reduce la presencia de inversiones en superficie, aumenta la altura de capa límite y por tanto la inversión por subsidencia se encuentra a mayor altura.

CCA-36 CARTEL

## EL UNAM-MARINE AEROSOL TANK (UNAM-MARAT): UNA HERRAMIENTA PARA LA GENERACIÓN DE PARTÍCULAS DE AEROSOL MARINO EN AMBIENTES CONTROLADOS

Córdoba María Fernanda[1], Chang Rachel[2], Raga Graciela[1] y Ladino Luis[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Department of Physics and Atmospheric Science, Dalhousie University, Canada*
mariafercordoba@hotmail.com

Los núcleos de glaciación (INPs, por sus siglas en inglés) son un subconjunto del aerosol atmosférico, los cuales juegan un papel muy importante en la atmósfera dado que puede influir en el balance radiativo y la formación de nubes (Hoose and Möhler, 2012). Estudios recientes han demostrado que el aerosol marino tiene la capacidad de actuar como INP (Wilson et al., 2015). Dada la alta complejidad para realizar mediciones de campo en buques oceanográficos, existen diferentes dispositivos y técnicas para la generación de aerosol marino para posteriormente evaluar sus propiedades físicas, químicas y biológicas en el laboratorio, tales como el Wave Channel (Prather et al., 2013), tanques en teflón (Fuentes et al., 2010), el tanque AEGOR (Christiansen et al., 2019) y el tanque de referencia de aerosol marino, conocido como MART (Stokes et al., 2013). Dado que experimentos de este tipo son escasos en latitudes tropicales, en el laboratorio Interacción Micro y Mesoescala de la UNAM se construyó el UNAM-MARine Aerosol Tank (UNAM-MARAT). Por medio de un sistema de circulación del agua, el tanque simula el proceso de rompimiento de burbujas, las cuales son generadas en el mar a través de la ruptura de olas. Para confirmar la generación de partículas de aerosol con el UNAM-MARAT, se realizaron experimentos con sal común (NaCl) y con Instant Ocean Sea Salt encontrando que el nuevo dispositivo puede generar concentraciones de partículas tan altas como 500 partículas cm-3, valor comparable a condiciones marinas en campo (Quinn et al., 2015). Finalmente, para evaluar el alcance del UNAM-MARAT se realizó un estudio sobre la concentración, el tamaño, y las habilidades como INPs de las partículas de aerosol generadas a partir de aguas de la Bahía de Acapulco.

CCA-37 CARTEL

## CLIMATOLOGÍA DE DATOS SATELITALES (2000-2021) SOBRE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE SIERRA GORDA

Corona Daniela, Mora-Ramos Estefani, Romero Arvizu María del Carmen, Carrasco Tomas, Alcántara José Luis y Mora-Ramírez Marco Antonio
*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
daniela.coronal@alumno.buap.mx

Entre las áreas protegidas de México, la Sierra Gorda tiene el mayor grado de biodiversidad, albergando mas de una decena de tipos de vegetación, varios de importancia mundial, con altos niveles de endemismo de especies. A pesar de estar bien conservada, el área es amenazada por la ganadería intensiva, las prácticas agrícolas ineficientes, la caza furtiva y la contaminación. En este último aspecto, investigamos si la región esta sujeta a niveles importantes de deposito de azufre, que pudieran incidir en los procesos de transpiración de las plantas, y los flujos netos de vapor de agua a la atmosfera, modificando la formación de nubes y por lo tanto ocasionado sequias y alteraciones en la biodiversidad. Se establecieron tres sitios para el análisis: S1 (20.6 N, -100.6 O) es el más cercano a la ciudad de Querétaro, S2 (21.0 N, -99.8 O) se ubica en la zona de transición del valle a la montaña y finalmente S3 (21.3 N, -99.1 O) es el mas conservado ubicado en la parte alta de la montaña. En estos sitios se empleo una climatología (2000-2021) de

datos satelitales de concentraciones de dióxido de azufre y de carbono, temperatura, humedad relativa, precipitación y vegetación para calcular la anomalía estándar y determinar diferencias de largo plazo en las variables. Así mismo, se determino el índice de precipitación estandarizado para cuantificar la probabilidad de sequias en la región de estudio. Los resultados indican que en las épocas de secas-calientes se registraron concentraciones importantes de SO2 sobre S3 que se explican por el transporte de este contaminante desde los complejos petroleros del Golfo de México. Los resultados generados a partir de datos satelitales permiten identificar que el inicio de la época de lluvias, coincide con el incremento de las concentraciones de CO2 asociadas al incremento de la actividad microbiana en el suelo y la fotosíntesis de las plantas. Finalmente, se demostró que la presión sobre el ecosistema que ejercen las ciudades de San Luis Potosí y Querétaro pudiera relacionarse con las mayores probabilidades de sequias calculadas en las afueras de estas ciudades, y en contraste la región alta, y más conservada, mostro probabilidades muy pequeñas de sequías

CCA-38 CARTEL

## ATLAS DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN PARA LA ZMCM: RESULTADOS FINALES

Herrera-Moro Dulce Rosario[1], López-Espinoza Erika Danaé[2] y Gómez-Ramos Octavio[3]
[1]*Posgrado en Ciencias e Ingeniería de la Computación, IIMAS-UNAM*
[2]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
dulce.herrera@atmosfera.unam.mx

En el presente trabajo se presenta el resultado final del Atlas de precipitación para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), el cual es un desarrollo Web implementado con la finalidad de difundir el resultado de los análisis generados a partir del comportamiento de la precipitación acumulada diaria registrada por un conjunto de estaciones distribuidas a lo largo de la ZMCM para los meses del periodo de lluvias durante 20 años (1922 al 2015). El atlas está implementado usando Nodejs y Express en el backend y el framework de javascript Vue.js en el frontend. Para el visualizador de mapas se instaló y configuró un servidor de mapas Geoserver y se utilizó la biblioteca OpenLayers. El Atlas muestra diferentes análisis (eventos extremos, tendencias, comportamiento anual de la precipitación, etc.) en mapas y gráficas interactivas. Además de los datos y gráficas propias del análisis de precipitación, el desarrollo Web cuenta con secciones para la descripción de los datos, métodos, resultados extra, publicaciones, manuales y demás información que ayudan a los usuarios a interpretar los diversos análisis. Este Atlas es un recurso público y educativo que se integrará a la Red Universitaria de Aprendizaje (RUA) de la UNAM para contribuir al entendimiento de la variabilidad climática/meteorológica de la precipitación en la región de la ZMCM. Investigación realizada gracias al Programa UNAM-DGAPA-PAPIIT IT102120

Sesión regular

# EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

Organizadores:
Miguel Ángel Alatorre Zamora
Diego Ruiz Aguilar

EG-1

## TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA PARA EXPLORACIÓN GEOHIDROLÓGICA EN UNA SECCIÓN DEL ACUÍFERO LA MISIÓN, BAJA CALIFORNIA

Calderón Pulido Paul Alexander y Pérez Flores Marco Antonio
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
pcalderon@cicese.edu.mx

El acuífero de La Misión, ubicado en una porción Noroeste del estado de Baja California ha cumplido con el objetivo de sustentar agua a algunas poblaciones del estado. En el transcurso del tiempo se ha realizado una variedad de estudios en el acuífero, los cuales han inferido un decremento en la disponibilidad y calidad del agua, motivo de este estudio. Se escogió una sección del acuífero donde existe contacto con un tributario para ejecutar un levantamiento geoeléctrico utilizando métodos de corriente directa. Se extrajeron datos de 15 perfiles utilizando las configuraciones tetrapolares: Wenner, Schlumberger y Dipolo-Dipolo. Como la vegetación es abundante, los perfiles siguen los caminos irregulares. Se extrajeron 2 muestras de agua a lo largo de los límites del área para medir sus propiedades físicas y relacionarlas con los resultados. Se eliminaron datos inconsistentes, se calculó el factor geometrico con presición al usar el posicionamiento de los electrodos con GPS y se aplicó una inversión en dos y tres dimensiones para generar modelos de la zona de estudio. Se escogió el mejor modelo y se concluyó la existencia de 4 grupos: dos flujos de agua, una zona de mezcla y una zona conductora que está en contacto directo con sedimentos salinos. Las mediciones de resistividad de las muestras de agua coinciden con los respectivos grupos declarados del modelo final.

EG-2

## ANÁLISIS DE LA INESTABILIDAD DE LADERAS EN LA ZONA METROPOLITANA DE PUERTO VALLARTA POR SIG Y TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Cruz Harlen I. y Escudero Christian R.
*Universidad de Guadalajara*
cruzl.harlen@gmail.com

La zona de estudio está conformada por áreas susceptibles a fenómenos naturales potencialmente peligrosos. La creciente urbanización del territorio no considera estos escenarios y modifican el paisaje, aumentando el grado de susceptibilidad en zonas montañosas donde la presencia de factores sísmicos, geológicos o hidrometeorológicos pueden generar procesos gravitacionales tales como los deslizamientos de ladera. El objetivo de este trabajo es identificar áreas propensas a inestabilidad de laderas por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y estimar el potencial de deslizamiento en estas zonas mediante una Tomografía de Resistividad Eléctrica. Este método geofísico no invasivo, ha demostrado ser eficiente para caracterizar geología compleja y proporciona resultados confiables para el análisis del suelo. El procesamiento de datos recolectados se realiza con el software RES2DINV por inversión Gauss-Newton, el cual permite visualizar los valores de resistividad aparente de acuerdo con el tipo de arreglo (dipolo-dipolo y Wenner-Schlumberger); el tratamiento de datos en dirección vertical y horizontal proporcionará valores del error medio cuadrático, generando un modelo o secciones. El análisis de cada una de las anomalías permitirá conocer el tipo de material y si existe o no saturación del mismo, integrando estos resultados con el modelo SIG y creando un mapa de inestabilidad de laderas.

EG-3

## ESTRUCTURA CORTICAL INFERIDA A PARTIR DE DATOS GRAVIMÉTRICOS Y AEROMAGNÉTICOS EN LA REGIÓN DEL CAMPO VOLCÁNICO LOS TUXTLAS Y CUENCA VERACRUZ

Pérez Luján Rodrigo y García Abdeslem Juan
*CICESE*
perezlr@cicese.edu.mx

El Campo Volcánico Los Tuxtlas, enclavado sobre la planicie costera del Golfo de México en el Estado de Veracruz, está constituido por cuatro edificios volcánicos de composición mayormente alcalina: San Martín Tuxtla, San Martín Pajapan, Santa Marta y el Cerro el Vigía, además de numerosos conos de escoria y maares. La actividad volcánica en esta región inició hace aproximadamente 7 Ma y ha continuado hasta tiempos históricos, siendo la última erupción la del volcán San Martín Tuxtla en 1793. El campo volcánico está limitado hacia el Norte por el Golfo de México y al Sur está rodeado por la Cuenca Veracruz, la cual ha sido clasificada como cuenca de antepaís, que acomoda secuencias sedimentarias del Jurásico al Cuaternario. Inferimos la estructura cortical en esta región mediante la modelación inversa de datos gravimétricos y datos aeromagnéticos. El modelo de densidades sugiere que la Cuenca Veracruz acomoda secuencias sedimentarias de hasta 10 km de espesor, muestra continuidad hacia la región fuera de costa y su espesor disminuye hacia el Sur, acuñándose en las fronteras de la cuenca. El modelo magnético sugiere la presencia de cuerpos intensamente magnetizados y de gran volumen en la zona subyacente de los volcanes Santa Marta y San Martín Pajapan, así como una estructura alargada y estrecha, coincidente con el sistema de fracturas con rumbo NW-SE en la zona central del campo, lo cual sugiere vulcanismo fisural asociado a los maares y conos de escoria. En la zona occidental del campo, se encontraron cuerpos de menor volumen e intensidad de magnetización bajo el Cerro el Vigía y en una región somera de aproximadamente 10x10 km al NW del Vigía, donde la topografía muestra pocos rasgos prominentes. Resalta la ausencia de cuerpos intensamente magnetizados bajo el volcán San Martín Tuxtla y los numerosos aparatos volcánicos situados sobre sus pendientes.

EG-4

## MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA MEDIANTE ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO TS, POR EL MÉTODO DE COCIENTES ESPECTRALES (H/V), EN CIUDAD GUZMÁN, JALISCO

Cocuñame Ricardo Danny Alexander y Escudero Ayala Christian René
*Universidad de Guadalajara*
danny.cocuname2582@alumnos.udg.mx

Los eventos sísmicos han tenido un impacto considerable en el desarrollo socio-estructural de los diferentes asentamientos humanos, sobre todo para aquellos que se encuentran emplazados en proximidad a fuentes sismogénicas determinadas, y están localizados sobre suelos con características dinámicas específicas determinadas por su litología. El empleo de técnicas de exploración geofísica de carácter no invasivo permite determinar parámetros que están directamente relacionados a los efectos de sitio para una zona o área específica. Uno de los principales parámetros es el periodo fundamental de vibración del suelo (Ts), obtenido a través del método de cocientes espectrales (H/V) o Nakamura, el cual consiste en el registro pasivo del ruido sísmico a través de sensores de corto periodo, y el cálculo del cociente de las razones espectrales, relacionadas a los registros de las componentes del sensor. Se realizo la estimación del parámetro Ts, en la zona urbana de Ciudad Guzmán. Primero se obtuvieron registros de ruido sísmico en 85 puntos, por medio de la instalación temporal de sensores Raspberry Shake (alta frecuencia [f >1 Hz] triaxiales). Los datos adquiridos fueron procesados a través del software GEOPSY. Cada dato de periodo fundamental del suelo es asociado a las coordenadas geográficas de adquisición. Finalmente, se interpolan estos datos por el método de Vecino Natural, y se establece la microzonificación sísmica en base al periodo, tomando en cuenta la equivalencia entre la clasificación NEHRP y el cálculo de razones espectrales. Los resultados obtenidos tras el proceso de interpolación muestran que, el 95% del área de estudio, presenta valores de periodo mayores a 0.6 segundos, esto está relacionado directamente a la presencia de suelos blandos, mientras que el restante 5% presenta valores menores a 0.6 segundos, asociados estos a suelos medios, firmes y rígidos o roca, y se encuentran localizados hacia la zona oriental del área de estudio.

EG-5

## REPRESENTACIÓN SÍSMICA 2D DE LA DISTRIBUCIÓN DE VP DEL SUBESTRATO REFRACTOR

Cárdenas Soto Martín[1], Sánchez González Jesús[2], Martínez González José Antonio[2], Escobedo Zenil David[1], Cifuentes Nava Gerardo[3], Sotomayor Sandoval Sebastián Ramón[1] y Sandoval Quintana Osiris[4]
[1]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[2]*Posgrado en Ingeniería, UNAM*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[4]*ENES Morelia, UNAM*
martinc@unam.mx

Mediante un arreglo de fuentes y receptores en superficie se puede crear una imagen de una superficie sísmica en profundidad. El procedimiento consiste en discretizar la superficie de estudio mediante celdas proporcionales a la separación de receptores, y ajustar los tiempos de arribo de las ondas refractadas que cruzan cada una de las celdas. El inverso de la pendiente es la velocidad de onda compresional y el intercepto permite calcular la profundidad del subestrato. Aplicamos este procedimiento en diferentes sitios donde se requería conocer la presencia de anomalías asociadas a discontinuidades laterales de velocidad en el subsuelo; como en estructuras civiles, basamentos arqueológicos, cavidades, y objetivos forenses. La profundidad del subestrato es verificada con los resultados de las secciones sísmicas de refracción que resultan a lo largo de líneas del arreglo. Las variaciones laterales de Vp muestran un buen acuerdo con las variaciones de otras propiedades físicas derivadas de métodos de ruido sísmico y tomografía de resistividad eléctrica.

EG-6

## CARACTERIZACIÓN DE UN ACUÍFERO SOMERO EN LA ZONA DEL PROSPECTO GEOTÉRMICO DE ACOCULCO (PUEBLA), A PARTIR DE DATOS TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS

García Suárez Erick[1], Ruiz Aguilar Diego[1], Castro Artola Oscar Alberto[2], Romo Jones José Manuel[1] y Arango Galván Claudia[3]
[1]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
[2]*Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*
[3]*Universidad Nacional Autónoma de México*
erickgarcia@cicese.edu.mx

Dentro del proyecto Europeo-Mexicano GEMex, se adquirieron 65 sondeos electromagnéticos transitorios (TEM) en los alrededores de la zona del prospecto geotérmico de Acoculco, la cual está localizada en la parte central de México. Los sondeos fueron recolectados utilizando un arreglo de espira coincidente, en donde la misma espira transmisora es utilizada como receptora, mientras el transmisor se encuentra apagado. El tamaño de la espira transmisora fue de 100 x 100 m^2. La inversión unidimensional de los datos TEM se realizó aplicando los métodos de inversión de tipo Occam y Marquardt. Se correlacionaron los modelos de inversión con la información hidrogeológica y geoquímica disponible del área de estudio. Por lo tanto, se caracterizó una parte del acuífero Libres-Oriental, el cual corresponde a la zona de prospección. El acuífero es de tipo semiconfinado, en algunas zonas se identificaron tres unidades hidrogeológicas, en donde el acuífero se encuentra almacenado en material arcilloso de poca permeabilidad y está aproximadamente entre los 5 y 40 m de profundidad, el basamento está constituido por rocas ígneas extrusivas que actúan como fronteras del acuífero y se localiza entre los 50 y 100 m de profundidad. Finalmente, con los datos TEM también se pudo delimitar una estructura conductora entre los 150 y 300 m de profundidad, la cual se interpreta como el 'sombrero de arcilla' asociado al sistema geotérmico de Acoculco, Puebla.

EG-7

## ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD PARA DETERMINAR LA POSIBLE CONEXIÓN ENTRE UN ACUÍFERO SOMERO Y UN SISTEMA GEOTÉRMICO EN ARARÓ, MICHOACÁN

Ruiz Aguilar Diego[1], García Suárez Erick[1], Gallardo Romero Erik Uziel[1], Peiffer Loic[1], Inguaggiato Claudio[1], Sánchez León Eduardo Emilio[2], Delgado Argote Luis Alberto[1], Contreras López Manuel[1], Kretzschmar Thomas[1] y Arango Galván Claudia[3]
[1]*CICESE*
[2]*Universidad de Tuebingen, Alemania*
[3]*UNAM*
druiz@cicese.mx

En el marco del proyecto Exploración geotérmica en algunas zonas de Michoacán y Guanajuato para atender la demanda 2: Uso de agua de geotérmica, financiado por el Fondo Sectorial CONAGUA-CONACYT, se adquirirán datos geoquímicos, hidrogeológicos y geofísicos en las inmediaciones de Araró, en Michoacán. Respecto a la parte geofísica, se adquirirán datos magnetotelúricos (MT) y Transitorios Electromagnéticos (TEM) para poder definir la distribución de resistividades en el subsuelo de la zona de estudio y así, poder definir la geometría del acuífero somero y de las estructuras que conforman el sistema geotérmico de Araró. Ambas técnicas son sensibles a la conductividad eléctrica, la cual es una propiedad que puede asociarse a la presencia de fluidos geotérmicos y/o recursos hídricos subterráneos, por lo que aportarán información valiosa para determinar la posible conexión entre el acuífero somero y el sistema geotérmico. Para tener una exitosa campaña de adquisición de datos electromagnéticos, en el presente trabajo se realizan diferentes 'estudios de factibilidad' considerando la información geológica, geofísica e hidrogeológica con la que se cuenta. Con estos estudios se define de mejor manera los diferentes parámetros de adquisición para ambas técnicas electromagnéticas y así, se facilitará la posterior interpretación de los datos de campo.

EG-8

## MODELOS 1-D DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA (TEM Y AMT) PARA LA CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA PORCIÓN CENTRO-SUR DE LA CUENCA DE CHICONTEPEC

Palazuelos Carolina, Corbo-Camargo Fernando y Ávila Oscar
*Centro de Geociencias, UNAM*
carolina.palazuelos.jmz@gmail.com

En este trabajo se correlacionan modelos 1-D de resistividad eléctrica con el comportamiento hidrogeológico (piezometría) en el del sector centro-sureste de la cuenca de Chicontepec. Se presentan y analizan 32 sondeos AMT (frecuencias entre los 10,000 y 1 Hz), 23 sondeos Transitorios Electromagnéticos (TEM), aunado a la medición de niveles estáticos en 21 norias. Toda la información recabada, analizada y modelada se correlacionó con los pozos petroleros (CNH, 2017) de la zona de estudio, con la información geográfica y espacial y con la geología disponible. Los resultados muestran que existe un comportamiento resistivo (100 – 400 #.m) hacia el oeste del área de estudio que se correlaciona con las calizas cretácicas no fracturadas de la Sierra Madre Oriental. Hacia el este, los valores de resistividad disminuyen (15 – 60 #.m) debidos a las lutitas-areniscas, calizas fracturadas y material aluvial cercano a los causes de los ríos. También, las zonas con probable saturación hídrica se ubican, principalmente, en dirección Este y se asocian en gran medida a la permeabilidad secundaria provocada por fallas y fracturas. En resumen, la interpretación conjunta entre la información geofísica (AMT y TEM), la piezometría, el procesamiento de la información geográfica y espacial, y la geología disponible permitió correlacionar de manera efectiva la distribución sedimentaria y el flujo del agua subterránea, en el primer kilómetro de profundidad de la cuenca de Chicontepec. Proyecto CONACYT FC, No. 1787.

EG-9

## INVERSIÓN TRIDIMENSIONAL DE DATOS MAGNETOTELÚRICOS EN EL PALEOCANAL DE CHICONTEPEC

Ávila Oscar y Corbo-Camargo Fernando
*Centro de Geociencias, UNAM*
oavila@geociencias.unam.mx

El paleocanal de Chicontepec se encuentra localizado dentro de la provincia petrolera Tampico – Misantla. El cual, de acuerdo con la Comisión Nacional de Hidrocarburos, tiene una de las reservas probadas y posibles de petróleo más importantes de México. Por ello resulta de gran relevancia mejorar la precisión en la interpretación información que lleva a determinar las zonas favorables de explotación. La geología de dicho paleocanal tiene una deposición compleja producto de múltiples eventos con flujos turbidíticos, su estratigrafía se conforma por volúmenes importantes de sedimentos arcillo-arenosos representando una fuente importante de hidrocarburos. En esta investigación se usaron equipos magnetotelúricos de amplio espectro (BMT) dispuestos espacialmente al interior y en los bordes de dicho paleocanal. La adquisición de datos se realizó durante varias campañas desde el año 2019 y los datos adquiridos se analizaron y procesaron con el objeto de generar un modelo de inversión 3D, partiendo de un medio homogéneo y tomando en cuenta la topografía del sitio y su cercanía con el Golfo de México. La herramienta utilizada para realizar la inversión 3D fue el algoritmo ModEM (Egbert y Kelbert, 2021; Kelbert et al. 2014), el cual trabaja con gradientes conjugados no lineales (NLGC). EL modelo permite determinar la geometría del paleocanal tanto en extensión como en profundidad, las estructuras geológicas subterráneas y las anomalías geoeléctricas embebidas en el relleno sedimentario que pueden ser asociadas con la presencia de fluidos, aceites, gas y/o salmueras. Esto ultimó deriva como una aproximación del análisis de la respuesta electromagnética en los sondeos MT respecto a información de pozos productores (CNH, 2017). Proyecto CONACYT FC, No. 1787.

EG-10

## A RESISTIVITY MODEL OF THE SAN PEDRO – CEBORUCO GRABEN: 3-D INVERSION STUDIES AND A COMPARISON BETWEEN STANDARD AND ADVANCED MAGNETOTELLURIC TRANSFER FUNCTIONS

Castro César Daniel[1], Eysteinsson Hjálmar[2], Hering Philip[1], González-Castillo Lourdes[3], Junge Andreas[1], Corbo-Camargo Fernando[4] y Ferrari Luca[4]
[1]*Goethe-Universität Frankfurt am Main*
[2]*Reykjavik Geothermal*
[3]*Universidad de Granada*
[4]*Centro de Geociencias, UNAM*
castro@geophysik.uni-frankfurt.de

A large set of magnetotelluric (MT) surveys has been carried out along the Tepic-Zacoalco Rift (TZR) for geothermal exploration and to determine the deeper electrical conductivity distribution of the subsurface. Here, we perform a dimensionality analysis of the data using the MT Phase Tensor (PT, Caldwell et al., 2004) and Complex Apparent Resistivity Tensor (CART, Brown, 2016, Hering et al., 2019). Both parameters have distinct features and sensitivities, which can be directly related to the conductivity distribution of different geological units. The comparison highlights the benefits of the interpretation of MT data sets using the novel CART. Subsequently, 110 MT broadband stations were used to derive a preliminary high-resolution resistivity model of the TZR. 3-D inversion models derived from Impedance tensor and Tipper (Z and T) are compared to those resulting from PT and CART. The results reveal improvements for the advanced MT transfer functions, which result in a better resolution of vertical and horizontal resistivity gradients. Within a joint collaboration between Goethe-University Frankfurt, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Dublin Institute of Advanced Studies (DIAS), and Granada University, 78 MT broad-band and long-period stations are currently installed to complement the regional resistivity model of the TZR. The purpose is to investigate the connection between the geothermal system along the San Pedro Ceboruco graben and the deeper tectonic structures in the TZR and to evaluate the spatial distribution of the electrical anisotropy recently suggested by Hering et al. (2021).

EG-11

## COMPARACIÓN DE INVERSIONES 2D Y 3D DE IMPEDANCIAS INVARIANTES MAGNETOTELÚRICAS

Molina León Gabriel, Romo Jones José Manuel y Ruiz Aguilar Diego
*CICESE*
gmolina@cicese.edu.mx

En las últimas décadas la inversión en tres dimensiones (3D) de datos magnetotelúricos se ha convertido en una herramienta cada vez más usada y más disponible para para la interpretación de datos MT. Sin embargo, sigue siendo relativamente costosa desde el punto de vista computacional, por lo que surge la necesidad de buscar estrategias que ahorren tiempo y/o poder de cómputo. En el presente trabajo se reduce el tensor de impedancias de cuatro componentes a dos invariantes ante rotación propuestas por Gómez-Treviño et al. (2014), obteniendo un tensor similar al que se tiene en el caso 2D, con objeto de investigar la eficiencia o deficiencia del uso de estos invariantes en la inversión 3D y comparar con inversiones en 2D. Para el desarrollo de este trabajo se generaron datos sintéticos con distintos modelos tridimensionales y a partir de las respuestas ¨observadas¨ se calcularon los invariantes. Posteriormente, se comparan los resultados de inversión 3D usando el tensor completo, las componentes de la antidiagonal, y los invariantes. Además, se analiza el resultado de variar los parámetros que controlan la regularización del proceso de inversión. Por otra parte, se comparan los modelos resultantes de la inversión 3D con modelos que resultan de invertir los mismos datos en 2D. Finalmente, se presentan los modelos que resultan al invertir en 3D y en 2D los datos de uno de los perfiles medidos en el campo geotérmico de los Humeros, en el marco del proyecto GEMex, evaluando las ventajas y/o desventajas del uso de los invariantes.

EG-12

## MAGNETOTELLURICS FACING MAGMATIC SYSTEMS: SENSITIVITY STUDIES TO IMAGE TECTONICS AND VOLCANIC FEATURES WITHIN THE TEPIC-ZACOALCO RIFT

Castro César Daniel y Junge Andreas
*Goethe-Universität Frankfurt am Main*
castro@geophysik.uni-frankfurt.de

Prior to any data acquisition campaign, it is extremely important to have a general knowledge of the tectonic-geological panorama of the study area, in order to determine which structures can be recovered by a proposed site array. The Tepic-Zacoalco Rift (TZR) is one of the most complex areas in Mexico in terms of tectonics and geology, as it is part of a triple-rift system and it defines the boundary between the Sierra Madre Occidental and the Jalisco Block, this last one being subducted by the Rivera and Cocos plates. Previous magnetotelluric (MT) studies have revealed the presence of 2 semi-regional conductive structures which extend within the San Pedro-Ceboruco graben and which may obstruct the identification of deeper structures due to the attenuation of the electromagnetic fields. Therefore, different scenarios are modelled to estimate the contribution of geological units on the transfer functions (period range and area of influence) and to find the optimum distribution of field sites within the area of interest. 7 electrical resistivity models for the TZR are proposed to study the impact on the MT transfer functions, i.e. topography and coastal effect, tectonic plate subduction, and their connection to a shallower volcanic system. A new way to plot the differences between MT tensor ellipses is introduced, which vividly displays the differences of the principal axes and of their orientation.

EG-13

## INVERSIÓN 3D DE LOS TENSORES DE FASES ESTIMADOS A PARTIR DE DATOS MAGNETOTELÚRICOS ADQUIRIDOS EN ACOCULCO

Roque Pineda Luis Sebastián, Ruiz Aguilar Diego y Romo Jones José Manuel
*CICESE*
lroque@cicese.edu.mx

Uno de los problemas más recurrentes en el método magnetotelúrico es la distorsión galvánica, la cual es provocada por la presencia de pequeñas heterogeneidades cercanas a la superficie. En las últimas décadas ha habido un auge en el uso de métodos electromagnéticos para exploración geofísica, incluyendo el método magnetotelúrico, por lo que darle solución al problema de la distorsión galvánica se ha convertido en una prioridad. Uno de los efectos de la distorsión galvánica es el corrimiento estático, ocasionando que las curvas de resistividad aparente tengan un desplazamiento vertical, lo que puede llevar a interpretaciones erróneas. Para resolver el problema del corrimiento estático en los datos magnetotelúricos, comúnmente se aplican técnicas geofísicas adicionales (e.g., Transitorio Electromagnético), sin embargo, esto eleva los costos y complica la logística en la etapa de adquisición de datos. Las relaciones de fase entre los elementos del tensor de impedancias son inmunes a la distorsión galvánica, por lo que se presentó al tensor de fases como una solución a este problema. Por otro lado, en los últimos años ha habido un gran avance en las técnicas de modelado directo e inverso 3D de datos magnetotelúricos, y existen trabajos en donde han realizado la inversión tridimensional de los tensores de fases. Algunos autores han reportado que para datos magnetotelúricos afectados por distorsión galvánica se obtiene un mejor resultado al realizar la inversión 3D de los tensores de fases que con la inversión de los tensores de impedancias. En este sentido, el presente trabajo se enfoca en la inversión 3D de los tensores de fases estimados a partir de datos magnetotelúricos adquiridos en el campo geotérmico de Acoculco y su resultado es comparado con el obtenido por la inversión 3D de los tensores de impedancias, los cuales han sido previamente corregidos por el efecto de corrimiento estático. De esta manera, se comparan y discuten los resultados obtenidos con ambos esquemas de inversión 3D.

EG-14

## EL MÉTODO MAGNETOTELÚRICO COMO HERRAMIENTA PARA ABORDAR EL POTENCIAL DEL PELIGRO SÍSMICO EN EL ISTMO DE TEHUANTEPEC

Ruiz Aguilar Diego[1], Romo Jones José Manuel[1], Arango Galván Claudia[1], Husker Allen[2], Constable Steven[3], Mortera Gutiérrez Carlos[4], Castro Artola Oscar Alberto[5], Gallardo Romero Erik Uziel[1], García Suárez Erick[1] y Roque Pineda Luis Sebastián[1]
[1]*CICESE*
[2]*Caltech*
[3]*Scripps Institution of Oceanography, UCSD*
[4]*UNAM*
[5]*UNICACH*
druiz@cicese.mx

En el marco del proyecto 'Collaborative research: A better understanding of seismic hazard in Tehuantepec, Mexico, using amphibious MT studies', financiado por la NSF (National Science Foundation, de Estados Unidos), se adquirirán datos magnetotelúricos marinos y terrestres en las inmediaciones de los estados de Chiapas y Oaxaca. En el proyecto participan instituciones de Estados Unidos y México; la parte estadounidense se encargará primordialmente de la adquisición de los datos magnetotelúricos marinos, mientras que las instituciones mexicanas estarán a cargo de la parte terrestre. El objetivo principal del proyecto es caracterizar la estructura geoeléctrica profunda en la zona del Golfo de Tehuantepec y así, poder aportar información valiosa para la determinación del peligro sísmico en la región. En este trabajo se presentan diferentes estudios de modelado (i.e. estudios de factibilidad) para definir los parámetros de adquisición idóneos y así, determinar correctamente las estructuras de interés. Para el modelado directo 3D de datos MT utilizamos el nuevo algoritmo UHO3DMT (Gallardo-Romero y Ruiz-Aguilar, 2021), el cual está implementado con la técnica de Elemento Finito. Por otro lado, el modelado inverso tridimensional de los datos sintéticos se realiza con ModEM (Kelbert et al., 2014), el algoritmo más utilizado por la comunidad académica.

EG-15

## RELACIÓN ENTRE EL POTENCIAL DE AGUA SUBTERRÁNEA Y EL TECTONISMO EN EL NORESTE DE MÉXICO

Batista Rodríguez José Alberto[1], Tolentino Álvarez Janet[1], López Saucedo Felipe de Jesús[1], Pérez Flores Marco Antonio[2], Almaguer Carmenates Yuri[1], Batista Cruz Ramón Yosvanis[1] y Blanco Moreno Jesús Antonio[1]
[1]*Universidad Autónoma de Coahuila*
[2]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
josebatista@uadec.edu.mx

Se presenta un análisis de la relación entre el potencial de agua subterránea y las condiciones tectónicas en tres sectores de rocas sedimentarias clásticas y carbonatadas del noreste de México, utilizando Tomografía de Resistividad Eléctrica en siete transectos. Los datos de resistividad eléctrica se tomaron usando arreglos Schlumberger, Wenner y dipolo-dipolo. Para realizar la inversión 2D, se combinaron los tres conjuntos de datos obtenidos. A partir de la interpretación de los datos de Tomografía de Resistividad Eléctrica se localizaron y caracterizaron varios acuíferos dentro de diferentes espesores de conglomerado, arenisca y caliza. También, en el modelo 2D se identifican fracturas, fallas y límites entre tipos de rocas. Esos elementos estructurales indican que los acuíferos tienen una gran relación con el tectonismo de la región. Bloques hundidos y elevados se presentan asociados a fallas normales. La orientación de las fracturas y fallas inferidas se ajustan a las características estructurales de la región de estudio. Los acuíferos se clasifican como semi-confinados y confinados. En materiales clásticos, estos acuíferos se clasifican como granulares, mientras que en calizas son principalmente fracturados. En las tomografías también se identifican zonas de fracturas que conectan a la mayoría de los acuíferos y, a estos con la superficie. Esas zonas pueden constituir las principales vías de recarga y contaminación de los acuíferos. La contaminación puede estar relacionada con las actividades ganaderas e industriales, así como con la agricultura y la minería en la región. Usando estos resultados se perforan pozos de agua para corroborar los acuíferos identificados.

EG-16

## ANÁLISIS ESPECTRAL SEMI-AUTOMÁTICO DE DATOS AEROMAGNÉTICOS CON DISTRIBUCIÓN FRACTAL PARA EL CÁLCULO DE LAS PROFUNDIDADES DE CURIE EN MÉXICO

Huante Arana Francisco Enrique[1], Colchado Casas Juan Carlos[1], Sánchez Galindo Luis Alfredo[1], Salazar Macías Edna Ashera[1], Rubio Ramos Marco Antonio[2], Pita de la Paz Carlos[1], Villanueva Estrada Ruth Esther[3] y Rocha Miller Roberto[1]
[1]*Geotem Ingeniería S.A. de C.V.*
[2]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
fha.geotem@gmail.com

A lo largo de las últimas décadas se han desarrollado e implementado distintas metodologías para calcular las profundidades de Curie en diversas áreas alrededor del mundo, lo cual se ha convertido en una herramienta indirecta para evaluar el flujo de calor. Se han realizado diversas estimaciones de profundidades de la fuente magnética en territorio mexicano, las cuales dependen en parte de las estructuras de la corteza continental producto de su evolución geodinámica, particularmente desde el Jurásico. Actualmente, existen trabajos que toman en cuenta modelos con magnetización fractal, aunque asumen exponentes fractales constantes para toda la región de estudio. En este trabajo proponemos una técnica modificada del método defractado que involucra un proceso semi-automático de tres pasos: el primero es una inversión no lineal para calcular el exponente fractal 3D mientras que los otros dos son procesos manuales para estimar las profundidades de la fuente magnética mediante el método linealizado al defractar el espectro. Desarrollamos una GUI en MATLAB para la georreferenciación, asignación de ventanas, cálculo del espectro radial de potencias, la estimación de las profundidades y la visualización de los resultados. Los productos de este trabajo son: Mapa de distribución de índices fractales y Mapa de profundidades de Curie. Los distintos índices fractales en el territorio mexicano son indicativos de distintos tipos de roca o estructuras geológicas, pero principalmente muestran la correlación de las fuentes magnéticas fractales. Pudimos observar que la península de Yucatán y el sur de Baja California Sur presentaron índices fractales altos (fuertemente correlacionados), desde la Sierra Madre Oriental hasta la Llanura Costera del Golfo Norte al noreste del país y la Cordillera Centroamericana al sureste presentaron índices fractales intermedios (moderadamente correlacionados), y a lo largo de la costa del Pacífico desde la Llanura Sonorense al norte del país hasta la Sierra Madre del Sur y también la Faja Volcánica Transmexicana presentaron índices fractales bajos (débilmente correlacionados). Con este trabajo obtuvimos el primer modelo de profundidades de Curie a partir del análisis fractal con datos aeromagnéticos para todo el territorio continental mexicano. Uno de los rasgos más significativos en este resultado es que gran parte del norte del país, la Llanura Sonorense y el sur de Baja California Sur presentaron profundidades someras (<15 km), mientras que el centro del país, gran parte de Baja California y el norte de la Sierra Madre Oriental presentaron profundidades altas (>22 km).

EG-17

## ESTUDIO DE PERCEPCIÓN REMOTA, ANÁLISIS DE DATOS AEROMAGNÉTICOS Y FLUORESCENCIA DE RAYOS X EN LA REGIÓN DEL PARIÁN, ESTADO DE OAXACA

Teahulos Ortega Evelyn Donaji[1], Muñoz Máximo Ignacio[1] y Reynoso Carvajal Melesio[2]
[1]*Área de Geociencias Aplicadas, Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento, BUAP*
[2]*Facultad de Ingeniería BUAP*
eteahulosortega@gmail.com

Al Noreste de la capital del Estado de Oaxaca, en la denominada región del Parián, existen distintos pulsos mineralizantes de vetas de cuarzo, con distintos contenidos minerales (e. g. pirita, galena, moscovita, calcopirita) que en muestra de mano los cristales de cuarzo son # a 1 cm y los minerales metálicos tienen dimensiones # 5 mm. Estas vetas minerales cortan en dos pulsos (generaciones de vetas VPAQz1 y VPAQz2) a roca calizas y lutitas (en algunos frentes de tipo Flysch) que presentan una deformación moderada (se exhiben en superficie algunas estructuras de tipo anticlinal y sinclinal, acompañadas por cabalgamiento). La mineralización observada se asocia con la existencia del emplazamiento de un intrusivo de Granodiorita – Monzonita de Cuarzo, que se expone en superficie en el lomerío denominado por los pobladores locales como La Peña. Sin embargo, en la región ya se ha desarrollo previamente (durante la década de los 70s, y recientemente entre el año 2000 a 2004) la extracción de minerales metálicos de forma artesanal, inclusive existiendo una mina tipo socavón actualmente abandonada. Actualmente la zona está prácticamente abandonada debido al fenómeno de migración humana, la región no presenta un polo de desarrollo económico notable, siendo una mina de grafito (y por ende una fábrica de lápices) la industria más importante en toda la región. En esta investigación, se presentan los resultados preliminares del trabajo de tesis a partir del empleo del análisis de imágenes LANDSAT, tratamiento de datos aeromagnéticos y la caracterización de 40 especímenes tipo por Fluorescencia de Rayos X (FRX), empleados para la geolocalización de posibles yacimientos minerales de interés económico en la región. Esperando pueda motivar a una factible inversión que permita la creación de un polo económico minero, que fortalezca la economía familiar local y regionalmente, pero que además potencialice el desarrollo endógeno territorial.

EG-18

## INVERSIÓN 2D DE DATOS MAGNÉTICOS ADQUIRIDOS CON DRON EN LA MINA MEDIA LUNA: CASO DE ESTUDIO CON MAGNETIZACIÓN REMANENTE

Colchado Casas Juan Carlos[1], Sánchez Galindo Luis Alfredo[1], Huante Arana Francisco[1], Salazar Macías Edna Ashera[1], Rodríguez Olguín Arisai[1], Pita de la Paz Carlos[1] y Landon del Pozo Nicolás[2]
[1]*Geotem Ingeniería S.A. de C.V.*
[2]*Torex Gold Resources*
juan.colchado@geotem.com.mx

En los últimos años se han adquirido datos aeromagnéticos y satelitales para la exploración o delimitación de fuentes magnéticas en diversas zonas alrededor del mundo. Las nuevas tecnologías han permitido la instalación de instrumental geofísico en drones con mayor estabilidad para la adquisición de datos. Hay ocasiones en que no se puede tener acceso a ciertas zonas vía terrestre o que son de difícil acceso, por lo que la adquisición mediante dron se convierte en una mejor alternativa para tener mayor cobertura de datos. En este trabajo se realiza el procedimiento para preparar las señales magnéticas adquiridas con dron y el procesamiento con operadores de realce de fuentes someras y de bordes para encontrar las zonas de máxima mineralización de Au y Ag en la mina de Media Luna. Análisis previos en la zona señalaron la posibilidad de presencia de magnetización remanente en la mina de Media Luna. De esta manera, optamos por realizar un algoritmo de inversión 2D con métodos heurísticos utilizando una cantidad invariante a la dirección de la magnetización, como lo es la Amplitud de la Señal Analítica, para la correcta interpretación de las fuentes magnéticas.

EG-19

## USO DE RADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE APLICADO A LA DETECCIÓN DE FOSAS SIMULADAS

Fidel Romero Valentina Fernanda[1], Caccavari-Garza Ana[2], Quinto-Sanchez Mirsha[1], Cifuentes Nava Gerardo[2], Quiroz-Suarez Diego[1] y López-Rodríguez Antonio[2]
[1]*Facultad de Medicina, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
vale.fidel606@gmail.com

Para realizar la búsqueda de fosas clandestinas en México, se utilizan técnicas invasivas y destructivas, como las varillas T, las cuales pueden alterar el lugar y dañar las evidencias que se encuentran en el subsuelo, entorpeciendo la labor de investigación. Es por esta razón, atendiendo al deber de preservar y no contaminar el lugar de intervención y las evidencias, que se propone el uso del radar de penetración terrestre(GPR) como una técnica geofísica no invasiva para la detección y delimitación de alteraciones en el subsuelo. Para este experimento se utilizó un campo de pruebas ubicado cerca de San Juan del Río, Querétaro. Tiene un tamaño de 14 x 29 metros y se realizaron 12 fosas de 1.80 x 1.0 metros, con distintas profundidades: 0.40, 0.60 y 1.20 metros. Tres de estas fosas son de control y las otras nueve contienen los cuerpos. Se realizaron cuatro levantamientos de GPR utilizando una antena de 400MHz, uno previo a la inhumación de los cuerpos y tres durante un año posterior. Esto con el fin de evaluar los cambios en los resultados de los radargramas asociados a profundidades y a diferentes momentos. El objetivo de esta investigación experimental es evaluar la aplicación forense del radar de penetración terrestre. Debido a que la aplicación de la geofísica en el campo forense es reciente, la evaluación de estas técnicas en contextos controlados permitirá generar bases de datos de los radagramas para referencia de futuros eventos de investigación experimental y/o judicial.

EG-20

## APLICACIÓN DE TÉCNICAS GEOFÍSICAS EN FOSAS COMUNES DE UN CEMENTERIO PARA LA UBICACIÓN DE PLUMAS CONTAMINANTES

Velasco Casarez Leonardo, Guzmán García Rosalinda, González Juárez Diego Armando y Cruz Pérez Eiby Agustin
*Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, ITSVC*
leonardo.velasco@itsvc.edu.mx

El objetivo del estudio es delimitar la distribución de las plumas contaminantes que son provenientes de la descomposición de restos humanos ubicados en el cementerio de la localidad de Coronel Tito Hernández, Puebla, utilizando el equipo geofísico como es el Resistivimetro y GPR. Con los datos geofísicos se identificará el comportamiento de estas plumas en el subsuelo cuya profundidad de prospección aproximada es de 24 m y además se evidenciará el grado de afectación que estos provocan en los acuíferos aledaños a la zona. Con los resultados del estudio se podrá interpretar como influye la roca en el almacenamiento o en la circulación de los contaminantes. Para determinar la morfología del relieve se utilizarán los datos topográficos y se podrá observar la dirección del movimiento probable de las plumas

contaminantes (gravedad). Por tanto, se empleará una metodología que pueda servir en futuros proyectos y que sirva como antecedente de que es necesario un estudio de esta índole para el asentamiento de un cementerio urbano.

EG-21

## APRENDIZAJE SUPERVISADO PARA PROSPECCIÓN Y MAPEO MINERAL A PARTIR DE INFORMACIÓN GEOCIENTÍFICA, CASO DE ESTUDIO MINERA MEDIA LUNA

Sánchez Galindo Luis Alfredo[1], Márquez Esquivel Oscar[1], Colchado Casas Juan Carlos[1], Huante Arana Francisco[1], Salazar Macías Edna Ashera[1], Pita de la Paz Carlos[1] y Landon del Pozo Nicolás[2]
[1]*Geotem Ingeniería S.A. de C.V.*
[2]*Torex Gold Resources*
alfredo@geotem.com.mx

En años recientes, los métodos de aprendizaje supervisado dentro del Machine Learning han ganado popularidad y notoriedad entre la comunidad geo-científica, gracias a los múltiples casos de éxito reportados a nivel industria. Por mencionar el caso del modelado predictivo de ocurrencia mineral a partir de múltiples mapas de evidencia geológica, geofísica y geoquímica (mineral prospectivity mapping) en zonas con una amplia cobertura de información directa y objetivos mineros específicos, escenarios que permiten llevar a cabo la implementación y entrenamiento de algoritmos predictivos para la exploración de nuevas zonas, donde no se tiene acceso a información directa. Esta estrategia conlleva algunas dificultades debidas principalmente a las relaciones no-lineales entre los factores prospectivos y los depósitos (Wang, et al. 2020). En este trabajo se describen las etapas para el desarrollo de una estrategia de mapeo prospectivo mineral, la creación y pre-procesamiento de diccionarios de información geo-científica necesarios para el entrenamiento utilizando diversos algoritmos de aprendizaje supervisado en modalidad de ensamble utilizando como caso de estudio Minera Media Luna en el estado de Guerrero, con el objetivo de llevar a cabo predicciones en nuevas zonas de interés minero.

EG-22

## RELIABILITY, EFFICIENCY, AND ROBUSTNESS: ENHANCED TEMPLATE-MATCHING FULL-WAVEFORM INVERSION USING SPARSE OCEAN-BOTTOM NODE DATA

Kang Wei, Brand Nolan, Cheng Xin y Vigh Denes
*Schlumberger*
wkang2@slb.com

Subsalt imaging in the Gulf of Mexico (GoM) has been an industry-level challenge for decades. The difficulty mainly comes from the irregular geometry of allochthonous salt in the shallow and complex geological units with strong velocity variation in the deep. During past decades, salt model building was driven by interpretation, which iteratively floods the model with sediment or salt velocities to interpret several levels of top and base of salt bodies. Then, the surrounding sediment is updated by tomography or full-waveform inversion (FWI) in different sections, i.e., supra salt or salt flank. Early attempts at salt-related FWI were applied this way and are considered an integration into the classic 'top-down' salt model building. However, FWI's ability to characterize salt and sediment diminishes with increased depth. In the deep-water region of the GoM, FWI updates are generally limited to a depth of around 5 to 6 km with conventional streamer data. Below that depth, reflection-based full-waveform inversion (RFWI) is normally adopted to compensate for the absence of a deep update. Due to the lack of constraint in the subsalt for RFWI, the industry has shifted its focus back to the long-offset refractions. In this context, FWI with ocean-bottom node (OBN) data has become more and more popular in recent years. ETM-FWI is greatly benefited by the long-offset and full-azimuth data, which could drive the update down to the basement and meets the requirements of oil and gas exploration. Several successful case studies have proved the advantages of ETM-FWI with dense OBN data with node spacings of 200 to 400 m. To improve the acquisition efficiency, a new type of survey was designed and acquired with a cost-effective sparse node interval of 1 km both along with and perpendicular to the node line. In this abstract, we demonstrate the ability of enhanced template-matching full-waveform inversion (ETM-FWI), used in conjunction with long-offset sparse ocean-bottom node (OBN) data, for resolving complex geological features. Two important pillars of this work are the enhanced template-matching objective function for FWI and the ultra-long offset and full-azimuth data from OBN acquisition. ETM-FWI matches the local pattern between observed and predicted shots, which can handle salt-related wavefield and converge to a kinematically correct and high-resolution model. Sparse-node acquisition greatly improves the acquisition efficiency and benefits FWI with better convergence and penetration depth. We demonstrate that the resulting FWI model is kinematically correct and contains high-resolution details. The kinematics of the FWI-updated model can be validated by geologically plausible image and flatter and better-focused reverse time migration surface offset gathers. The short-wavelength component can also be extracted as a representation of the earth reflectivity.

EG-23

## CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA GEOTÉRMICA DE LOS HUMEROS MEDIANTE EL MODELADO 3D CON MALLAS NO ESTRUCTURADAS

Gallardo Romero Erik Uziel[1], Ruiz Aguilar Diego[1] y Castillo Reyes Octavio[2]
[1]*CICESE*
[2]*Barcelona Supercomputing Center*
egallardo@cicese.edu.mx

La caracterización de zonas geotérmicas mediante observaciones magnetotelúricas (MT) es un proceso complicado debido a los altos contrastes de conductividad y a la geometría compleja presente en los reservorios de interés. Diversos estudios han utilizado algoritmos que implementan la técnica de Diferencias Finitas (DF) (e.g., ModEM), por lo que están limitados a mallas rectilíneas. La técnica de Elementos Finitos (EF) permite usar mallas no estructuradas conformadas por elementos tetraédricos, que se adaptan de mejor forma a los diferentes contextos geológicos. Aunque varios simuladores no están disponibles para la comunidad académica, afortunadamente en los años recientes se han desarrollado programas de modelado 3D open-source que utilizan mallas no estructuradas (e.g, UHO3DMT), lo que hace posible evaluar estos contextos complicados. En el presente trabajo, se utilizará el algoritmo de modelado directo UHO3DMT (Gallardo-Romero y Ruiz-Aguilar, 2021) para caracterizar la zona geotérmica de Los Humeros con base en los datos magnetotelúricos adquiridos dentro del marco del proyecto GEMex. Primeramente, se evalúan las respuestas MT para la configuración espacial de los sitios adquiridos, considerando un modelo homogéneo. Posteriormente, se estudia el efecto de la presencia de la anomalía geotérmica sobre las mediciones MT. Tomando como guía un modelo inverso tridimensional de conductividades que justifica las observaciones MT, se define la geometría de las anomalías y se construye una malla no estructurada. Las respuestas MT son evaluadas considerando distintos valores de conductividad. Finalmente, los datos calculados a partir de estos modelos se comparan con los datos observados.

EG-24

## DESARROLLO DE REDES NEURONALES PROFUNDAS (DNN) PARA PROCESOS DE INVERSIÓN GEOFÍSICA 1D: APLICACIÓN CON DATOS TDEM, MT Y HVSR. ANÁLISIS Y REFINAMIENTO DE HIPERPARÁMETROS

Sánchez Galindo Luis Alfredo, Colchado Casas Juan Carlos, Huante Arana Francisco y Márquez Esquivel Oscar
*Geotem Ingeniería S.A. de C.V.*
alfredo@geotem.com.mx

La solución a los problemas de inversión geofísica a partir de los datos observados para la estimación de propiedades físicas en el subsuelo, en general son propuestos como problemas de optimización locales o globales. La búsqueda de las soluciones se realiza a través de un proceso iterativo y comprende el uso de una función objetivo y gradientes basados en las relaciones físicas del sistema bajo estudio desde un punto de vista determinista o probabilístico, según la naturaleza del método a implementar. Las soluciones a estos problemas están limitadas por la no-unicidad y no-linealidad inherentes en su estructura y a la cuantificación de la incertidumbre en nuestras mediciones, por lo que se vuelven tareas complejas de alta exigencia computacional. En años recientes, el uso de métodos de Machine Learning (ML) dentro del ámbito geo-científico ha ganado popularidad y notoriedad, en particular las llamadas técnicas de aprendizaje supervisado mediante Redes Neuronales Profundas (DNN, por sus siglas en inglés). Las DNN han tenido éxito en el campo de la visión computacional y en tareas de detección, clasificación y segmentación de imágenes, debido al incremento continuo en la capacidad de modelación de grandes volúmenes de datos sintéticos y, sobre todo, a su notable característica de hacer uso de los procesos de extracción de propiedades no explícitas, en niveles de abstracción cada vez más profundos sobre la estructura de los datos como un proceso enteramente data-driven. Estas características sirven de estímulo para adoptarlas como herramientas complementarias en la solución a problemas de inversión de datos geofísicos. En este trabajo se expone la continuidad al caso de aplicación de estas herramientas e implementa la metodología a tres diferentes tipos de datos geofísicos: TDEM, MT y HVSR centrándose en un análisis de arquitecturas de las redes neuronales utilizadas, volúmenes de datos sintéticos generados e hiperparámetros, para la eficiencia computacional y convergencia del algoritmo.

EG-25 CARTEL

## ESTUDIO GRAVIMÉTRICO PARA EL ANÁLISIS DE UN ACUÍFERO EN CD. DEL CARMEN, CAMPECHE

Zequera Carrillo Sergio, Córdova Hernández Imelda Estephani y Peto esteban Luis Ángel
*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*
alumno01_1996@hotmail.com

Los acuíferos son la única fuente permanente de agua en extensas regiones áridas. El agua subterránea es la mayor fuente de agua dulce disponible, por lo cual más de la mitad de la población mundial la utiliza para su consumo; tiene excelente calidad natural, pues en general es libre de patógenos. El agua subterránea cuenta

con mecanismo de descarga natural que favorecen el equilibrio de los ecosistemas. Mas de 65% del agua que las ciudades y zonas rurales requieren para el desarrollo de sus actividades provienen de los acuíferos del país. El uso de la gravimetría para poder estudiar las zonas para aprovechamiento de agua es un recurso de reconocimiento a primera instancia, proporcionando las condiciones para poder dirigir la investigación sobre un prospecto en específico. Para el siguiente estudio se realizó una delimitación de la zona, en la cual se proyectaron las estaciones gravimétricas, tomando los datos de campo y posteriormente el análisis y procesado de los mismos con el de fin obtener el modelado e interpretación gravimétrica, obteniendo como resultado la delimitación en superficie de las zonas de bajos gravimétricos ideales para la prospección de otras técnicas geofísicas, o técnicas directas. Este estudio se ha realizado con fines de brindar una herramienta de exploración para cubrir con las necesidades de agua para el uso de la población, por lo cual se ha propuesto un modelo que nos ayude a entender el comportamiento de los cuerpos de agua presentes en la zona y poder abastecer las actividades acuícolas que ahí se desarrollan.

EG-26 CARTEL

## RESOLVING ELECTRICAL RESISTIVITY STRUCTURES BENEATH THE DAMAVAND VOLCANO, IRAN

Oskooi Behrooz[1], Omidian Sophie[2], Castro César Daniel[1] y Junge Andreas[1]
[1]*Goethe-Universität Frankfurt am Main*
[2]*Freelance Researcher*
oskooi@em.uni-frankfurt.de

Magnetotelluric (MT) measurements are conducted on the Damavand volcano which is claimed to be an intraplate phenomenon in geneses. Recent fumarole emissions and seismic activities with anticipation of serious hazards for the capital city of Tehran with more than 8 million population put more interest and lots of motivations for an extensive investigation on the volcano. MT transfer functions from 30 sites, at the flanks of the cone and at the outcrops of the basement, were estimated using the multivariate robust processing software FFproc (Hering et al., in prep). The dimensionality analysis based on the Phase Tensor analysis (Caldwell et al., 2004) showed a 3-D behavior for the conductivity distribution at most sites and clearly defined frequency ranges. Here, results from a 3-D isotropic joint inversion of the Impedance Tensor and Tipper are presented for the Damavand data set. The interpretation of the data resolved highly conductive anomalies beneath Damavand spread laterally and in-depth. It also revealed a reasonably good correlation between the features of the main and access cones and a great resolution of the tectonics and the structural distribution at depth. The MT results combined with the information of the prior tectonic and geological studies present the 3-D perspective of the volcano with a high degree of accuracy due to the deep investigation dataset we conducted.

EG-27 CARTEL

## INTEGRACIÓN DE ESTUDIOS SÍSMICOS Y ELÉCTRICOS PARA LA DETECCIÓN DE MINAS Y ANOMALÍAS DEL SUBSUELO PARA EL MAPA DE RIESGOS DE LA ALCALDÍA DE ÁLVARO OBREGÓN

Escobedo Zenil David[1], Cifuentes Nava Gerardo[2], Cárdenas Soto Martín[1], Sánchez González Jesús[1], Martínez González José Antonio[1], Reyes Pimentel Thalia A.[1], Santos Cerquera Clemencia[3] y Sotomayor Sandoval Sebastian[1]
[1]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Instituto de Geografía, UNAM*
dezenil@unam.mx

Las afectaciones por los colapsos de minas en las zonas habitacionales han generado cuantiosas pérdidas económicas, generado un problema social y de riesgo para la región ubicada principalmente en la Sierra de las Cruces, dentro de la Ciudad de México (CDMX) y zona conurbada; en donde la geología representativa de la zona está conformada principalmente por secuencias vulcano-sedimentarias de tobas y brechas de origen volcánico correspondientes a la formación Tarango. De los colapsos más conocidos es el socavón del Lago de Chapultepec en junio de 2006, en el cual se vació una cantidad notable de agua hacia el emisor poniente de la CDMX. La alcaldía de Álvaro Obregón tiene un historial de colapsos de minas de más de 50 años en zonas habitacionales de todos los niveles económicos y sociales. Los estudios geofísicos realizados dan cuenta de la complejidad de la geometría y ubicación de las minas y de los problemas urbanos que se generan por estas cavidades en su desarrollo y evolución. La aplicación de los métodos sísmicos y eléctricos son por mucho la mejor opción para el estudio de la región, su ejecución en un contexto urbano complejo e irregular, ha requerido de aplicación de técnicas de adquisición 3D para su mejor definición y entendimiento. Los resultados obtenidos son parte del proyecto de atlas de riesgo de la alcaldía, los cuales se publicarán para beneficio de todos en una página oficial del gobierno local y servirán como antecedente a futuros estudios.

EG-28 CARTEL

## APLICACIÓN DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN FOSAS COMUNES DE UN CEMENTERIO PARA LA DETECCIÓN DE PLUMAS CONTAMINANTES Y LAS POSIBLES AFECTACIONES A LA LOCALIDAD CORONEL TITO HERNANDEZ

García Sánchez María del Carmen, Naranjo Vargas Abigail, Guzmán García Rosalinda, González Juárez Diego Armando y Velasco Casarez Leonardo
*Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, ITSVC*
maria.garcia@itsvc.edu.mx

La localidad de Coronel Tito Hernández (María Andrea) se encuentra dentro del municipio de Venustiano Carranza, Puebla. La zona de estudio es el panteón perteneciente a esta localidad mencionada donde se aplicó la técnica geofísica de tomografía eléctrica que consiste en la inyección de corriente en el subsuelo mediante un par de electrodos y la respuesta medida de la diferencia de potencial [voltaje] a través de otro par de electrodos llamados de potencial; la distribución del potencial eléctrico permite la reconstrucción de la resistividad eléctrica asociada a los diferentes materiales o litologías que conforman el subsuelo. En este proyecto se realizaron un total de ocho tendidos para después obtener perfiles los cuales son de gran ayuda para la interpretación y detección de posibles plumas contaminantes derivadas de lixiviados de este panteón, basándonos en las lecturas de resistividades y con información geológica del lugar relacionamos estas resistividades comparándolas con los datos obtenidos sabiendo el valor promedio de resistividad de los lixiviados y los valores de los materiales que conforman el subsuelo de este lugar y con estos resultados inferir si existe un impacto social como ambiental puesto que toda esta información recabada beneficiará a los habitantes de esa zona. La información obtenida de este estudio es bastante efectiva en la caracterización del subsuelo en sitios contaminados como los lixiviados de este cementerio, ya que estos resultados se pueden utilizar para una mejor evaluación de las posibles distribuciones de contaminantes o puede ayudar a planificar la rehabilitación de la zona afectada de la localidad Coronel Tito Hernández (María Andrea).

EG-29 CARTEL

## TOMOGRAFIA ELECTRICA PARA DETERMINAR ANOMALIAS EN FUNCION DE POSIBLES LIXIVIADOS PRESENTES EN EL TIRADERO DE BASURA DE LA LOCALIDAD DE CORONEL TITO HERNANDEZ (MARIA ANDREA) PUEBLA

Hernández Reyes Karen Lizeth, Diego Olmedo Sayra Itzel y González Juárez Diego Armando
*Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, ITSVC*
karen.hernrey@itsvc.edu.mx

La Tomografía eléctrica es un método de resistividad multielectródico, basado en la modelización 2-D de la resistividad del terreno mediante el empleo de técnicas numéricas (elementos finitos o diferencias finitas). Se empleó el método de tomografía eléctrica para determinar posibles anomalías provocadas por lixiviados, estos son líquidos que se forman como resultado de pasar o “percolarse” a través de un sólido, estos se forman a base de acumulación de residuos orgánicos que se degradan por la acción del calor, el viento y la humedad y se mezclan con nitratos y fosfatos pulverizados presentes en el suelo. Todo esto junto forma un líquido negro o amarillo de aspecto denso y maloliente, su composición varía en grados de toxicidad. El área de estudio se encuentra en la comunidad de Coronel Tito Hernández (María Andrea), el objetivo de este estudio fue observar las anomalías que se presentan y poder determinar si existen lixiviados en esta área. El relleno sanitario presenta ciertas afectaciones ligadas a la falta de mantenimiento, las cuales pueden evidenciar la infiltración de lixiviados que si bien son los más imperceptibles y silenciosos. El equipo geofísico que se utilizo fue el SYSCAL JUNIOR / R1 PLUS de 2 canales, fabricado por la compañía IRIS, se optó por el arreglo dipolo-dipolo, debido a que este método posibilita la determinación de la profundidad de la roca base, análisis de litología y estratigrafía, ubicación de fallas y fracturas, detección de cavidades, etcétera. Para el procesado de datos se utilizó el software especializado Res2DInv y Prosys II para obtener mapas de distribución eléctrica del subsuelo y determinar la distribución de lixiviados en el subsuelo, que posiblemente puedan afectar el acuífero.

EG-30 CARTEL

## PROPUESTA DE ADQUISICIÓN GEOFÍSICA CON EL MÉTODO DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA EN LOS HUMEROS, PUEBLA

Fuentes Rubio Natalia Denise, Martínez González José Antonio, Cifuentes Nava Gerardo, Cárdenas Soto Martín, Escobedo Zenil David y Hernández Sandoval Kelly Pamela
*Universidad Nacional Autónoma de México*
nataliad.frb@gmail.com

Los Humeros es un campo geotérmico que se encuentra en el extremo oriente de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), entre los límites de los estados de

Puebla y Veracruz; se desarrolló dentro de una caldera volcánica cuya constitución geológica y tectónica favorecieron su desarrollo geotérmico (Cedillo, 2000). Desde el año de 1968, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha llevado a cabo múltiples estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos, con el fin de explorar y caracterizar el campo para su posterior explotación comercial a principios de los años 90's. Actualmente el campo cuenta con más de 40 pozos perforados y 7 unidades eléctricas instaladas. A lo largo de los años el campo se ha convertido en una zona de estudio y monitoreo constante, dentro del campo de la geofísica se han desarrollado diversos estudios, principalmente, del monitoreo sísmico del campo (Lermo et al., 2008; Antayhua et al., 2009).; Sin embargo, también se han realizado exploraciones implementando otros métodos de exploración como los métodos potenciales de gravimetría y magnetometría (Flores et al., 1978; González – Moran et al., 1982; Campos – Enriquez y Garduño – Monroy, 1987; Campos – Enríquez y Arredondo – Fragoso, 1991; Arzate et al., 2018). También se tiene estudios de métodos electromagnéticos (Velázquez – Juarez, 2019; Corbo – Camargo et al., 2020), y se han desarrollado diversos modelos conceptuales y matemáticos (Verma et al., 1990; Prol – Ledesma, 1998; Arellano et al., 2000; Arellano et al., 2003). Por sí sola, la Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) ha demostrado ser de gran utilidad para caracterizar estructuras geológicas y zonas de interés de explotación de recursos dentro de los campos geotérmicos alrededor del mundo (Shi et al., 1997; Kumar et al., 2011; Hermans et al., 2012; Nieto et al., 2019; Lévy et al., 2019). En el presente trabajo se presenta una propuesta de adquisición empleando el método de TRE, dentro del campo geotérmico tomando en consideración los trabajos antes mencionados, con el fin de resaltar estructuras geológicas de interés esperando obtener resultados similares a los presentados por Bolós et al., (2018) en el campo geotérmico de Cerritos Colorados.

Sesión regular

# FÍSICA ESPACIAL

Organizador:
Joel Castro

FE-1

## ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA ATMÓSFERA DE PLUTÓN MEDIANTE OCULTACIONES ESTELARES

Castro-Chacón Joel H.[1] y Reyes-Ruiz Mauricio[2]
[1]*CONACYT-Instituto de Astronomía UNAM, IA-UNAM*
[2]*Instituto de Astronomía, UNAM*
joelhcch@astro.unam.mx

Las ocultaciones estelares son una herramienta poderosa para la investigación de cuerpos menores del Sistema Solar. En particular, es posible medir con la mayor precisión posible, desde la Tierra, el tamaño y la posición de los objetos ocultantes. Y cuando dichos objetos poseen atmósfera es posible determinar los parámetros físicos, en particular los perfiles de presión y temperatura, una vez que se conoce de forma general su composición. Mediante las ocultaciones estelares se ha estado evaluando la evolución de la atmósfera en Plutón, y muchos aspectos de los modelos fueron corroborados por la nave New Horizons en su visita del 2015, mientras que otros parámetros físicos fueron complementados. En este trabajo se presentan los resultados del modelado atmosférico del planeta enano Plutón, obtenidos a partir de las curvas de luz de las ocultaciones estelares de agosto de 2018, que fueron adquiridas desde los telescopios de 2.1 m y 1.3 m de TAOS II, en el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir (OAN-SPM).

FE-2

## ESTUDIO DE CURVAS DE FASE PARA CORRELACIONAR FAMILIAS DE ASTEROIDES ANTIGUOS

Aguilera-Ramírez Andrea[1], Castro-Chacón Joel H.[2] y Pérez-León José Enrique[1]
[1]*Universidad Autónoma de Nuevo León*
[2]*CONACYT - Instituto de Astronomía, UNAM, Ensenada*
andrea.aguiram@gmail.com

Mediante la construcción de curvas de fase de asteroides tipo C, D y P, es posible correlacionar las propiedades superficiales de los asteroides troyanos de Júpiter con poblaciones de asteroides antiguos con valores bajos de albedo. Las curvas de fase permiten analizar el contraste entre las propiedades físicas y superficiales de los objetos estudiados. Por lo tanto, la correlación entre las curvas de fase de los asteroides puede contribuir a definir el origen de los objetos entre diversas familias. A través de esta comparación es que se determina la posibilidad de que tanto los troyanos de Júpiter como la población de asteroides antiguos hayan pertenecido a un mismo grupo de objetos, o incluso a una misma familia de asteroides, al inicio de su formación. El estudio de estos objetos resulta relevante puesto que son cuerpos pequeños más primitivos del Sistema Solar. En consecuencia, continuar obteniendo datos de asteroides antiguos permite comprender el origen y la naturaleza del material orgánico y volátil en el Sistema Solar temprano. Brindando información sobre los compuestos orgánicos presentes durante la evolución prebiótica de los asteroides y planetas terrestres, así como de algunas lunas de los planetas gigantes. Algunos troyanos serán objeto de estudio de la misión espacial LUCY de la NASA que será lanzada en 2026.

FE-3

## OCULTACIONES ESTELARES FORTUITAS EN LA DETECCIÓN DE TNOS

Tames-Vargas Esteban G.[1] y Castro-Chacón Joel H.[2]
[1]*Universidad Internacional de Valencia*
[2]*CONACYT - Instituto de Astronomía, UNAM, Ensenada*
estebantriplediamante@gmail.com

Las ocultaciones estelares, representan una de las técnicas de caracterización de objetos del sistema solar. Gracias a ellas, se puede obtener información valiosa sobre la presencia de atmósfera, anillos, satélites y rasgos importantes sobre su geometría. Usualmente se realiza el análisis de un objeto en una ocultación predicha, mediante varios telescopios situados a diferentes latitudes, lo que permite obtener una serie de curvas de independientes, que, al integrar la información, se puede trazar con gran precisión, la forma que permite mostrar el objeto en ese momento determinado, tomando en cuenta una serie de factores asociados que influyen significativamente. Esta técnica de análisis ha sido ampliamente utilizada desde hace bastante tiempo atrás, pero, actualmente se está implementando en la detección de cuerpos menores del sistema solar, principalmente apuntando hacia la región conocida como cinturón de Kuiper, donde se considera de gran importancia poder estudiar estos objetos, que no es posible observar por medios ópticos convencionales debido a su tamaño, y magnitud aparente al ser objetos sumamente opacos, que hace que sean prácticamente indetectables. Para llevar a cabo este tipo de detecciones, se requiere apuntar a una zona fija del espacio, con equipo altamente sofisticado y cámaras muy rápidas, que permitan muestrear a una alta cadencia, alrededor de 20 Hz, con lo cual se obtiene información sobre la difracción de la luz que se produce por la ocultación y con ello se pueden identificar elementos importantes sobre la morfología del objeto ocultante. Es claramente conocido que la tasa de eventos de ocultación que se presentan es reducida, pero, esto se puede compensar, observando de forma simultánea, muchas estrellas al mismo tiempo, de las cuales, se mide su flujo de luz y se pueden detectar las caídas que se presentan debido al paso del objeto y su sombra de ocultación en la línea de visión con La Tierra. Debido a que se trata de eventos no predecibles, se obtiene información en una sola cuerda de ocultación, con lo cual determinar aspectos importantes como la distancia, tamaño y forma, dependen mucho del rastro obtenido mediante la difracción de la luz, y no es posible determinar con seguridad sus características morfológicas, pero si, poder determinar mediante un análisis comparativo, las posibles formas que puede tener ese objeto mediante el análisis de las curvas de luz obtenidas y comparadas con las curvas de luz recreadas en simuladores para diferentes objetos. En este trabajo, presentamos el análisis de curvas de luz de ocultaciones estelares simuladas para inferir la influencia de la morfología del objeto ocultante en la determinación de los parámetros físicos del mismo objeto en combinación con los de la estrella ocultada.

FE-4

## PRIMERAS OBSERVACIONES DE LA CAMPAÑA NACIONAL DE MONITOREO DE ASTEROIDES

Alferes-Martinez Victoria P.[1], Pérez-León José E.[1] y Castro-Chacón Joel H.[2]
[1]*UANL*
[2]*CONACYT - Instituto de Astronomía, UNAM, Ensenada*
vp.alferesm@gmail.com

La Universidad Autónoma de Nuevo León a través de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas (UANL) ha desarrollado el Observatorio Astronómico Universitario (OAU), cuyo principal telescopio es Tlapiani, que está constituido de cuatro tubos de 50 cm cada uno. Esta configuración permite explotar una característica única, que es la capacidad de guiar con el mismo objeto de estudio. Esta infraestructura observacional estará dedicada prioritariamente a la caracterización de asteroides y objetos cercanos a la tierra (NEOs). Por este motivo el OAU representa una oportunidad única para quienes se encuentren dedicados al estudio de cuerpos menores del Sistema Solar. Por medio de una colaboración entre investigadores de la UANL y la UNAM se está desarrollando un ambicioso proyecto para el descubrimiento y seguimiento de asteroides para su posterior caracterización y clasificación. Aunque la infraestructura observacional está en su mayoría operativa aún se están llevando a cabo campañas de optimización, lo cual permitirá arrancar formalmente en un futuro cercano, con la “campaña nacional de monitoreo de asteroides”. En este trabajo se presentan las primeras observaciones de la campaña nacional de monitoreo de asteroides. Éstas se consideran como pruebas del desempeño de la infraestructura del OAU de la UANL , ubicado en el cerro del Picacho, N. L., y se obtuvieron en temporadas de observación durante la primavera y verano de este año.

FE-5

## SOFTWARE DE SIMULACIÓN ASISTIDA DE LA MORFOLOGÍA DE OBJETOS OCULTANTES A PARTIR DE UNA CURVA DE LUZ

Ruiz-Aguilar Keilyn[1], Tames-Vargas Diego[1] y Castro Chacón Joel H.[2]
[1]*Universidad Nacional de Costa Rica*
[2]*CONACYT - Instituto de Astronomía, UNAM, Ensenada*
keilynrrui@gmail.com

La observación de ocultaciones estelares en objetos sin atmósfera tiene como principal objetivo la medición de las propiedades físicas de los objetos ocultantes, en particular: posición, tamaño y morfología. La posición y el tamaño pueden ser determinadas gracias a la altísima precisión temporal de las cámaras con las que se observa la ocultación, sin embargo, la estimación de la morfología requiere la composición de múltiples curvas de luz del mismo evento, observadas en diferentes posiciones de la sombra proyectada. Para poder lograr eso, el objeto ocultante debe ser conocido a priori y hacer una predicción para determinar el lugar en la Tierra donde podrá observarse el fenómeno, a esto se le conoce como ocultación estelar predicha. Por otro lado, cuando se pretende descubrir objetos mediante ocultación estelar se desconoce la posición, tamaño y forma del objeto; en este caso, normalmente puede obtenerse una sola curva de luz. A esto le llamamos ocultación estelar fortuita, y el objetivo es detectar y clasificar los objetos ocultantes en cuanto a distancia y tamaño. Para poder hacer una clasificación adecuada, mediante una sola curva de luz, es indispensable tomar en cuenta la morfología del objeto ocultante. En este trabajo presentamos un software que asiste en la estimación morfológica de algún objeto ocultante sin atmósfera. Las entradas indispensables para que el código funcione son: la curva de luz observada, la magnitud de la estrella, el tipo espectral de la estrella, el ángulo desde la oposición, la frecuencia de muestreo, una estimación inicial de la distancia y tamaño, y el ruido estimado del sistema. El software funciona simulando ocultaciones estelares mediante el método de transformadas de Fourier por lo cual permite utilizar morfología aleatoria en el objeto ocultante.

Sesión regular

# GEODESIA

Organizadores:
Enrique Cabral
Bertha Márquez Azua

GEOD-1

## ANÁLISIS DE CALIDAD DE LAS OBSERVACIONES GPS Y SU IMPACTO EN EL POSICIONAMIENTO PRECISO. CASO DE ESTUDIO: REDES GEODÉSICAS GNSS DE LIBRE ACCESO EN MÉXICO

Hernández-Andrade Daniel[1], Romero-Andrade Rosendo[2], Trejo-Soto Manuel E.[2] y Ávila-Cruz Máximo[1]
[1]*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
[2]*Universidad Autónoma de Sinaloa*
daniel.hernandezan@alumno.buap.mx

El presente trabajo tiene por objeto de estudio el análisis de calidad de las observaciones GPS y su impacto al posicionamiento preciso, considerando al efecto multitrayectoria como el principal degradador de la precisión. En este sentido, se realizó la evaluación estadística-comparativa de 65 estaciones de operación continua de libre acceso en México de enero de 2010 a enero de 2020, realizando el análisis de calidad a través del software TEQC, considerando cuatro indicadores de calidad en seis variables: efecto multitrayectoria en la banda L1 y L2, relación señal-ruido en ambas bandas, saltos de ciclo por cada mil observaciones e integridad. El resultado de cada estación fue comparado respecto a normatividad internacional propuesta por el IGS para pertenecer a su red, con la finalidad de determinar la calidad y el grado de cumplimiento de cada estación. Así mismo, se ha seleccionado la estación de mayor y menor efecto multitrayectoria para evaluar el impacto al posicionamiento preciso, considerando software científico GAMIT/GLOBK y normatividad vigente en México, mediante la evaluación de exactitud posicional para el establecimiento y densificación del sistema geodésico nacional. Los resultados muestran respecto al análisis de calidad que las estaciones cumplen en promedio con 3.3 de las 6 variables evaluadas, donde: 6 estaciones cumplen con 5 de las 6 variables; 16 estaciones con 4; 35 con 3; 6 con 2 y 2 con una variable, mostrando mayor cantidad de efecto multitrayectoria en aquellas estaciones donde no se ha presentado cambio de antena, receptor o actualización de firmware. Finalmente, respecto al impacto al posicionamiento preciso, considerando a la estación INEG (menor efecto multitrayectoria) y MPR1 (mayor efecto multitrayectoria), no muestran degradación significativa en sesiones prolongadas con efecto de hasta 1 m, sin embargo, los valores de exactitud posicional horizontal y vertical muestran mejor desempeño en la estación con menor efecto multitrayectoria. En este sentido, las 65 estaciones son aptas para el establecimiento del sistema geodésico nacional, las cuales no muestran una relación directamente proporcional entre la exactitud posicional y los indicadores de calidad a excepción de INEG y TNMT.

GEOD-2

## RIESGO POR SUBSIDENCIA ASOCIADO A FALLAMIENTO Y SU VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA EN LA REGIÓN DEL BAJIO, GUANAJUATO BASADOS EN MAPAS DE VELOCIDADES Y SERIES DE TIEMPO INSAR 2014-2020

Villarnobo González Katia Michelle[1], Cabral Cano Enrique[2], Fernández Torres Enrique[2], Solano Rojas Darío[3] y Novelo Casanova David Alberto[2]
[1]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
km.villarnobo@ciencias.unam.mx

El Bajio es el corazón del corredor industrial de Guanajuato por lo que el crecimiento industrial y el crecimiento demográfico, han ocasionado una sobre explotación de los acuíferos, generando subsidencia del terreno. Las fallas someras asociadas en este proceso suelen ocasionar daños a estructuras civiles e infraestructura urbana generando importantes pérdidas económicas, por lo tanto, es necesario un monitoreo continuo y el conocimiento detallado de como es el proceso de subsidencia en esta zona. El uso de series de tiempo InSAR es un método óptimo para el análisis de la magnitud y la variabilidad espacial del proceso de hundimiento. Es por ello que este trabajo utiliza campos de velocidades obtenidos con técnicas InSAR para realizar una estimación del riesgo por subsidencia asociado a fallamiento y de la vulnerabilidad socioeconómica en Salamanca, Celaya e Irapuato durante el periodo 2014-2020 con escenas Sentinel-1. Los resultados preliminares muestran que aproximadamente el 50% del area urbana de Irapuato, el 59.48 % de la superficie de Salamanca y el 87.4% de la superficie de Celaya tiene afectaciones de subsidencia en algún grado, con las consecuentes afectaciones en la infraestructura de estas ciudades

GEOD-3

## IDENTIFICACIÓN DE LOCALIDADES CON SUBSIDENCIA DEL TERRENO DEBIDO A LA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN MÉXICO MEDIANTE INSAR-SBAS PARA EL PERÍODO COMPRENDIDO ENTRE 1 SEPTIEMBRE 2018 AL 31 OCTUBRE 2019

Fernandez-Torres Enrique Antonio[1], Cabral Cano Enrique[2], Solano-Rojas Darío[3], García Josué[3] y Salazar-Tlaczani Luis[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
enrique.30065@gmail.com

La subsidencia del terreno causada por la extracción extensiva de agua subterránea se ha convertido en un proceso que no se puede ignorar. Este proceso ha producido daños de todo nivel de severidad en infraestructura lo que deriva en perdidas económicas aún no conocidas. En esta investigación se caracterizó la subsidencia del terreno por extracción de agua subterránea en México mediante series de tiempo InSAR-SBAS con InSAR Scientific Computing Environment (ISCE) y Miami INsar Time-series (MintPy) implementados en la supercomputadora Miztli de la UNAM para el período comprendido entre 1 septiembre 2018 al 31 octubre 2019. En este análisis se detectaron la presencia de varias decenas de localidades urbanas con subsidencia del terreno que aún no se han reportado en la literatura científica. En este trabajo también se presentará la relación existente entre localidades afectadas por subsidencia en México y sus factores condicionantes (p.ej. litologi#a, pendiente, condiciones de los acui#feros, etc) así como la cuantificación de áreas y población expuesta.

GEOD-4

## EVALUACIÓN DE OBSERVACIONES GNSS DESDE RECEPTORES DE BAJO COSTO Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE POSICIONAMIENTO

Vázquez Ontiveros Jesús René, Vázquez Becerra G. Esteban y Gaxiola Camacho José Ramón
*Universidad Autónoma de Sinaloa*
jesusrene@uas.edu.mx

La aplicabilidad de la tecnología GNSS ha venido incrementando en los últimos años, debido principalmente a la alta precisión alcanzada en el posicionamiento tridimensional. Diferentes disciplinas como la geodesia, sismología, geodinámica, geofísica, física espacial, entre otras, han implementado las observaciones GNSS para sus estudios de interés. Sin embargo, los receptores GNSS tienen un alto costo en el mercado y esto desfavorece a la innovación de nuevas estrategias de análisis y procesamiento de observaciones GNSS, principalmente en las universidades públicas. Una alternativa que se ha vuelta popular, son los receptores GNSS de bajo costo, que se pueden adquirir desde 200 dólares. Por lo cual, el objetivo de este trabajo es evaluar y analizar las observaciones GNSS medidas de dos receptores de bajo costo: ZED-F9P y MOSAIC-X5. En este sentido, se llevaron a cabo mediciones de 24 horas sobre un monumento de concreto con los receptores de bajo costo, a una frecuencia de muestreo de 10 Hz a las constelaciones GPS, GLONASS, Galileo y Beidou. Se aplicó el software Anubis para el análisis de calidad de las observaciones GNSS, y para el post-procesamiento a través de la filosofía PPP (Posicionamiento Puntual Preciso) se utilizó el software académico RTKLIB (demo5_b34b). Los resultados del análisis de calidad demuestran un nivel bajo de multipath en las mediciones, en el orden de los 20 cm, y la relación señal-ruido mayor a los 36 dBHz. La integridad de las observaciones fue de 100 %. Por otro lado, las precisiones alcanzadas para las tres componentes (XYZ) estuvieron en el orden de los milímetros. En conclusión, los receptores GNSS de bajo costo representan una alternativa potencial para los receptores GNSS de orden geodésico, debido a las precisiones milimétricas alcanzadas por esta tecnología.

Sesión regular

# GEOHIDROLOGÍA

Organizador:

Janete Morán-Ramírez

GEOH-1

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA DE AGUAS TERMALES Y SULFUROSAS EN LA ZONA KÁRSTICA DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL, MÉXICO

Ramos-Leal José Alfredo[1], Morán-Ramírez Janete[2] y Verma Sanjeet K.[1]
[1]*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
[2]*Cátedra CONACYT - Instituto de Geofísica, UNAM*
jalfredo@ipicyt.edu.mx

El estudio de las fuentes termales tiene gran importancia debido a los procesos hidrogeoquímicos que representan en el proceso evolutivo de los sistemas hidrogeológicos. La zona de la Huasteca Potosina tiene una condición hidrogeológica muy especial de la Sierra Madre Oriental. Su principal acuífero están formado por calizas arrecifales de la Formación Abra, esta unidad geológica pueden ser tanto almacenamiento de agua o hidrocarburos. Por ello, representa la zona de descarga más importante de la Sierra Madre Oriental, y presenta numerosos manantiales. En esta región existen evidencias de presencia de hidrocarburos, donde se perforo el primer pozo petrolero en 1901 y luego se abandonó; sin embargo, recientemente se ha considerado reactivar este campo petrolero. En la Formación Abra, la presencia de hidrocarburos y su interacción con el agua producen cambios importantes en el agua química, además de su proceso evolutivo natural. Las manifestaciones de esta interacción representan algunos manantiales sulfurosos con agua termal. Hacia el noreste del área de estudio, Gary y Sharp en 2009, describieron el sistema térmico de Zacatón. Sugieren dos posibles orígenes del H2S. 1) Actividad volcánica y 2) Capas evaporíticas del Cretácico. En el presente trabajo, discutimos sobre la hidrogeoquímica típica fisicoquímica de la zona de manantiales termales. En Taninul, manantiales El Banito y Santiaguillo; el gas de sulfuro de hidrógeno produce un olor a ”huevo podrido” o ”agua con azufre” en el agua. Se identificaron tres tipos de flujo subterráneo, uno de tipo local (HCO3-Ca), otro de tipo intermedio HCO3-SO4-Ca -y uno más de tipo regional (SO4-Ca). El origen de las aguas sulfurosas con termalismo identificadas en los manantiales de Taninul, El Bañito y Santiaguillo. Puede estar relacionado con la evolución del agua subterránea que fluye por las formaciones El Abra y Guaxcama; sin embargo; Al este de la Cordillera El Abra, es posible que interactúe con los residuos de hidrocarburos ricos en H2S, CO2, Fe y materia orgánica (Torres AR, 2000). La fuente de azufre es un factor muy importante en el sistema y esto se puede explicar como parte de la evolución del agua subterránea que alcanza grandes profundidades, en la interacción agua roca agua disuelve formaciones evaporíticas ricas en yeso (Guaxcama), funcionando como una fuente importante de SO4. Estas aguas termales y sulfurosas también son indicativas de procesos de bacterias reductoras de azufre de los caudales profundos.

GEOH-2

## CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA Y GEOHIDROLÓGICA DE LA ZONA NOROESTE DEL ACUÍFERO VALLE DE JUÁREZ EN CHIHUAHUA

Esquivel Herrera Katya, Gómez Ávila Marianggy del Carmen, Solís Sergio Saul y Rascón Mendoza Ezequiel
*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*
katyanm@hotmail.com

El Bolsón del Hueco es un acuífero binacional del cual se abastecen tres ciudades. Su porción mexicana recibe el nombre de acuífero Valle de Juárez y coincide en la parte noroeste con la mancha urbana de Ciudad Juárez, Chihuahua. Sobre esta zona se han realizado estudios, utilizando diferentes metodologías y conjuntos de datos, con el objetivo de caracterizar y cuantificar los recursos hídricos para un mejor manejo. En el presente trabajo se utilizó una combinación de diferentes datos, específicamente: de registro de pozos, climatológicos, edafológicos, topográficos, hidrológicos, y de uso de suelo. Lo anterior, con el objetivo de generar modelos de balance hídrico de la región, analizar la distribución espacial y temporal de la recarga y el nivel piezométrico del acuífero, y elaborar secciones litológicas, para el periodo de 1975 a 2015. Como producto se obtuvieron: 40 modelos de balance hídrico superficial por medio del modelo SWAT; 40 mapas de recarga acumulada anual en la subcuenca; 36 mapas de recarga acumulada mensual para los 3 años con mayor precipitación; 9 mapas de isohipsas del nivel piezométrico del acuífero; el análisis de la variación del nivel piezométrico respecto al nivel original de 1975 para cada quinquenio; 17 secciones litológicas del área de estudio; y un modelo geológico conceptual de la subcuenca. Los modelos numéricos elaborados permiten reproducir interacciones complejas dentro del sistema, las cuales usualmente se simplifican en otras metodologías. Sin embargo, aunque el modelo logra considerar factores que previamente no habían sido integrados, cuenta con otras limitaciones asociadas a los datos disponibles y las características del modelo. En lo que respecta a la recarga al acuífero, se obtuvo un valor promedio de 7.37 hm³/año para el 16% de la subcuenca que se modeló. Este contrasta con el valor definido por CONAGUA (2015) de 125.9 hm³/año para toda la cuenca. Dentro de los mecanismos de recarga que fueron considerados destaca la recarga nula en la mayor parte de la subcuenca debido al uso de suelo urbano y el predominio de la recarga en el frente de montaña y las zonas agrícolas con irrigación. Debido a las características del modelo, no fue posible integrar todos los mecanismos de recarga conocidos, como la recarga inducida por pérdidas del sistema de distribución de agua potable. De manera adicional, se observó una correlación moderada entre la precipitación y la recarga. El desarrollo del cono de abatimiento sobre la mancha urbana se asocia al crecimiento y densificación de la población en las últimas décadas, lo cual implicó un aumento de la demanda de agua potable. Destaca que no se aprecia influencia del cauce del Río Bravo en las variaciones del nivel piezométrico. La elaboración del modelo geológico representó el trabajo más significativo dentro de este estudio. El modelo se integró con 26 capas, por lo que representa un aumento considerable de complejidad geológica respecto a modelos preexistente. Presenta además gran similitud con las facies descritas por Heywood y Yager en 2003, incluyendo la presencia de interdigitación y transición gradual entre ambientes sedimentarios.

GEOH-3

## FLUJOS AMBIENTALES DE BAJO CAUDAL (<10 M3/S) EN LA ZONA LIMÍTROFE DEL DELTA DEL RÍO COLORADO EN CONDICIONES DE SEQUÍA EN LA CUENCA

Valenzuela Sarabia Marco Romario, Ramírez Hernández Jorge, Rodríguez Burgeño Jesús Eliana y Molina Saldivar Hector Ivan
*Universidad Autónoma de Baja California*
romario.valenzuela@uabc.edu.mx

La descarga de flujos con fines ambientales en el canal principal del Río Colorado (RC) en la zona del Delta se inició con el flujo pulso del 2014, de acuerdo con el Acta 319 del Tratado Internacional de Agua de 1944. En esa ocasión se descargaron por la Presa Morelos (PM) 101.682X106 m3 (hm3) con un caudal máximo de 120 m3/s, inundando casi completamente el corredor ribereño y logrando conectar longitudinalmente 33.5 km desde la PM hasta el puente de la carretera a San Luis Río Colorado que se conoce como zona limítrofe (ZL) del RC porque es la frontera con los Estados Unidos. La extensión de la inundación en la ZL y la profundidad al nivel freático (NF) provocaron la pérdida por retención de aproximadamente 44.239 hm3 lo que disminuyó el volumen de flujo aguas abajo. De este evento se recomendaron descargas ambientales con caudales menores para evitar el desbordamiento a terrazas altas, ya que, dada la intensa sequía en la cuenca del RC, desde el 2000, es poco probable que se destinen volúmenes como los descargados durante el flujo pulso 2014 con fines ambientales. En el 2019, para realizar mantenimiento del canal Wellton-Mohawk (conduce agua de retorno agrícola de Estados Unidos) se desviaron sus aguas al cauce del RC fluyendo por toda la ZL con un caudal promedio de 7.6 m3/s, similar a las descargas ambientales recomendadas. El objetivo del presente trabajo fue estudiar esta descarga operativa al cauce del RC como si fuera una descarga de flujos ambientales de bajo caudal para evaluar la respuesta del acuífero cuando el flujo se mantiene en el cauce sin inundar terrazas medias y altas. Se estimaron las pérdidas por tramos a lo largo del RC aforando el caudal en cuatro puntos a lo largo de la ZL, encontrando que mayor volumen retenido se presentó en el tramo del cauce seco. El agua llegó al puente de SLRC habiéndose descargado 36 hm3 después de 64 días de iniciada la descarga. La velocidad de avance del frente del agua fue de 3 km/día en el tramo con agua perenne y de hasta 0.11 km/día en el tramo con el cauce seco. Se midió el nivel freático en 13 piezómetros mostrando un comportamiento similar al del flujo pulso 2014, con un aumento de NF marginal, de hasta 0.50 m en el sector norte con agua perenne, mientras que, el sector seco del cauce, el incremento del NF fue hasta 6.15 m. Esto se atribuye a la desconexión del NF con el lecho del río y a la alta permeabilidad de los sedimentos arenosos que lo conforman. Se demuestra que flujos de bajo caudal (<10 m3/s) descargados desde la PM reducirían significativamente los volúmenes retenidos, inundando únicamente el cauce del RC, haciendo más viable la descarga de flujos ambientales. Lo que mejoraría la conservación del corredor ribereño al generar la conexión longitudinal de agua, de nutrientes y de sedimentos.

GEOH-4

## EVOLUCIÓN Y MODELACIÓN HIDROGEOQUIMICA EN UN ACUÍFERO DEL ALTIPLANO MEXICANO

Morán-Ramírez Janete[1], Ramos-Leal José Alfredo[2], Santacruz De León Germán[3], Fuentes Rivas Rosa María[4] y Fonseca Montes de Oca Reyna María Guadalupe[4]
[1]*CONACYT - Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*IPICYT*
[3]*COLSAN*
[4]*UAEMEX*
janete.moran.ramirez@gmail.com

El área de estudio se ubica en el norte de México, dentro de la región hidrológica denominada ”El Salado”. Esta zona se caracteriza por tener baja precipitacion y la alta evaporación. En el acuífero, el principal proceso hidrogeoquímico es la interacción con rocas volcánicas ricas en feldespatos de sodio, sulfatos de calcio y puede estar asociado con la disolución de rocas evaporíticas (Yeso), encontrando familias de agua principalmente bicarbonatadas sódicas, el segundo proceso de importancia es el intercambio iónico con arcillas de sodio. Los diagramas hidrogeoquímicos indican que el agua subterránea sigue tres trayectorias evolutivas principales, la primera circulando en materiales carbonatados; otro involucra la alteración de los silicatos, y el tercer camino evolutivo muestra los procesos de alteración de los silicatos, intercambio iónico y evaporación. El agua subterránea del acuífero muestra una saturación de minerales como dolomita, calcita, calcedonia y magnetita que es consistente con la evolución del agua subterránea. La infiltración de agua enriquecida con CO2 que reacciona con albita y el feldespato K, liberando

sílice, Na+, K+, Mg2+ y HCO3- y la formación de arcillas. El modelado inverso indica la formación de calcita, hematita, alteración de magnetita y disolución de yeso.

GEOH-5

## CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA EN EL NORESTE DEL ACUÍFERO LAGUNA SECA, GUANAJUATO

Piña González Viridiana[1], Li Yanmei[1], Miranda Avilés Raúl[1], Knappett Peter[2], Hernández J. Horacio[1] y González Marin Ana Gabriela[1]
[1]*Universidad de Guanajuato*
[2]*Universidad de Texas A&M*
v.pinagonzalez@ugto.mx

El acuífero Laguna Seca se localiza en la porción suroriental de la provincia fisiográfica denominada Mesa Central, y geológicamente se caracteriza por rocas con edades desde el Cretácico superior definidas por areniscas, lutitas y sedimentos carbonatados; rocas volcánicas del Oligoceno de composición riolítica en mayor proporción, y de composición basáltica en menor proporción. Sedimentos clásticos, representativos del Plioceno-Pleistoceno, entre los que incluyen conglomerados, areniscas y limonitas producto de la desintegración de rocas preexistentes (Alanis-Ruiz, 2002; Aranda-Gómez et al., 1989; Nieto-Samaniego et al., 1996; Ortega-Guerrero, 2009; SGM, 1997). En este acuífero el principal uso del agua subterránea es destinado al sector agrícola y de abastecimiento público. En este acuífero, se ha reportado un abatimiento de -1.3 metros anuales durante un periodo de 18 años (CEAG, 2018). Para conocer los procesos de interacción agua-roca, los cuales afectan la calidad del agua, se recolectaron 15 muestras de agua proveniente de pozo y 5 muestras de rocas representativas en la zona de estudio. Se caracterizó la mineralogía y se cuantificó la concentración de arsénico en el agua subterránea y en diferentes unidades geológicas representativas en el noreste del acuífero Laguna seca. Los análisis del agua se midieron utilizando la técnica Cromatografía de Iones y Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), mientras que los análisis de las muestras de roca se realizaron con la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX) en el laboratorio de Investigación y Caracterización de Minerales y Materiales (LICAMM) de la Universidad de Guanajuato. Los resultados de la química del agua permiten definir el origen como una mezcla de agua proveniente de diferentes profundidades del acuífero. El promedio de concentración de arsénico en agua fue de 79.83 $\mu$g/L, mientras que en roca fue de 6.12 mg/Kg, este valor supera el valor promedio establecido para la Corteza Continental (Rudnick y Gao, 2003), los valores más altos fueron registrados en rocas de composición riolítica. Los resultados de este estudio permiten explicar los procesos de interacción del sistema agua-roca en la zona de estudio. De igual manera, los resultados de este estudio contribuyen al conocimiento de la calidad de agua subterránea del estado de Guanajuato y sirve como base para otros acuíferos con altas concentraciones de arsénico.

GEOH-6

## LA RELEVANCIA DE LOS MODELOS HIDROGEOLÓGICOS CONCEPTUALES Y SUS IMPLICACIONES EN LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA: CASO DE ESTUDIO, ACUÍFERO SILAO-ROMITA, GTO

Ibarra Guadalupe, Miranda Raúl, Puy-Alquiza María Jesús, Ángeles Edgar, Li Yanmei y Kshirsagar Pooja Vinod
*Universidad de Guanajuato*
g.ibarraolivares@ugto.mx

Las aguas subterráneas son una fuente crítica de agua potable para la población mundial, además de suplir necesidades de irrigación en la agricultura entre otros usos. El desarrollo de los estudios hidrogeológicos implica la elaboración o construcción de modelos hidrogeológicos conceptuales, que permitan visualizar y entender de forma sencilla los elementos y características reales de un sistema hidrogeológico, en donde se identifiquen las características litológicas, geométricas de secuencias estratigráficas, condiciones de recarga, condiciones de descarga, , direcciones de flujo del agua subterránea, gradientes hidráulicos, transmisividad de la roca, coeficiente de almacenamiento y capacidad específica, entre otras. Una deficiente interpretación del modelo hidrogeológico, generará siempre incertidumbre en los resultados y por consiguiente errores en la toma de decisiones, lo cual impacta negativamente en la población. En el presente trabajo, se estudia y actualiza el modelo conceptual del Acuífero Silao-Romita, el cual se localiza en la parte centro del estado de Guanajuato, e incluye principalmente a los municipios de Silao y Romita. El valle presenta una forma plana y está limitado por la Sierra de Guanajuato al noreste y este y por las sierras de Pénjamo y El Veinte al sur y suroeste. Fisiográficamente el acuífero se ubica dentro del Eje Neovolcánico, en la subprovincia denominada como Zonas de Fosas Tectónicas y Vulcanismo Reciente. En ella predominan rocas riolíticas, dacitas, andesitas y traquitas, generalmente cubiertas por basaltos, esto en las montañas; pero los valles han sido rellenados por materiales fluviales, lacustres y cenizas de volcanes recientes. Tomando como base estudios previos, que indican la posible conexión hidráulica entre dos acuíferos (La Muralla y Silao-Romita), y que estos se manejan bajo diferentes políticas de extracción, se investiga a través de un nuevo modelo conceptual, esta posible conexión hidráulica, ya que se determinó que existen bloques limitados por fallas, que se correlacionan con zonas de alta productividad hídrica, es decir, altos caudales (35 a 65 lps), lo que implica posibles flujos ascendentes a través de estos lineamientos. También se determinó, que gran parte del volumen de agua infiltrado circula a través de las fallas y fracturas hacia el sur del acuífero. En general se infiere una comunicación hidráulica entre ambos acuíferos, lo cual será corroborado con mediciones piezométricas, pruebas de bombeo y un modelo hidrogeoquímico. Palabras clave: acuífero, modelo hidrogeológico conceptual, conexión hidráulica.

GEOH-7

## ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN

Hernández Hernández Mario Alberto[1], Jiménez Morales Julissa[2] y Sánchez Quispe Sonia Tatiana[2]
[1]*Cátedra CONACYT - Instituto de Geofisica, UNAM*
[2]*Facultad de Ingeniería Civil, UMSNH*
malbher@igeofisica.unam.mx

La población de Morelia (Michoacán), con más de 800 mil habitantes y su constante crecimiento requieren grandes volúmenes de agua, presentando actualmente problemas con el abastecimiento del recurso hídrico. La extracción y explotación de las aguas subterráneas y superficiales han mostrado un déficit del gasto y ha afectado la disponibilidad del agua para esta zona. De continuar con esta tendencia, se podría producir un desequilibrio en la renovabilidad del agua en las fuentes de abastecimiento y disminuir de manera crítica en un corto plazo. El estudio se diseñó para evaluar las condiciones en las que se encuentran las principales fuentes de abastecimiento, mediante su reconocimiento fisicoquímico e isotópico, las cuales representan un conjunto de herramientas útiles para relacionar la explotación de los recursos hídricos con el ciclo natural del agua y su renovabilidad. Al estudiar la abundancia relativa de isótopos estables y parámetros fisicoquímicos del agua de lluvia y fuentes subterráneas, superficiales y manantiales, se pueden analizar los procesos de recarga, reconocimiento de las fuentes de abastecimiento y la relación con la disponibilidad a la que se encuentra el recurso que es extraído a través de los pozos de la zona de estudio. La ciudad de Morelia no cuenta con estudios suficientes de parámetros fisicoquímicos ni isotópicos, por lo que no se conoce el comportamiento de los cuerpos de agua y es por ello que la problemática a la que está expuesta no se haya solucionado aún ni ha aterrizado acciones encaminadas a su conservación. Para realizar el análisis planteado, se llevaron a cabo dos muestreos, uno en 2018 para la colecta de agua de lluvia, con más de 70 muestras de agua y otro muestreo en febrero de 2021, de las fuentes de abastecimiento de agua potable (operados por el Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, OOAPAS, de Morelia), de donde se recolectaron 76 muestras de agua de pozos, manantiales y corrientes superficiales. Se recopilaron datos climatológicos de precipitación y temperatura, junto con una recolección de datos hidrogeológicos e isotópicos, útiles para el desarrollo de esta investigación. La relación isotópica entre las aguas meteóricas y las aguas subterráneas permite deducir su evolución desde su entrada como recarga y su movimiento a través del sistema subterráneo. Se compararon los datos isotópicos obtenidos de 2018 con la base de datos Water Isotopes de sitios cercanos a la zona de estudio y se determinó una Línea Meteórica Local (LML) provisional para la Ciudad de Morelia. Actualmente no se cuenta con los resultados isotópicos de las aguas de fuentes de abastecimiento de la zona (pozos, manantiales, ríos), pero sí de sus parámetros fisicoquímicos, cuyo análisis a través de gráficos bivariados y su distribución espacial en la zona de estudio, dan una idea de la dinámica del flujo subterráneo y su relación con su explotación, observándose un comportamiento similar entre algunos de los parámetros medidos en campo para las distintas fuentes de agua. Realizar este tipo de estudios es muy importante y necesario para logra un mejor aprovechamiento del recurso hídrico.

GEOH-8

## ESTABLECIMIENTO DE UN MODELO REGIONAL DE FLUJO BAJO ESCENARIOS DE RECARGA

Pacheco Castro Roger, Salles Paulo y Canul-Macario Cesar
*Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros, Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera*
rpachecoc@iingen.unam.mx

Los esfuerzos para el modelado numérico de flujo en la Península de Yucatán – así como en varias partes del mundo – se enfrentan a diversas complejidades como: (1) la selección de un modelo conceptual por su naturaleza kárstica y (2) la dificultad en establecer las condiciones de frontera debido a la ausencia de fronteras físicas en la parte continental, así como a la estimación de la recarga. Éstas, representan muchas veces la mayor incertidumbre en comparación con la estimación de parámetros hidrogeológicos. Particularmente, la selección de fronteras hidráulicas tiene una incertidumbre elevada por la falta de datos para el establecimiento de un mapa potenciométrico de alta precisión. Estudios previos a pequeña escala han realizado análisis acerca de la incertidumbre en el modelo conceptual, y los resultados concluyen que un modelo a dos capas podría ser la mejor opción. El presente estudio tiene el objetivo de generar un modelo numérico regional de flujo que pueda ser usado para la realización de otros trabajos de modelación a menor escala, además de analizar la incertidumbre en la metodología usada para calcular la recarga del acuífero. Esto se hará mediante la generación modelos de flujo variando la metodología para calcular la recarga en cada uno. Las otras fronteras se establecen de la siguiente manera: (1) al sur, fronteras de no flujo usando un análisis de cuencas superficiales, (2) la frontera con el mar se establece como una

frontera de potencial constante, (3) la frontera inferior se realiza mediante un proceso iterativo usando el principio de Gyben-Herzberg. De los modelos resultantes, se selecciona el mejor según los resultados de la calibración y usando criterios de información para asegurar su parsimonia. El resultado de este trabajo es el primer paso al establecimiento de un modelo numérico más sofisticado para la Península de Yucatán, incorporando nuevas tecnologías y capacidades que nos ayuden a realizar estos trabajos de manera más eficiente. Por otro lado, ofrece un puente para auditar y mejorar esta implementación con nuevos forzamientos y complejidades propias del acuífero cárstico de la Península de Yucatán. Este modelo numérico puede fungir en un futuro como una herramienta valiosa para la gestión del agua subterránea a escalas regionales y locales, considerando las regiones hidrológicas administrativas establecidas

GEOH-9

## VALIDACIÓN DE LAS ANOMALÍAS DEL ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO DERIVADAS DE LA MISIÓN GRACE Y SU APLICACIÓN PARA EL MONITOREO DE LAS SEQUÍAS HIDROGEOLÓGICAS EN UN ACUÍFERO DEL NORESTE DE MÉXICO

Arciniega Esparza Saul, Hernández-Espriú Antonio,
Paz-Pérez Alberto y Salinas-Calleros Gabriel
*Facultad de Ingeniería, UNAM*
zaul.ae@gmail.com

El agua subterránea es la principal fuente en zonas áridas y semiáridas en donde el agua superficial es escasa. Por ello, el monitoreo y la evaluación de la cantidad y calidad del agua subterránea resulta primordial para gestionar el desarrollo de actividades humanas y la conservación del ecosistema. Se espera que, en los próximos años el estrés de las fuentes de agua subterránea incremente en distintas regiones del mundo, debido principalmente al aumento de las demandas de agua y a la presencia de sequías severas. Por otro lado, el manejo de los recursos hídricos subterráneos resulta particularmente complejo en regiones como México, en donde la información de variables hidrogeológicas es limitada. En este estudio se utilizaron los datos de las anomalías del almacenamiento subterráneo obtenidas de la misión Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) y del producto Global Data and Assimilation System (GLDAS) de la NASA para la evaluación de la magnitud y duración de las sequías hidrogeológicas en el acuífero transfronterizo Allende – Piedras Negras (APN), en el noreste de Coahuila. Las anomalías del almacenamiento subterráneo fueron validadas con el promedio de la profundidad a los niveles de agua subterránea de los pozos dentro del acuífero, en donde los resultados indican que las anomalías de almacenamiento derivadas de modelos globales presentan una buena correlación (>0.7) con respecto a los niveles en pozos. El análisis del índice estandarizado de precipitación sugiere que en las últimas dos décadas se han presentado 5 periodos de sequía meteorológica en el área que abarca los límites superficiales del acuífero, las cuales están asociadas con decrementos importantes del almacenamiento de agua subterránea, por lo que el acuífero es sensible a las variaciones climatológicas. Por otro lado, la sequía extraordinaria del 2011 generó anomalías negativas en el almacenamiento subterráneo que se extendieron hasta dos años después del inicio del siguiente periodo húmedo. Así mismo, derivado de la sequía del 2011 se aprecia que el almacenamiento en el acuífero se ha mantenido por debajo de la media histórica, por lo que el acuífero continúa en recuperación. Los resultados obtenidos sugieren que los datos derivados de GRACE logran capturar las variaciones del almacenamiento de agua subterránea en el acuífero APN, por lo que representan una fuente de información muy importante para el monitoreo indirecto de los cambios en los niveles de agua subterránea, principalmente durante eventos hidrometeorológicos extremos.

GEOH-10

## CÁLCULO DE LA RECARGA EN ENTORNO URBANO AL SISTEMA ACUÍFERO DE LA PARTE SUR DE LA CUENCA DE MÉXICO (SAPSURCM)

Ávila Carrasco José Roberto[1], Herrera Zamarrón Graciela[2], Hernández Hernández Mario Alberto[2], Sánchez Cedeño Carlos Daniel[3], Arévalo Robles Carlos Daniel[3], Dorantes Monobe Gustavo[4] y Sereno Gerónimo[4]
[1]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Facultad de Ingeniería Civil, UMSNH*
[4]*Universidad Nacional Autónoma de México*
robertoavila@igeofisica.unam.mx

El Sistema Acuífero de la Parte Sur de la Cuenca de México (SAPSurCM), comprende tres acuíferos administrativos: Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Texcoco, y Chalco-Amecameca. Se encuentra en elevaciones de 2240 a 5200 m.s.n.m., con un área aproximada de 4080 km2. Hoy en día en el SAPSurCM el desarrollo urbano ha provocado problemas ambientales, entre ellos, la sobreexplotación del sistema acuífero y la reducción de las zonas de recarga, al sur y sur poniente de la Ciudad de México y las áreas externas de abastecimiento en el Estado de México. La estimación de la recarga a los acuíferos forma una parte básica de cualquier estudio de aguas subterráneas, pero existen pocas metodologías que incluyan los principales factores que contemplan sus componentes. En este estudio se aplica una metodología de estimación de recarga que incluye técnicas de sensores remotos, sistemas de información geográfica y el proceso de análisis jerárquico (AHP, en inglés). La metodología propuesta consiste principalmente en la recolección, procesamiento y análisis de datos geográficos, por medio del uso de software SIG. Se obtuvieron datos de alineamientos geológicos, red de drenaje, litología, uso de suelo, topografía, y precipitación. A estos mapas se asignaron pesos (del 1-5) de acuerdo con el grado en que favorece la infiltración. Con el AHP se definió un valor de importancia ponderado para cada capa, mismo que se usa para definir zonas de Potencial de Aguas Subterráneas (PAS), usando sobreposición de capas con software SIG. Por último, se usó una ecuación de balance de aguas superficial para encontrar los volúmenes de infiltración en cada zona de PAS. Los cálculos se realizaron para el periodo que va de 1980-2009, considerando áreas promedio de crecimiento urbano y no urbano. La información de uso de suelo y de alineamientos geológicos fue obtenida a partir del procesamiento de imágenes satelitales. Los resultandos indican una recarga en promedio de 30 m³/s para toda el SAPSurCM. Las áreas densamente urbanizadas corresponden a los PAS de pobre y muy pobre (35.6% del área total) sólo aportan 4.13 m³/s de recarga. Mientras que la PAS moderado con áreas no urbanas y urbanas de baja densidad (41% del área total), y no urbanas o regiones serranas de PAS bueno y muy bueno (23% de área total), aportaron una recarga promedio de 12.78 y 13.4 m³/s respectivamente.

GEOH-11

## IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES DE RECARGA VERTICAL EN LA CUENCA DE MÉXICO, MEDIANTE UN BALANCE HÍDRICO DEL SUELO CON DATOS DE PERCEPCIÓN REMOTA

González Ortigoza Sergio, Hernández Espriú Antonio y Arciniega Esparza Saul
*Universidad Nacional Autónoma de México*
ortigoza_86@hotmail.com

La recarga de aguas subterráneas es uno de los componentes del balance hídrico más difíciles de estimar, ya que es imposible de medir directamente y debe inferirse indirectamente. La cuenca del valle de México (CVM) una de las regiones más pobladas del país, por lo que las extracciones de agua subterránea para cubrir las demandas han generado un gran estrés hídrico, mientras que la falta de información hidroclimatológica limita la evaluación adecuada de los componentes del balance hídrico. En este estudio se simuló el balance hídrico del suelo a una escala de tiempo diría en el periodo del 2000 al 2020 con el modelo Soil Water Balance (SWB) del Servicio Geológico de los EE. UU (USGS), el cual es un modelo hidrológico distribuido para determinar la recarga del agua subterránea y otros componentes del balance hídrico. Como datos de entrada al modelo se utilizaron los datos de lluvia del producto Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) y la temperatura de Daymet generada por la NASA para Norteamérica. Los datos de precipitación de CHIRPS y de temperatura de Daymet fueron corregidos por sesgo a partir de datos de estaciones climatológicas, por lo que se simularon cuatro escenarios de recarga, 1) utilizando los datos de estaciones (precipitación y temperatura), 2) los datos de CHIRPS de precipitación y temperatura de estaciones, 3) los datos corregidos de CHIRPS y temperatura de estaciones y 4) los datos de CHIRPS de precipitación con datos de temperatura de Daymet. Los resultados de los cuatro escenarios permitió identificar las zonas de recarga de aguas subterráneas de la CVM, que se relaciona con los altos topográficos circundantes, que corresponde a la sierra de las Cruces, y sierra de Chichinautzin y la sierra Nevada, en ese orden de importancia. Para el escenario 1 se estimó que la recarga en la sierra de las Cruces varia de 220 a 469 mm/año, para la sierra de Chichinautzin varia de 170 a 375 mm/año y para la sierra Nevada varia de 43 a 231 mm/año. Para el escenario dos se presentan valores de recarga para la sierra de las Cruces en el rango de 255 a 472 mm/año, para la sierra de Chichinautzin de 208 a 399 mm/año y para la sierra Nevada de 194 a 345 mm/año. Para el escenario 3 se presentan valores para la sierra de las Cruces de 276 a 469 mm/año, para la sierra de Chichinautzin va de 176 a 318 mm/año y para la sierra Nevada va de 71 a 176 mm/año. Por último, para el escenario 4 se presentaron valores de recarga para la sierra de las Cruces de 168 a 345 mm/año, para la sierra de Chichinautzin va de 118 a 274 mm/año y para la sierra Nevada va de 133 a 245 mm/año. Estos valores concuerdan con estimaciones previas en las que se reporta valores superiores a los 300 mm/año para las zonas montañosas de la CVM.

GEOH-12

## EVALUACIÓN DE PATRONES DE COMPORTAMIENTO ISOTÓPICO DE AGUA SUBTERRÁNEA APLICANDO GEOESTADÍSTICA

Cortés Silva Alejandra[1], Sustaita González Itzel del Carmen[2], Arenas Fragoso Miztli Daniel[3] y Hernández Hernández Mario Alberto[4]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*
[3]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[4]*Cátedra CONACYT - Instituto de Geofísica, UNAM*
cortesilvaa@igeofisica.unam.mx

Se evalúa la variabilidad y comportamiento de los isótopos de Oxigeno-18 y Deuterio en agua subterránea en el Cinturón Volcánico Transmexicano, CVTM, cuya finalidad es dar a conocer la distribución espacial isotópica, acotando de manera inicial 900 datos de la Cuenca de México, que forma parte de uno de los 13 episodios volcánicos de mayor importancia del CVTM y concentra la mayor población del país que demanda agua subterránea para sus distintos usos. Se recopilaron datos isotópicos provenientes de estudios realizados entre 1981 y 2008. Se aplicaron herramientas geoestadísticas para la generación de un mallado de datos, utilizando el método de Kriging ordinario para su interpolación, a través de un modelo de tipo esférico. Los resultados son congruentes con los datos isotópicos de tipo continental de la base de datos recopilado por la Universidad de Utah (waterisotopes.org); la combinación de ambas informaciones contribuye al conocimiento del sistema acuífero, así como a la identificación de zonas de recarga y flujo subterráneo en la cuenca. Palabras clave: Isotopos, Agua subterránea, Cinturón Volcánico Transmexicano, distribución espacial, geoestadística.

GEOH-13

## GEOLOCALIZACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A LA MIGRACIÓN DE AGUAS SULFUROSAS EN EL ACUÍFERO SUPERIOR DEL VALLE DE PUEBLA

Espinoza Juárez Tania Karen[1], Muñoz Máximo Ignacio[1] y Castillo Román José[2]
[1]*Área de Geociencias Aplicadas, Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento, BUAP*
[2]*Facultad de Ingeniería BUAP*
tania.juarez06@gmail.com

Durante las últimas tres décadas, el continuo abatimiento del acuífero superior del Valle de Puebla (ASVP), principal abastecedor de agua de buena calidad, ha favorecido el ascenso de aguas sulfurosas de aparente origen profundo (Oliman, 2007; Márquez et al., 2006; Jiménez, 2005). Lo cual ha colocado a la región como una zona potencialmente vulnerable a sufrir fenómenos de invasión de agua sulfurosa, que provocarían la perdida parcial o total del ASVP. Haciendo uso de los datos de pozos y el análisis de distintas capas temáticas tratadas con software GIS, se han aplicado de manera conjunta el método multicriterio y una matriz de pesos ponderados para identificar zonas potencialmente vulnerables a estos fenómenos de migración de aguas sulfurosas. La zonificación ha considerado la generación de escenarios (3) bajo distintas políticas de manejo del sistema Acuífero del Valle de Puebla, así como la distribución de estructuras de carácter regional (e. g., fallas) identificadas a partir de estudios de campo y el tratamiento de datos aeromagnéticos. También se ha considerado la presencia de unidades hidrológicas de respuesta (HRUs) que se asocian con las zonas de recarga efectiva. Esta información es crucial para identificar y prever futuros planes de manejo, para generar programas estratégicos y acciones efectivas que favorezcan la aplicación de políticas públicas que busquen restituir el equilibrio de cuenca, que permita mitigar y disminuir las posibilidades de la migración de aguas sulfurosas al ASVP.

GEOH-14

## ANÁLISIS AEROMAGNÉTICO DE LA SUBCUENCA DEL NEXAPA PARA IDENTIFICAR POSIBLES CANALES DE ASCENSOS DE AGUAS SULFUROSAS

Soto Ramírez Daniel[1], Muñoz Máximo Ignacio[1] y Soriano Garibo Isaac Raúl[2]
[1]*Área de Geociencias Aplicadas, Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento, BUAP*
[2]*Facultad de Ingeniería, BUAP*
roldan1903@gmail.com

La subcuenca del Nexapa localizada en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, tiene como afluentes a los ríos Atotonilco y Atila, siendo el río Nexapa, de régimen permanente, el afluente más importante en la región, y que es alimentado en su porción alta por los deshielos del volcán Popocatépetl. Esta subcuenca tiene como frontera al municipio de Nealtican, donde comparte sus límites con la subcuenca del Alto Atoyac, siendo el municipio de Nealtican el principal proveedor de agua de buena calidad para el consumo humano para la zona metropolitana de Puebla. De acuerdo con Jiménez Suarez (2005), se ha reportado la migración e invasión de aguas sulfurosas en la subcuenca del Alto Atoyac. Oliman (2008) identifica 9 familias de aguas a partir del análisis de isotopos estables, y establece la inmensa necesidad de conocer a detalle la geología de la región, haciendo énfasis en que puede existir una interacción geoquímica entre las aguas profundas y plumas magmáticas asociadas al volcán Popocatépetl, que ascenderían por sistemas de fallas geológicas, generando una zona de enriquecimiento en sulfuros dentro del acuífero profundo y medio en toda la región. El cambio de uso de suelo en el área del acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros, y el poco conocimiento existente de las características geomorfológicas de la subcuenca del Nexapa son un problema que puede favorecer en la migración de aguas sulfurosas hacia zonas del acuífero superior, lo que generaría una contaminación por parte de aguas de origen geotermal en ascenso. En esta investigación a partir del análisis de datos aeromagneticos y el análisis de imagenes LANDSAT se ha buscado identificar potenciales zonas de migración de aguas sulfurosas profundas y la evolución del cambio del uso del suelo, en la subcuenca del Nexapa, en el estado de Puebla.

GEOH-15

## PROPUESTA DE MANEJO INTEGRAL DEL SISTEMA ACUÍFERO ALTO ATOYAC Y VALLE DE PUEBLA, A PARTIR DE LA SIMULACIÓN DE 3 ESCENARIOS PREDICTIVOS

Muñoz Máximo Ignacio[1], Rodríguez-Espinosa Pedro F.[2] y Solís-Gómez Cesar[3]
[1]*Área de Geociencias Aplicadas, Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento, BUAP*
[2]*Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, IPN*
[3]*Ingeniería de Innovación Integral S.A de C. V.*
imunozcp@gmail.com

En los últimos 30 años el sistema acuífero Alto Atoyac, Valle de Puebla ha sufrido un continuo abatimiento, asociado por la creciente demanda en la extracción del Acuífero Superior (proveedor de agua de buena calidad), asociado al cambio del uso del suelo que ha sufrido la región debido al establecimiento de polos de desarrollo económico, que han generado el cambio del uso de suelo de agrícola-forestal a uso urbano industrial. Ello no solo ha mermado las zonas de recarga efectiva, sino que en algunos casos las ha sellado por completo, culminando en que todas las acciones e implementación de programas para la recuperación del sistema acuífero no tengan éxito, finalmente culminando en la generación de conos de abatimiento cada vez más acelerados, que no solo están favoreciendo la migración de aguas sulfurosas profundas, sino además han roto el equilibrio de cuenca en la región. Si bien la reciente formación súbita del socavón de Santa María Zacatepec, Municipio de Juan C. Bonilla, Puebla México, se trata de la conjunción de características de susceptibilidad erosiva en el subsuelo de la zona agrícola, la secuencia de un estiaje prolongado, lluvias atípicas excepcionales y el intenso aprovechamiento del agua subterránea en su periferia en los últimos 15 años, acentuado en los últimos tres; puede tratarse de un evento local, tiene altas posibilidades de replicarse en las zonas de coincidencia de los factores antes mencionados; bien vale la pena hacer una revisión del actual estado del arte del sistema acuífero Alto Atoyac- Valle de Puebla de forma integral, en virtud de que en muchos de los trabajos técnicos y publicaciones la geología estructural, y general la geología del sistema acuífero, es prácticamente simplificada y discretizada durante la modelación o el cálculo de los balances hídricos. En esta investigación, se presenta una propuesta alternativa al manejo del sistema acuífero Alto Atoyac-Valle de Puebla, considerando a mayor detalle la existencia de estructuras geológicas dispuestas geoespacialmente en la región (inferidas por el análisis de datos aeromagnéticos), el cálculo de zonas de recarga efectiva (HRUs), el cambio del uso del suelo de los últimos 30 años, la evolución de los niveles estáticos (registrados de los censos de pozos), así como de la implementación del concepto de Unidades de Gestión Hidrológica Ambiental (UGAHI), el cual no solo busca favorecer el desarrollo de una política pública (al dotar a los tomadores de decisiones con información técnico científica de vanguardia) sino que además culmine en la generación de programas y la implementación de acciones que favorezcan la recuperación del equilibrio de cuenca, buscando el manejo sustentable y sostenible del sistema acuífero.

GEOH-16

## ESTIMACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA RECARGA POTENCIAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO GRIJALVA

Díaz Palacios Sofía Guadalupe, Simuta Champo Roel, Roblero Hidalgo Rodrigo, Mendoza Cazarez Edgar Yuri, Alavez Vargas Mayrén y Ramírez Villa Roberto
*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA*
sofia.diaz@posgrado.imta.edu.mx

La variabilidad espacial y temporal depende de varios factores como; la vegetación, uso de suelo, la precipitación, el clima y la topografía. La cuantificación de estos parámetros condiciona la aplicación de los modelos a utilizar al momento de estimar la recarga potencial en cuencas hidrográficas. En este estudio se desarrolla un modelo simple de balance de agua diario mediante el código Soil-Water Balance (SWB) perteneciente de la USGS (Servicio Geológico de los EE. UU), que ha sido desarrollado y usado por Dripps y Bradbury, para la estimación de la recarga potencial. La ecuación de dominio del SWB para la estimación de la recarga potencial, considera como valores positivos; la intensidad y distribución de la precipitación, así como el flujo de entrada de las corrientes en la cuenca, y como valores negativos; la evapotranspiración, la intercepción y el flujo de salida. El escurrimiento es definido a través del número de curva, misma que depende de los 4 grupos hidrológicos del suelo definidos por la edafología de la zona, los 61 tipos de uso de suelo categorizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en México. Y la capacidad de retención máxima de los suelos de la cuenca. Uno

de los grandes retos a considerar en este tipo de estudio, donde se evalúan zonas fronterizas y por ende zonas extranjeras, es la obtención y homogeneidad de los datos, en este caso la relación México-Guatemala. La cuenca Alto Grijalva cuenta con extensiones territoriales considerados como reserva ecológica, en donde se localizan bosques de niebla y de conífera, por mencionar algunos. Se considera que la deforestación, el cambio de uso de suelo por las actividades agrícolas, además de las variaciones climáticas que se registran en la cuenca alta del río Grijalva han impactado de forma importante en las variables del ciclo hidrológico, debido a esto en la investigación se estimarán las láminas de recarga potencial, evapotranspiración y escurrimiento de la cuenca, atraves del modelo SWB, para determinar cómo la cobertura del suelo, tipo de suelo y variables climáticas impactan de forma espacial y temporal sobre estos parámetros.

GEOH-17 CARTEL

## HIDROGEOQUÍMICA DE TIERRA NUEVA EN EL CAMPO VOLCÁNICO SANTA MARÍA, S.L.P.

Loyola Martinez Erika[1], Ramos-Leal José Alfredo[1] y Morán-Ramírez Janete[2]
[1]*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
[2]*Cátedra CONACYT - UNAM*
erika.loyola@ipicyt.edu.mx

La alteración de minerales da origen a la formación de suelos, en las regiones donde predominan rocas maficas (ricas en ferromagnesianos), es común tener un buen espesor de suelos; sin embargo, cuando predominan las rocas de composición riolítica (ricas en sílice), los suelos son de poco espesor o casi ausentes. Así que el municipio de Tierra Nueva se localiza en la porción sureste del estado de San Luis Potosí, teniendo una superficie de 540. 61 Km2; sus elevaciones que van desde los 1, 610 a los 2, 160 m.s.n.m, con valles, lomeríos, diferentes pendientes de medias a suaves y se encuentra dentro de la Cuenca Mesozoica y Cenozoica del Centro de México (Tardy, 1975). Lo anterior conlleva a que la zona de estudio esta constituida por rocas ígneas extrusivas de tipo riolítico, su geomorfología favorece a los siguientes tipos de suelos: en porcentaje mínimo Fluvisol, en mayor porcentaje del municipio Litosol, Xerosol y en menor porcentaje, pero con presencia notable Regosol y Luvisol (Carta edafológica, 1982). Entonces la composición química del agua subterránea es controlada principalmente por factores como tiempo de residencia, distancia recorrida, mineralogía y geología del acuífero por lo que la hidrolisis es el proceso donde se provoca la ruptura de los minerales los más frecuentes en la descomposición es el grupo de los silicatos (piroxenos, feldespatos, micas, hornblendas). Estas reacciones pueden desarrollarse en el medio hidrotermal (durante la formación de un depósito mineral) o como procesos exógenos (bajo condiciones atmosféricas), un factor que influye directamente es el clima a través de los parámetros de humedad por ejemplo en condiciones de humedad y calor la hidrólisis de una arcilla como caolinita y la formación de gibsita y en climas áridos la arcilla predominante será del tipo illita-esmectita. KAlSi3O8 + H2O ==hidrólisis ==> HAlSi3O8 + K+ + OH- 2HAlSi3O8 + 11H2O ==hidrólisis==> Al2O3 + 6H4SiO4 (Appelo y Postma, 1993). Consecuentemente la hidrogeoquímica y petrografía del lugar muestra la relación agua-suelo.

GEOH-18 CARTEL

## ANALISIS HIDROGEOQUIMICO POR MEDIO DE DIAGRAMAS DE PIPPER Y STIFF PARA EL ACUIFERO CERCANO AL TIRADERO DE BASURA EN LA COMUNIDAD DE MARIA ANDREA, PUEBLA

Paredes Vargas Jarha Keila, Téllez Santos Cesar Iván, Santiago García Joselin Yaraí, Ventura Pérez Pedro y González Juárez Diego Armando
*Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, ITSVC*
keila.paredes@itsvc.edu.mx

Los sitios de depósitos de basura contienen y emiten sustancias que contaminan el suelo, la biosfera, las aguas subterráneas y superficiales. Tanto el volumen como la composición de estos, depende del grado de desarrollo económico, la industrialización y la implantación de modelos económicos que conllevan al aumento del consumo de la región; principalmente residuos orgánicos, metales, papel, PET y otros. Actualmente, las condiciones hidrológicas, geológicas e hidrogeológicas y hidrogeoquímicos que deben de reunir la zona destinada a la operación y deposición final de los residuos sólidos municipales, así como el diseño de un relleno en México, están regulados por la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT , la cual controla las actividades del manejo y disposición de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la selección del sitio, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. La composición química del agua subterránea se determina a partir del muestreo, primeramente, en el campo, con la medición de algunos parámetros físicos-químicos y posteriormente en el laboratorio. El pH es la medida de la concentración de iones de hidrogeno del agua o de la solución, estando controlado por las reacciones químicas y por el equilibrio entre los iones presentes. En agua subterránea varía entre 6,5 y 8,5. Iones mayores, menores. Los iones mayores componen entre el 97-99% de los sólidos disueltos en el agua subterránea, los iones menores del 1-3%, y los elementos traza menos de 0.1%. En estudios hidrogeoquímicos se cuantifican los aniones mayores y cationes mayores, para caracterizar el agua. Para el análisis hidrogeoquímico de este acuífero se eligieron 3 pozos para la toma de muestras de agua, en el primer pozo tiene una profundidad de 13 m, el segundo pozo cuenta con una profundidad de 6 m que posteriormente fue clausurado por contaminación ya que el drenaje próximo colapso y se infiltró en el pozo, el tercer pozo tiene una profundidad de 5 m, estos 3 posos son utilizados para el suministro de agua a la comunidad. Para poder clasificar el tipo de agua y origen de cada pozo se utilizaron los diagramas de Piper y Stiff, y en base a esto, se graficaron las concentraciones de los cationes (Ca, Mg, Na, K) y aniones (Cl, HCO3, SO4), en lo cual se obtuvo que el agua de los tres pozos (Ma1, Ma2 y Ma3) son de composición Bicarbonata Cálcica. Esto con la finalidad de dar a conocer a la comunidad la calidad del agua que proporciona dicho lugar, así como la importancia del agua de lluvia en la zona, debido a que es la fuente principal de abastecimiento de agua dulce. Los factores se tienen debido a la calidad del agua en la zona sus características químicas, biológicas y radiológicas del elemento. Se caracteriza una mala calidad de agua que puede deberse tanto a causas naturales, la geología del lugar, como la contaminación en zonas con gran presión antrópica.

Sesión regular

# GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

Organizador:
Javier Arellano

GP-1 CARTEL

## YACIMIENTOS PETROLEROS NO CONVENCIONALES EN ARENISCAS COMPACTAS EN LA CUENCA DE CHICONTEPEC

Arellano Gil Javier
*Universidad Nacional Autónoma de México*
arellano@unam.mx

La Cuenca de Chicontepec corresponde con una Cuenca Sedimentaria Foreland, que se desarrolló durante el Paleoceno-Eoceno entre la Sierra Madre Oriental al Occidente y la Paleoplataforma de Tuxpan al Oriente. El relleno sedimentario se compone de tres Megasecuencias estratigráficas progradacionales mayores que se originaron por sistemas turbidíticos sin-orogénicos de baja densidad formados por abanicos submarinos, siendo los lóbulos de abanico medio y los canales distributarios los que constituyen las principales rocas almacenadoras de hidrocarburos. El depósito sedimentario es producto de diferentes episodios tectono-sedimentarios y eustáticos, en un ambiente marino batial que permitió la acumulación de secuencias de terrígenos con espesores mayores a los 1800 m. Las megasecuencias se encuentran separadas por discordancias mayores que se formaron por pulsos de levantamiento-hundimiento debido a la dinámica de las placas Norteamericana y Paleopacífica. La Cuenca de Chicontepec se rellenó debido al aporte de fuentes clásticas múltiples de variada procedencia, siendo las más importantes las provenientes del poniente, desde la Sierra Madre Oriental, del oriente de la paleo-plataforma de Tuxpan y desde el norte por corrientes de fondo que redistribuyeron los sedimentos dando como resultado una gran complejidad en la geometría y espesor de los depósitos, sin embargo, debido a la procedencia, donde predominan carbonatos, las rocas almacenadoras son delgados cuerpos de litarenitas compuestas de fragmentos de calizas, que por los procesos diagenéticos originaron areniscas compactas con alto nivel de cementación calcárea, donde se tienen yacimientos de aceite y gas no convencional. Los fluidos que no se desplazan hacia los pozos perforados debido a los bajos valores de porosidad y permeabilidad que presentan, por lo que, para incrementar el factor de recuperación es necesario la perforación de pozos horizontales y el fracturamiento hidráulico con ácidos viscosificados. Además de la litología predominante como roca almacenadora, es importante tomar en consideración el conjunto de fallas y fracturas que se formaron por esfuerzos de cizalla que originaron fallas laterales con estructuras en flor, con un importante desarrollo de fracturas verticales o subverticales que se relacionan con la roca almacenadora y con la migración. En general, los pozos petroleros ubicados sobre las zonas de falla o su entorno próximo, en donde se tienen abundantes fracturas verticales resultan no productores, en cambio, los pozos vecinos presentan una importante producción, la que va disminuyendo a medida que se incrementa la distancia con las fallas, debido al menor fracturamiento donde predominan las areniscas compactas. Para mejorar los resultados de los proyectos de inversión económica en la Cuenca de Chicontepec, se debe trabajar con un cambio de paradigma, donde el factor principal es estudiar a los yacimientos como no convencionales y realizar su explotación con pozos direccionales y multilaterales, considerando, además, que los yacimientos son pequeños, se encuentran sobrepuestos y contienen volúmenes de hidrocarburos limitados.

GP-2 CARTEL

## LA GENERACIÓN DE HIDROCARBUROS Y LA TERMODINÁMICA, UN TEMA SELECTO DEL PROYECTO DE ELABORACIÓN DEL LIBRO DIGITAL “TERMODINA#MICA PARA CIENCIAS DE LA TIERRA: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES”

Arellano Gil Javier, Navarro Aguilar Marco Antonio, Santamaría Orozco Demetrio Marcos, Pérez Martínez Ana Laura, Soto Ayala Rogelio y Muñoz Hernández Genaro
*Facultad de Ingeniería, UNAM*
arellano@unam.mx

Debido a las nuevas formas de trabajo docente en las universidades, donde en la actualidad, la mayor parte de actividades se realizan en línea, es importante elaborar materiales didácticos digitales que contribuyan al logro de aprendizajes significativos en los estudiantes de Geociencias, por lo que, con el Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación, de la UNAM (PAPIME PE101920), se está elaborando el libro digital “Termodinámica para Ciencias de la Tierra: Fundamentos y aplicaciones”, que incluye el capítulo denominado “Procesos de generación de hidrocarburos”, el cual tiene como objetivo proveer de la teoría necesaria de termodinámica para explicar los diferentes procesos que dan origen al petróleo en las cuencas sedimentarias y a las propiedades que presentan. En el origen del petróleo y la termodinámica están fuertemente relacionados, ya que para que la materia orgánica contenida en una roca generadora que se encuentra en el subsuelo de una cuenca sedimentaria se convierta en kerógeno, se requiere de presiones litostática (de sobrecarga) entre 0 y 300 Bar y temperatura ambiente de hasta 50°C; esta etapa se conoce como diagénesis, donde también se genera un volumen reducido de metano biogenético y dióxido de carbono. Al incrementarse la presión y la temperatura, ocurre la etapa de catagénesis, formándose el aceite y gas que se explotan comúnmente en los yacimientos convencionales y no convencionales, estos productos se forman en rangos de temperatura para el gas, entre 50 y 225 °C, mientras que para el aceite (fracción líquida) se requieren de temperaturas entre 60 y 175°C; además la presión litostática, tiene valores entre 300 a 1500 Bar, que se alcanzan cuando la roca generadora está enterrada en profundidades entre 1500 y 8000 m. Al ocurrir un mayor sepultamiento, con temperatura entre 225-315 °C, la materia orgánica residual se transforma en metano en la etapa metagénesis, aunque es poco probable que se formen yacimientos a esas profundidades, sobre todo porque la porosidad de las rocas disminuye considerablemente. Cuando el sepultamiento de la roca generadora es mayor a los 10-12 km, inicia el proceso de metamorfismo, originándose meta-antracita y finalmente grafito. Los fluidos petroleros generados, gracias a su comportamiento multifásico pueden ser caracterizados acertadamente como sistemas termodinámicos, por lo tanto, es relevante abordarlos mediante herramientas que nos permitan estudiar la relación entre sus propiedades como espacios de estados Presión-Volumen-Temperatura, además de utilizar expresiones analíticas como las ecuaciones de estado, que permiten relacionar y obtener de manera cuantitativa las propiedades de los fluidos que se encuentran en los yacimientos de hidrocarburos.

Sesión regular

# GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTÓNICA

Organizador:
Rosalva Pérez

GET-1

## DEFORMACIÓN FRÁGIL EN EL SECTOR NORTE DE LA FALLA TUXTLA-MALPASO, REGIÓN DE RÍO PLAYAS, VERACRUZ

Vasquez Serrano Alberto, Grajales Nishimura José Manuel y Rangel Granados Elizabeth
*Universidad Nacional Autónoma de México*
alberto-vasquez@ciencias.unam.mx

La falla Tuxtla-Malpaso forma parte de un conjunto de fallas localizadas en el SE de México. Estas fallas se han agrupado dentro de la Provincia de Fallas Laterales de Chiapas. Las fallas de esta provincia han sido activas desde el mioceno al reciente y se ha sugerido que pudieran ser la herencia y/o reactivación de fallas relacionadas con la apertura del Golfo de México. La falla Tuxtla-Malpaso es una de las fallas más importantes debido a su longitud (más de 100 km) y a la actividad reciente que ha presentado. A lo largo de su traza existen estructuras asociadas como fracturas, fallas menores y pliegues. A pesar de los avances en el conocimiento de las fallas laterales en el SE de México y de las posibles condiciones tectónicas ligadas a su formación, aun no se conoce su relación con la cantidad y distribución de estructuras menores como pliegues, fracturas y fallas. En este trabajo se reportan los avances de un análisis detallado de la geometría, cantidad, distribución y cinemática de fallas y fracturas en la región de Río Playas, Veracruz. Nuestro análisis hace uso de observaciones sistemáticas en el campo y de las herramientas de la teoría fractal. Nuestros resultados sugieren que en el sector norte de la falla Tuxtla-Malpaso existen dos sistemas de fracturas. El primer sistema se caracteriza por fracturas principalmente híbridas con orientación N-S y que afecta principalmente a rocas calcáreas del Jurásico-Cretácico. El segundo sistema lo forman fracturas extensionales (E-W), híbridas (NE-SW) y de cizalla (NW-SE), las cuales afectan al paquete sedimentario que va del Jurásico al Mioceno y que cortan al primer sistema. Ambos sistemas forman familias de fracturas que muestran una distribución agrupada y su cantidad depende del tipo de roca que afectan. Con el análisis cinemático de fallas menores, también es posible diferenciar dos grupos de fallas, el primero lo forman fallas laterales derechas N-S con una componente normal. El segundo está constituido por fallas normales E-W y fallas laterales izquierdas NE-W, que cortan al grupo de fallas N-S. Con base en nuestras observaciones preliminares sugerimos que las fracturas en nuestra área de estudio puede ser producto de la actividad de la falla Tuxtla-Malpaso en dos episodios, el primero ligado a una actividad de falla lateral derecha posiblemente durante el Cretácico mediante un mecanismo de cizalla simple. El segundo, relacionado con una actividad de falla lateral izquierda en el Mioceno a través de un mecanismo de transpresion en una falla lateral izquierda

GET-2

## ARQUITECTURA DE UNA ZONA DE DESPEGUE: ZONA DE CIZALLA TOLIMÁN, SIERRA GORDA DE QUERÉTARO

Vasquez Serrano Alberto[1], Nieto Samaniego Ángel Francisco[2], Rangel Granados Elizabeth[1], Alaniz Álvarez Susana[2] y Olmos Moya Paulina[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Centro de Geociencias, UNAM*
alberto-vasquez@ciencias.unam.mx

Las propiedades mecánicas de las zonas de despegue tienen una influencia significativa en la geometría, estilo, y cantidad de deformación de los cinturones de pliegues y cabalgaduras. Los paquetes de lutitas en una sucesión sedimentaria pueden actuar como zonas de despegue en diferentes horizontes dentro de un cinturón de pliegues y cabalgaduras. Las zonas de despegue comúnmente se encuentran sepultadas en sistemas orogénicos activos, haciendo imposible el estudio de estas zonas de cizalla. Esta situación dificulta conocer con detalle la arquitectura de las zonas de despegue y los principales mecanismos de deformación que actúan. En este trabajo hacemos uso de un análisis estructural detallado con el propósito de investigar los mecanismos de deformación en una antigua y exhumada zona de despegue dentro del Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano en el área de la Sierra Gorda de Querétaro. El presente trabajo describe la arquitectura de una zona de cizalla a través de un mapeo detallado de las estructuras, estimación de la distorsión en las rocas y análisis de la vorticidad. Nuestras observaciones sugieren que la zona de cizalla estudiada es una zona de despegue localizada en horizontes someros de la sucesión sedimentaria, la cual se desarrolló durante orógeno del Cretácico Tardío-Paleógeno. La zona de despegue estudiada acomodó la deformación a través de estructuras frágiles y dúctiles relacionadas con foliación milonítica, estructuras S-C, duplicaciones, pliegues de vaina y fallas inversas. Estas estructuras sugieren una deformación por cizalla heterogénea. Los valores de vorticidad cinemática (Wk=0.73) y de distorsión finita (Rxz=3) sugieren un mecanismo de cizalla sub-simple. Nuestros resultados muestran el papel que tienen las capas débiles (lutitas y evaporitas) durante el acortamiento de un paquete sedimentario. Asimismo, el presente trabajo demuestra que la presencia de cizalla simple y pura actuando al mismo tiempo, explica el desarrollo de zonas de cizalla complejas dentro de los cinturones de pliegues y cabalgaduras

GET-3

## DEFORMACIÓN POR ACORTAMIENTO EN ROCAS SEDIMENTARIAS MESOZOICAS DE LA SECCIÓN ESTRUCTURAL JURIQUILLA, QUERÉTARO-GUANAJUATO, GUANAJUATO

Ortega Fernández Sofía Erandi, Vasquez Serrano Alberto, Rangel Granados Elizabeth y Alaniz Álvarez Susana
*Universidad Nacional Autónoma de México*
sofierandi1998@ciencias.unam.mx

En el estudio clásico de la Geología Estructural se dice que, al momento de observar una deformación compleja en las rocas, se debe pensar en que fueron afectadas por dos o más eventos de deformación, sin embargo, primero se debe pensar en un solo evento de deformación progresiva antes que una deformación polifásica (Fossen, 2019). En el noroeste de Juriquilla, Qro. y el sureste de Guanajuato, Gto., se encuentra una secuencia de rocas sedimentarias deformadas del Mesozoico en la frontera entre la Mesa Central y la Sierra Madre Oriental. A pesar de localizarse en un sitio privilegiado en el centro de México, aún no se conoce con detalle la deformación de las rocas sedimentarias, ni los eventos relacionados con dicha deformación ( sutura del Terreno Guerrero y/o Orogeno Mexicano). En este proyecto se estudiaron estas rocas mediante la medición sistemática de estratificación (S0), foliación (S1), ejes del pliegue y fallas. Nuestros resultados preliminares sugieren que existen dos unidades litológicas en nuestra área de estudio. La unidad más joven está conformada por calizas arcillosas interestratificadas con lutitas y pedernal, la unidad más antigua está constituida por capas de arenisca cuarzofeldespática interestratificada con lutita calcárea, caliza y lutita. Las rocas en estudio están afectadas por pliegues con vergencias hacia el noreste y fallas inversas con orientación NW-SE con transporte tectónico al WSW. Los pliegues tienen planos axiales promedio de 060/25°, son isoclinales, presentan fracturas extensionales en el arco externo de la charnela y foliación (S1) de plano axial con una orientación de 330/28°. En sitios de alta deformación ligada con zonas de cizalla inversa, los pliegues son replegados formando una nueva foliación (S2) que tiene una orientación de 092/40°. Los pliegues más jóvenes son asimétricos y tienen planos axiales promedio de 170/30°. Nuestros resultados preliminares sugieren que la deformación compleja por acortamiento observada en las rocas sedimentarias del área de estudio está ligada más a una deformación progresiva que a una deformación polifásica.

GET-4

## CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-ESTRUCTURALES Y MORFOESTRUCTURALES DE LA CUENCA EL BAJÍO (REGIÓN IRAPUATO, SILAO Y LEÓN), GUANAJUATO, MÉXICO: IMPLICACIONES EN LA DISTRIBUCIÓN DE SUBCUENCAS HÍDRICAS (AVANCES)

Angeles-Moreno Edgar, Miranda-Avilés Raúl, Puy-Alquiza María Jesús, Kshirsagar Pooja Vinod, Loza-Aguirre Isidro, Li Yanmei, Ibarra-Olivares Guadalupe y Moreno-Urincho Alba Yurixi
*Universidad de Guanajuato*
e.angeles@ugto.mx

La cuenca de El Bajío en su parte norte (región de Irapuato, Silao y León) se encuentra regionalmente en el límite tectónico sur de la Mesa Central de México. En esta parte confluyen las características geológico-estructurales de las provincias geológicas de la Faja Volcánica Transmexicana, Sierra Madre Occidental y Mesa Central. El Bajío es una cuenca volcánica y sedimentaria limitada por bloques estructurales y fallas geológicas, algunas fallas están ocultas en el subsuelo, pero parte de estas, afloran en algunos bloques de rocas al interior. La identificación de fallas geológicas es importante en la región de El Bajío por las siguientes razones: las fallas pueden controlar la geometría de cuencas hidrológicas en superficie y en el subsuelo, pueden influir en las direcciones de flujos de contaminantes en el subsuelo, pueden estar relacionadas a algunos tipos de riesgos geológicos, por ejemplo, la subsidencia del terreno, deslizamientos, las inundaciones y desde el punto de vista vulcanológico pueden controlar la orientación de centros de emisión de volcanes. Para logar el objetivo general de caracterización geológico estructural y morfoestructural de la cuenca El Bajío en su parte norte, en este trabajo se han empleado las metodologías de geología de campo, estratigrafía, cartografía geológico-geomorfológica y la integración de datos disponibles hidrológicos. Los resultados en este trabajo, aún parciales, muestran que existen cuatro subcuencas hídricas, desde el enfoque estructural, León, San Francisco del Rincón-Manuel Doblado, Silao-Romita y Cuerámaro; así también las relaciones geométricas en el fallamiento y fracturamiento parecen tener influencia en el control sedimentario en las subcuencas de El Bajío, y por último la geometría de los bloques morfoestructurales es controlada por fracturamiento y fallamiento con direcciones N-S, NE-SW, E-W y NW-SE de edad cenozoica.

GET-5

## ANÁLISIS DEL RÉGIMEN TECTÓNICO DE LA CUENCA DE SAN BLAS, A TRAVÉS DE MÉTODOS GRAVIMÉTRICOS Y MAGNÉTICOS

Camacho Miguel[1] y Álvarez Román[2]
[1]*Posgrado, UNAM*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
miguelcamacho.geofisica@gmail.com

Baja California se encontraba ceñida al continente de Norte América hace #30 Ma., cuando comenzaron una serie de procesos tectónicos que provocaron la deriva de la península hasta su posición actual. Este proceso de deriva tuvo importantes consecuencias para la zona limítrofe con el continente Norte Americano. De esta amplia zona, llama particularmente la atención la cuenca de San Blas (CSB). La CSB es una zona de la que se sabe relativamente poco, ya que son muy reducidos los estudios en el área que ayuden a determinar los procesos tectónicos que sufrió. De la CSB se sabe que es la cuenca más grande del sector SE del Golfo de California, y que su superficie se encuentra sumergida a una profundidad promedio de 50 m en la plataforma continental de Norte América. Se ha propuesto que la cuenca de San Blas podría haber sido una cuenca extensional temprana, generada durante el desarrollo de la Provincia de Extensión del Golfo de California hace #14 Ma, y que luego fue deformada por el movimiento transtensional y el sistema de fallas Tamayo y Pescadero. En este trabajo elaboramos una serie de mapas de datos gravimétricos y magnéticos sobre la zona de la CSB, destacando lineamientos estructurales en dos sentidos, a través de derivadas direccionales sobre la anomalía gravimétrica y la anomalía magnética de datos obtenidos a partir de modelos satelitales, y utilizando un método de inversiones gravimétrica y magnética 3D. Se observa una seria de mínimos de anomalía que se desarrollan en una dirección N45W a lo largo de la zona de la garganta de San Blas y lineamientos de mínimos paralelos que se desarrollan al NE. Además, se observan una serie de máximos de anomalía que se desarrollan en un sentido NNW y que se suceden espaciadamente de forma paralela, desde las islas María hasta la costa continental. Estos máximos de anomalía parecen desarrollarse interrumpiendo la continuidad de los mínimos de anomalía. Adicionalmente, una inversión 3D de la gravimetría sobre la zona de la CSB, reporta una serie de cuerpos paralelos de mayor densidad cuyo azimut oscila alrededor de la dirección NNW, con una longitud de onda estimada de #30 km. Proponemos que estos cuerpos de mayor densidad podrían ser la consecuencia de intrusiones que incursionaron en las zonas de debilidad de una corteza previamente fracturada y debilitada por los procesos de distención.

GET-6

## ANÁLISIS GEOLÓGICO Y MAGNETOMÉTRICO DE ROCAS PLUTÓNICAS CRETÁCICAS Y SUS ENCAJONANTES EN LA SIERRA LA LIBERTAD, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Lozano Hernández Baltazar Leo y Delgado Argote Luis Alberto
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
blozano@cicese.edu.mx

Los plutones de la zona occidental (promedio $SiO_2 < 61\%$) y oriental ($SiO_2 > 61\%$) del Cinturón Batolítico Peninsular (CBP) están yuxtapuestas producto de la colisión del arco de islas del Aptiano – Albiano con el margen continental desarrollando una zona de deformación por convergencia. En algunas regiones del CBP dicha zona no es evidente. Las fronteras regionales propuestas para la parte norte del CBP, desde California hasta la sierra San Pedro Mártir, se han extrapolado a la parte meridional pero son inconsistentes por el carácter fragmentado del arco magmático. Se efectuó un análisis estructural, petrográfico y magnetométrico en las rocas intrusivas y encajonantes en la sierra La Libertad. Las rocas encajonantes al oriente son metasedimentos pelíticos-samíticos y metaconglomerados del Paleozoico (?) metamorfizados en facies de anfibolita, mientras que al occidente son sedimentarias interestratificadas con lavas andesíticas y depósitos volcaniclásticos metamorfizados en facies de esquistos verdes de edad Jurásico (?), cuya foliación promedio es 316/29 NW y 160/16 NW, respectivamente. Ambas secuencias exhiben deformación dúctil y están afectadas por fallas inversas paralelas a la foliación. Las rocas plutónicas que intrusionan a las secuencias metamórficas son principalmente de composición tonalítica-granodiorítica-granítica típicas de la zona oriente cuya foliación promedio es 327/53 NW. Algunas fracciones de las rocas félsicas están intensamente deformadas con una foliación protomilonítica a milonítica penetrativa, además están también afectadas por fallas inversas. Tal deformación se asocia al emplazamiento sintectónico durante el periodo de convergencia. Se infiere que la acreción tectónica del Cretácico Tardío es subparalela a la sierra La Libertad.

GET-7

## CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE MANIFESTACIONES GEOTÉRMICAS EN EL NORESTE DE MÉXICO, ESTADO DE COAHUILA

Tolentino Álvarez Janet, Batista Rodríguez José Alberto, Batista Cruz Ramón
Yosvanis, Almaguer Carmenates Yuri y López Saucedo Felipe de Jesús
*Universidad Autónoma de Coahuila*
jtolentino@uadec.edu.mx

Partiendo del conocimiento de las particularidades geológicas, se presenta un análisis entre los principales elementos geológicos regionales y el potencial geotérmico de manifestaciones hidrotermales del estado de Coahuila. La información se obtuvo de cartas geológicas a escala 1:50 000 del SGM. Para la realización de estos análisis se utilizo la herramienta del SIG para valorar la relación entre dichos aspectos y el termalismo en superficie. A partir de la interpretación de los datos es posible inferir el origen de las manifestaciones, así como los vínculos entre distintos sitios con estas manifestaciones caracterizando las rocas, rasgos estructurales tales como fallas, pliegues, etc. El estado presenta un potencial geotérmico de baja a mediana entalpia caracterizado por manantiales y pozos con temperaturas anómalas. Sin embargo, no se conoce la composición química e isotópica de dichas fuentes ni los usos directos que pueden obtenerse de su explotación sustentable, excepto en la balneología que a pesar de no conocerse la composición química de dichas aguas, las cuales pueden ser beneficiosas para la salud o perjudiciales para esta, en función de los enriquecimientos químicos y la presencia de gases nocivos.

GET-8

## LA ISOTERMA DE CURIE EN EL BLOQUE DE JALISCO

Álvarez Román[1] y Palafox Vladimir[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
ralva@prodigy.net.mx

A partir del campo magnético regional efectuamos un análisis de la Isoterma de Curie (IC) en la región entre 18º y 23ºN que comprende al Bloque de Jalisco (BJ) utilizando áreas de 60x60 km2 con un traslape de 5 km, con el que obtuvimos resultados hasta 12 km de profundidad utilizando Análisis Espectral para los cálculos. Combinamos los campos magnéticos reportados por el Consejo de Recursos Minerales con los datos del North American Magnetic Field Project, particularmente para el área marina; en la parte continental hicimos una prolongación hacia arriba de 1000 m al campo magnético residual para disminuir efectos de ruido y homogeneizar con los datos costa afuera. Construimos el mapa de la IC con 7344 puntos calculados en esta región, en donde la profundidad de la IC oscila entre 2.5 y 12 km. Una descripción general incluye una importante anomalía a la mitad del rift Tepic-Zacoalco, en donde la IC desciende a profundidades de 12 km. Las regiones más someras se encuentran en la región de La Primavera-Guadalajara y otra al norte en los estados de Zacatecas-Aguascalientes, con profundidades de 2.5 km. Entre el mínimo reportado en el centro del rift Tepic-Zacoalco y Manzanillo se desarrolla una zona continua, de profundidades intermedias (4.5 km) que incluye a una porción del Lineamiento Volcánico Central de Jalisco. Con base en este mapa presentamos seis perfiles magneto-estratigráficos: cuatro perpendiculares a la Trinchera Mesoamericana (TM) y dos con dirección NW-SE. En los cruces con la TM observamos que la profundidad de la IC se incrementa. Observamos que en la transición de la placa oceánica a la TM la IC se profundiza, y en la transición a la parte continental, se incrementa drásticamente de 11 a 4 km. En términos generales observamos que la IC se hace somera en regiones con manifestaciones volcánicas en la superficie. En particular, a lo largo de la línea que se encuentra completamente en la parte continental, observamos que la IC en el graben de Tepic y en la porción que intersecta al graben de Tepic-Zacoalco, oscila entre 7 y 10 km de profundidad, mientras que en la zona correspondiente a los volcanes Sangangüey y Ceboruco se encuentra a solo 4 km. Es de notar que este perfil pasa al lado del Complejo Volcánico de Colima; esa región no muestra una elevación de la IC. Podemos concluir que en muchos lugares de los perfiles, la IC de Curie está asociada a cambios estructurales en la corteza.

GET-9

## ESTRUCTURA DE LA CORTEZA Y SU RELACIÓN CON LA SUPERFICIE DE LA ISOTERMA DE CURIE EN LA REGIÓN ENTRE LAS PROVINCIAS DE LA MESA CENTRAL Y SIERRA MADRE ORIENTAL, CENTRO DE MÉXICO

Peredo Mancilla Claudia Rigel[1], Yutsis Vsevolod[1], Aranda Gómez José Jorge[2] y Martin Aaron[1]
[1]*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
[2]*Centro de Geociencias, UNAM*
claudia.peredo@ipicyt.edu.mx

La zona de transición entre las provincias geológicas de la Mesa Central y la Sierra Madre Oriental, representa uno de los rasgos fisiográficos y estructurales más característicos del centro de México. La Mesa Central es una planicie elevada y extensa con relieve suave, en donde destacan sierras aisladas. Esta provincia

se encuentra parcialmente cubierta de rocas volcánicas ricas en sílice en su porción meridional, mientras que en las regiones septentrional y oriental las sierras están formadas principalmente por caliza mesozoica. La Mesa Central tiene la característica de ser, en promedio, topográficamente más elevada con respecto a las provincias circundantes (i.e. Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y Cinturón Volcánico Trans-Mexicano. Por otro lado, en los límites norte y oriente de la meseta, se localiza la Sierra Madre Oriental, un cinturón de pliegues y cabalgaduras formado durante la Orogenia Laramide (Cenozoico temprano) en rocas Mesozoicas marinas y en su complejo basal. En esta región, las variaciones en el espesor de la corteza son un factor importante para explicar las diferencias en elevación entre las provincias y los procesos de isostasia asociados. En trabajos previamente publicados, se presentan interpretaciones contrastantes sobre el espesor de la corteza y la morfología del Moho, mismas que implican diferentes condiciones geodinámicas: (1) la región entre ambas provincias presenta una corteza con espesor homogéneo, por lo tanto el Moho debe ser relativamente plano; (2) la corteza es más gruesa debajo de la Mesa Central, comparada con corteza más delgada bajo la Sierra Madre Oriental; y (3) la corteza debajo la Mesa Central es más delgada comparada con corteza más gruesa bajo la Sierra Madre Oriental. Este último modelo implica la presencia de manto de menor densidad subyaciendo a la planicie elevada. Para abordar esta problemática, los tres modelos previamente propuestos fueron analizados utilizando datos gravimétricos y magnéticos a través de los siguientes procesos: I. Reconstrucción de los tres modelos mediante técnicas de modelación directa; II. Estimación de nuevos valores de profundidad al Moho y III. Cálculo de la profundidad al punto de Curie (CPD). Los resultados de la modelación arrojaron los errores máximos en el modelo 1 y muy similares en los modelos 2 y 3. Por otro lado, las estimaciones de la profundidad al Moho y el CPD son consistentes con la presencia de una región importante en la corteza que es comparativamente más gruesa (40 a 52 km) y más fría (-35 to -45 mWm-2) debajo de la porción oriental de la Mesa Central. Esto, en comparación con una corteza significativamente más delgada (34 a <40 km), con valores más altos de flujo de calor (-50 a -85 mWm-2) subyaciendo a la Sierra Madre Oriental. Estos hallazgos son afines con la hipótesis del modelo 2, y revelan que la hipótesis de la presencia de manto de baja densidad por debajo de toda la Mesa Central es incompatible con la información disponible y el modelado realizado.

GET-10

## SÍSMICA DE REFLEXIÓN 2D EN ALGUNOS SECTORES DE LA PLANICIE COSTERA DE SINALOA

González Escobar Mario, Arregui Ojeda Sergio Manuel, Mastache Román Edgar Agustin y Gallegos Castillo Cristian Alejandro
*División de Ciencias de la Tierra, CICESE*
mgonzale@cicese.mx

Se realiza un estudio preliminar de sísmica de reflexión 2D, en algunos sectores de la planicie costera de Sinaloa, pertenecientes a la Cuenca marginal Obregón, con información colectada por PEMEX. Esta región está emplazada entre la plataforma continental del Pacifico y la Sierra Madre Occidental, a lo largo de la planicie costera del estado Sinaloa, México, y forma parte de la Provincia Extensional del Golfo de California. A partir de imágenes sísmicas se identifican estructuras y secuencias sismoestratigráficas las cuales ayudaran a incrementar el conocimiento sobre la evolución tectónica de la región. Una de las características de la región es su vulcanismo intraplaca, lo cual es conocido debido a la presencia del Volcán Cacaxtla, siendo una singularidad en estas latitudes. Los resultados obtenidos muestran secuencias sismoestratigráficas semiparalelas, mostrando en algunos sectores intensa actividad tectónica, mientras que otros una ausencia casi total de esta. Los depósitos sismosedimentarios, los cuales provienen de la Sierra Madre Occidental, se engrosan hacia la costa, con espesores máximos de aproximadamente ~2500 m, mostrando en algunos lugares pequeñas subcuencas. El basamento acústico está presente en algunos sectores y no en toda la región estudiada de la planicie, dentro de la resolución de profundidad de los datos. Palabras clave: Cuenca Mazatlán, Cuenca marginal, Sísmica de reflexión, Golfo de california, Sill.

GET-11

## OBSERVACIONES SOBRE DE LA GEOLOGÍA DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA DE MAPIMÍ Y SUS ALREDEDORES, MÉXICO

Aranda Gómez José Jorge[1], Chávez-Cabello Gabriel[2], Ramírez-Peña César Francisco[2], Juárez-Arriaga Edgar[3] y Eguiluz de Antuñano Samuel[4]
[1]*Centro de Geociencias, UNAM*
[2]*Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León*
[3]*Instituto de Geología, UNAM*
[4]*Consultor privado, Rinconada Precolombina, Bonampak 103, CDMX, 04700*
jjag@geociencias.unam.mx

La Reserva de la Biósfera de Mapimí (Zona del Silencio) está en Durango, en la confluencia Durango-Chihuahua-Coahuila. La región es una vasta planicie desértica en donde sobresalen montañas aisladas, formadas por rocas volcánicas (sierras Los Álamos y Mohóvano) o rocas de la Plataforma de Coahuila (Sierra Banderas). En la zona también existen colinas bajas, cubiertas por pavimento del desierto, en donde está pobremente expuesta una sucesión de rocas clásticas, litificadas a pobremente litificadas, que exhiben plegamiento complejo (domos estructurales y anticlinales y sinclinales con ejes orientados ~NS y ~EW). En la sucesión clástica deformada hay dos unidades: las Capas La Soledad (Cretácico Superior, ambiente de transición marino-continental) y la formación Quiotentas (Paleógeno, continental). La Reserva pertenece a la Provincia de Cuencas y Sierras, pero las fallas normales no son evidentes, salvo una falla mayor que trunca a dos domos estructurales y que se ubica en una planicie ocupada parcialmente por lagos-playa ("barriales"). En la Sierra de Mohóvano documentamos fallas normales NS, en dominó, con los bloques hundidos al occidente, así como algunas fallas NS con corrimiento lateral-izquierdo y derecho subordinadas. La hipsografía de la región muestra una alternancia semi-periódica de terrenos elevados y deprimidos que sugieren la existencia de bloques tectónicos ~NS. En la Reserva, la diferencia de alturas entre los bloques ~NS es pequeña (~20 m) y no existen escarpes de falla. Los afloramientos de La Soledad y Quiotentas coinciden con los pilares tectónicos, mientras las fosas contienen barriales extensos. En el centro de la Reserva hay una franja de ~30 km de ancho, con dirección NE, en donde el terreno fue elevado. Esa franja es la divisoria entre las subregiones Mapimí y Nazas de la Región Endorreica Central propuesta por Aranda-Gómez y colaboradores (JSAMES, 83:55-67, 2018). Este rasgo es imperceptible en el campo, salvo que el sistema de arroyos La India y La Vega forma un patrón en "U" al sur de la Sierra Los Álamos, cambiando la dirección de flujo 180º justo en la divisoria. En la región ubicada al E y NE de Las Lilas existen afloramientos extensos, con capas sub-horizontales, de la Formación Indidura en una extensa planicie que semeja un valle entre las sierras de Mohóvano y Las Palomas. Bartolino (The Texas Journal of Science 44:295-300, 1992) interpretó la geomorfología de parte de la Reserva como un pedimento. Nuestra información es congruente con esta hipótesis. Cabe señalar que al norte de la Reserva, en el Campo Volcánico de Camargo, documentamos escarpes de fallas normales del Plioceno (5-2 Ma) y señalamos la posibilidad de fallamiento normal activo. Interpretamos que en la Reserva hubo fallamiento normal post-Oligoceno, pero que ha habido calma tectónica en un lapso prolongado de varios millones de años. La geomorfología peculiar en la Reserva es debida a erosión asociada al "rebote isostático" de los pilares tectónicos. Los cerros aislados en la Reserva son inselbergs y las fallas principales están en el borde los barriales. PAPIIT106820.

GET-12 CARTEL

## CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA REGIONAL DE LA CUENCA DE CHICONTEPEC Y ALREDEDORES, ESTADOS DE HIDALGO, PUEBLA Y VERACRUZ

Loza-Aguirre Isidro[1], Solís Orduña Lesly Madeleim[2], Bustos Díaz Silvia Osiris[2], Corbo-Camargo Fernando[3], Puy-Alquiza María Jesús[1], Ramírez Rangel Dania Ximena[1], Kshirsagar Pooja[1], Miranda-Avilés Raúl[1] y Peña-Alonso Tomás Alejandro[4]
[1]*Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato*
[2]*Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero*
[3]*Centro de Geociencias, UNAM*
[4]*Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Tamaulipas*
isidro.loza@ugto.mx

En el marco del proyecto "Un acercamiento a los Yacimientos No Convencionales a partir de Métodos Electromagnéticos de exploración (CONACYT Fronteras de la Ciencia # 1787)", se elaboró el mapa geológico regional de una porción de la Cuenca de Chicontepec como soporte al trabajo de exploración geofísica del mismo. El mapa cubre un área aproximada de 25,000 km2 y abarca la parte centro y sur de la cuenca de Chicontepec, en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. Esta área se encuentra en la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Golfo Norte, en la porción oriente - central de México. Incluye parte de la provincia geológica de Tampico – Misantla, en colindancia con el Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano, al oeste, y la Faja Volcánica Transmexicana al sur y suroeste. La Cuenca de Chicontepec es una cuenca de antepaís cuyo origen y desarrollo están asociados a la evolución del Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano y su interacción con los elementos circundantes, en este caso, de la paleo-isla de Tuxpan. En esta cuenca se depositaron sedimentos detríticos cenozoicos de las formaciones Chicontepec, Guayabal, Chapopote, Tantoyuca, Palma Real, Mesón, Escolón y Tuxpan sobre las rocas cretácicas que constituyen el basamento de la cuenca, como las calizas de las formaciones Tamaulipas, Agua Nueva, San Felipe, y lutitas de la Fm. Méndez. Sobre los sedimentos cenozoicos aparecen derrames de rocas máficas con edades que van del Mioceno tardío al Cuaternario. Además, afloran rocas intrusivas reportadas en la literatura como gabros y granodioritas del Oligoceno-Mioceno. El conjunto de derrames ha sido considerado en trabajos previos como parte de la Provincia Alcalina Oriental Mexicana, que es un cinturón de campos volcánicos máficos alcalinos que bordean el Golfo de México desde Texas, en EUA, hasta Veracruz, siguiendo una tendencia NNW. Dicha provincia fue interpretada inicialmente como resultado de fallamiento extensional paralelo al Golfo, que fue migrando de norte a sur, del Oligoceno al presente. Trabajos posteriores han llegado a diferentes interpretaciones, siendo aún un tema en debate. Iniciando con la recopilación y revisión de información disponible en la literatura, se compiló un mapa geológico preliminar. Posteriormente, se realizó trabajo de campo para: identificar en afloramiento las unidades principales, tomar muestras de roca, corroborar contactos, identificar las estructuras principales y recolectar datos estructurales. Se realizaron recorridos por las distintas vías de comunicación, principales y secundarias, que comunican a las poblaciones ubicadas dentro del área de estudio. Se puso especial énfasis en la identificación de intrusiones, debido a que su localización y caracterización mediante sondeos geofísicos es uno de los principales objetivos del proyecto. El mapa preliminar fue detallado y corregido a partir de lo observado en campo. Además, se llevó a cabo la descripción petrográfica

de las principales unidades sedimentarias para enriquecer las descripciones de afloramiento y de muestras de mano y se realizó el análisis geométrico de los datos estructurales. La petrografía, geoquímica y geocronología de los intrusivos identificados durante el trabajo de campo está en proceso.

GET-13 CARTEL

## ALOCTONÍA AL NNW EN LA FAJA NEOVOLCÁNICA TRANSMEXICANA, DEBIDA A LOS EMPUJES DE LA PLATAFORMA DE YUCATÁN

Bazán Perkins Sergio Dale y Bazán Barrón Sergio
*Industria Minera Indio, S. A. de C. V., IMI*
bazanperkins@hotmail.com

Debido a la apertura oceánica del Mar de Thetys al final del Paleozoico, el territorio de México sufrió durante el Jurásico y Cretácico destrucción y desgaste erosivo de la corteza por unos 300 km, para constituir la mega sutura de la Faja Neovolcánica Transmexicano. Por colisión cortical, esta faja aparece limitada tectónicamente al norte y sur, por las secuencias primigenias de la corteza, identificadas estratigráficamente. Hacia el Cretácico Tardío-Terciario, la Plataforma de Yucatán, con basamento precámbrico rígido, se desplaza en subducción bajo la Sierra Madre de Chiapas. Está penetración origina una intensa compresión cortical progresiva desplazando y empujando lateralmente al bloque Chortis hacia el NE y la masa continental del suroeste de México hacia el NNW. Como resultado, hacia el suroeste de México se desarrolla un campo de esfuerzos corticales que incluye zonas de transpresión con orientación general NW-SE 64°-72° cuasi-paralelos a la Trinchera de Acapulco; así como, eventos de transpresión en dirección NE-SW 36°-62° como la falla inversa Papalutla, así en la región del Istmo de Tehuantepec. Al tiempo que se generan cabalgaduras sucesivas con deformación y fallas inversas afectando rocas metamórficas, sedimentarias, volcánicas, acompañadas de metamorfismo y plutonismo progresivo basal con batolitos someros en los bloques involucrados. A partir del Neógeno, la acreción de la Plataforma de Yucatán contra la Sierra Madre de Chiapas, incluyendo de los macizos de Los Tuxtlas y Teziutlán contra el Bloque Oaxaqueño, propiciaron el desgarre cortical, transcurrente dextral E-W, a lo largo de la mega sutura de la Faja Neovolcánica Transmexicana, con el desprendimiento del bloque Jalisco y de la Península de Baja California. La aloctonía compresiva al NNW en la Faja Neovolcánica Transmexicana se define por los espesores de secuencias precámbricas de los bloques involucrados. Se estima un espesor y salto mayor de 2000 m, para el alóctono levantado de las secuencias precámbricas de los supergrupos Pápalo y Zimatlán del estado de Oaxaca, comparada con las secuencias erosionadas del autóctono rígido de los mismos supergrupos aflorantes del precámbrico de Jalisco, Guanajuato y de Hidalgo. Palabras clave: Faja Neovolcánica Transmexicano, Mar de Thetys, Falla de Papalutla, Plataforma de Yucatán.

GET-14 CARTEL

## DISTRIBUCIÓN Y LIMITES ESTRUCTURALES DEL ESCUDO ARQUEANO MEXICANO EN EL CRATON DE NORTEAMÉRICA

Bazán Barrón Sergio y Bazán Perkins Sergio Dale
*Industria Minera Indio, S. A. de C. V., IMI*
bazanba@hotmail.com

Hacia 1980, reconocimientos del área tipo Concepción Pápalo-Cuicatlán, Sierra de Juárez y Cañón de Tomellín, Oaxaca, se identifica mediante relaciones litoestratigráficas, una potente sucesión de rocas verdes basales con intrusiones diapíricas de serpentinitas, de carácter komatítico y ultramáfico, para definir al Supergrupo Pápalo del Arqueano. Posteriores estudios de la Cañada, Valle de Oaxaca confirman su extensión hasta el Istmo de Tehuantepec, con unos 50 afloramientos más, en la Sierra de Guanajuato, Ventana El Charape, Macizo de Teziutlán, Macizo Los Tuxtlas, Macizo de Chiapas, Plataforma de Yucatán, Gneis Novillo, Macizo Burro-Picachos, Bloque Coahuila-Chihuahua, entre otros más. El origen del escudo arqueano mexicano se debe a un evento de subducción lateral al oriente, a partir de la Faja Estructural Cananeana (FEC) representada por el Supergrupo Zihuatanejo, del Gran Rift tipo MORB de distribución global. Al mismo tiempo, en forma opuesta hacia el noroeste, se desarrollaba el escudo arqueano canadiense. El tiempo inicial de ambos escudos, se considera hacia los 3800 Ma, a partir de la apertura oceánica de la FEC, generada en la corteza primigenia de la Tierra, para dar origen al depósito del Grupo Los Alisos, del Hadiano y como unidad basal de la secuencia precámbrica de México. Por tanto, el límite litoestratigráfico inferior del Supergrupo Pápalo se define por el Grupo Los Alisos, del Supergrupo Guanajuato, consistente de cuarcitas bandeadas con 97% de cuarzo, decrecientes en 65% al oriente, producto de las primeras lluvias ácidas que disolvieron los componentes de las rocas preexistentes y transportados en solución al Gran Rift de la FEC. Esta apertura, genera el depósito de la primigenia plataforma y planicie costera entre 4150-3800 Ma, con vertiente a la Faja Estructural Cananeana del occidente del Continente Americano. La expansión oceánica de la FEC generó por subducción lateral el desarrollo del arco volcánico calco-alcalino del Supergrupo Pápalo (3800-2600 Ma), de unos 25 km de potencia, en discordancia tectónica sobre el Grupo Los Alisos basal, de la cima del Hadiano. La extensión del Supergrupo Pápalo al Sureste de EUA, involucra y está limitada por la tectónica grenvilliana y la Península de Labrador. Asimismo, se extiende hacia Centro América y Las Antillas, para considerar que el escudo arqueano mexicano es más extenso que el escudo Canadiense, denominado Escudo Arqueano del Golfo de México y Las Antillas, que implica a la placa Caribeña. Palabra clave: Arqueano, Supergrupo Pápalo, Labrador, Grupo Los Alisos, Hadiano, tectónica grenvilliana.

GET-15 CARTEL

## EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL SUPERGRUPO ACATLÁN, PARA GENERAR LA OROGENIA OAXAQUEÑA

Bazán Perkins Sergio Dale y Bazán Barrón Sergio
*Industria Minera Indio, S. A. de C. V., IMI*
bazanperkins@hotmail.com

El Geosinclinal Acatlano del Mesoproterozoico debe su origen a la apertura oceánica hacia los 1800 Ma, de la dorsal N-S de El Ocotito, Guerrero, prolongación meridional del Belt Purcell Supergroup del oeste de Canadá. Durante la expansión oceánica generó eventos de subducción hacia ambos lados con polaridad E-W, para implicar al metamorfismo regional progresivo de la Orogenia Oaxaqueña (1100-870 Ma). El evento de subducción al oriente, bajo los supergrupos Guanajuato, Pápalo y Zimatlán, genero el arco volcánico del Supergrupo Telixtlahuaca (1500-1000 Ma). El tiempo de subducción se corrobora por la apertura oceánica del rifting El Catrín y desarrollo de la cuenca del Grupo Oaxaca (back-arc spreading) hasta la colisión que generó el arco del subgrupo Vigallo y continuar con la nappa de La Carbonera al poniente, con el depósito de los flysch del Grupo Tejalapan, Chichimequillas y Aldama. Se advierte que la apertura oceánica del rifting del Grupo Oaxaca basal, se divide y ramifica al norte en dos estructuras; una al NW hacia Arizona y otra, con metamorfismo de alto grado, al Gneis Novillo del sistema Grenvilliano, del sureste de los EUA La subducción del Supergrupo Acatlán al oriente desgastó al Grupo El Trapiche basal del área de San Andrés Nuxiño, hasta desaparecer al norte de Nochixtlán la secuencia, por destrucción del Supergrupo Telixtlahuaca, completamente hasta el área de Tehuitzingo, Puebla, dejando pequeños klippes arqueanos basales de su existencia. Esto se prueba mediante secciones Norte-Sur desde el área de Tehuitzingo, Puebla, hasta el área de Nochixtlán, Oaxaca, donde las rocas precámbricas metamorfoseadas de la Faja Estructural Oaxaqueña yacen como alóctonos aislados, sobre los esquistos del Supergrupo Acatlán, intensamente erosionados y devastados, dejando relictos y con pequeños klippes de su existencia. Palabra clave: Geosinclinal Acatlano, Mesoproterozoico, Belt Purcell Supergroup, Supergrupo Telixtlahuaca, Orogenia Oaxaqueña

Sesión regular

# GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA AMBIENTAL

Organizador:
Martín Hernández Marín

GGA-1

## CONTAMINACIÓN POR METAL(OIDE)S EN POLVO ESCOLAR Y POTENCIAL DE RIESGO PARA LA SALUD: EL PAPEL DE LA ESTACIONALIDAD EN AMBIENTES SEMIÁRIDOS

Schiavo Benedetto[1], Meza-Figueroa Diana[2], Vizuete-Jaramillo Efrain[3], Robles-Morua Agustin[3] y González-Grijalva Belem[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Universidad de Sonora*
[3]*Instituto Tecnológico de Sonora*
benedetto@atmosfera.unam.mx

El polvo urbano se considera un depósito importante de diversos contaminantes, incluidos los metal(oide)s derivados de diferentes fuentes. Entre estas se incluyen: tráfico vehicular, incineración de desechos, quema de petróleo residencial, plantas energéticas y parques industriales, pueden aportar contaminantes al ambiente. Los metal(oide)s que se acumulan en el polvo urbano pueden ser bioaccessibles, biodisponibles y móviles, por lo que pueden afectar a la salud humana y también al ecosistema. El estudio se lleva a cabo en la ciudad de Hermosillo, capital del estado de Sonora, situada a 287 km de la frontera con Estados Unidos, en donde se recolectaron 35 muestras de polvo en el interior de escuelas primarias antes y después de la estación monzónica. Los análisis sobre el polvo se realizaron usando varios equipos: i) fluorescencia de rayos X portátil (PXRF), para la caracterización de los metaloides; ii) microscopio electrónico de barrido (SEM-EDS), que regresa información sobre la morfología y composición química; y iii) difracción de rayos X (DRX), para el análisis cualitativo y cuantitativo de fases cristalinas. Se estudiaron el Hierro (Fe), Arsénico (As), Plomo (Pb), Manganeso (Mn), Cromo (Cr), Cobre (Cu) y Vanadio (V), durante la fase pre- y post-monzónica en zonas semiáridas. Las fuentes de contaminación se identificaron mediante estudios estadísticos usando la correlación de Spearman y el análisis de componentes principales (PCA) para distinguir los diferentes grupos de metaloides. Sistemas de información geográficos (SIG) se usaron para generar mapas de interpolación, mediante el método Ordinary Kriging (OK), y determinar la distribución espacial de los metaloides en ambas estaciones. El grado de contaminación por parte de los metaloides se evaluó con el uso diferentes índices, cuales factor de contaminación (CF), factor de enriquecimiento (EF) y el índice de geoacumulación (Igeo). Además, se calculó el factor de riesgo a la salud en niños mediante los métodos desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). Esta investigación permite comprender la distribución espacial, el nivel de contaminación, el riesgo para la salud humana y las fuentes de metales pesados en el polvo, lo que es fundamental para planes estratégicos y la gestión de la calidad ambiental en el área urbana.

GGA-2

## EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL ACUÍFERO DE TEPEACA – PUEBLA, ASOCIADO AL SISTEMA DE FALLAS Y LA PÉRDIDA DE ZONAS DE RECARGA EFECTIVA, MEDIANTE EL USO DE SIG

Olvera Márquez Yamilet y Muñoz Máximo Ignacio
*Área de Geociencias Aplicadas, Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento, BUAP*
yamilet.olvera@alumno.buap.mx

El sistema acuífero del municipio de Tepeaca se encuentra dentro del acuífero de Tecamachalco, considerado como una cuenca fuera de equilibrio y con alto estrés hídrico. Sin embargo, la cabecera del municipio de Tepeaca sigue teniendo un incremento en su población (alguna solo es dinámica) debido a la presencia de la empresa cementera CEMEX; ha favorecido a la región como un polo de desarrollo económico. Pero al mismo tiempo el incremento de su población estática y dinámica trae la demanda de un mayor uso del vital líquido. Durante la última administración local en la oficina del agua (S.O.S.A.P.A.T), se fortaleció la política de un manejo más inteligente por tandeo del agua, la población de la cabecera depende esencialmente del agua subterránea. En conjunto tres pozos (denominados en esta investigación como TepPz1, TepPz2 y TepPz3) han sido la principal fuente de abastecimiento de agua en los últimos 20 años, cuyo uso es el abastecimiento urbano, de los cuales el pozo TepPz1 finalmente se ha perdido. Pero debido al oportuno manejo de tandeo, así como la búsqueda inmediata de un nuevo pozo en la zona que supla el gasto de agua perdida, los efectos no han sido tan severos en el abastecimiento de la cabecera municipal. Ello ha puesto en la mesa, la necesidad inminente de valorar a mayor detalle el comportamiento hidráulico de este acuífero asociado con la presencia de fallas geológicas, en carácter de inmediato en la cabecera Municipal de Tepeaca. Estudios preliminares técnicos, sugieren la existencia de dominios aeromagnéticos asociados con posibles sistemas de fallas geológicas. Considerando lo anterior en esta investigación se ha buscado determinar por métodos estadístico multivariantes y análisis multicriterio (a partir de una matriz de pesos ponderados) donde estos sistemas de fallas se pueden comportar hidráulicamente como un conducto que favorezca la circulación de agua, como una barrera natural o bien, como una combinación de ambas. Para ello se han hecho uso de toda la información preliminar disponible que ha sido evaluada (e. g., niveles estáticos, uso del suelo, cambio del uso del suelo, dominios aeromagnéticos, considerando como prioridad los rasgos geológicos estructurales, etc.) a partir del uso de Sistemas de Información Geográfica, así como de algunos recorridos de campo en el cerro de Tepeaca. Los resultados preliminares sugieren que el comportamiento no es el mismo en las fallas inferidas, variando su conducta como barrera y conducto, con lo cual se sugiere en conjunto con el análisis de las distintas capas temáticas, las mejores zonas que favorezcan una recarga natural del acuífero.

GGA-3

## DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS DE REMOCIÓN DE ARSÉNICO EN UN FILTRO DE ROCA CALIZA

Sosa Islas Antonio Salvador[1], Armienta Hernández Maria Aurora[2], Aguayo Ríos Alejandra[2], Cruz Ronquillo Olivia[2] y Loredo Portales René[3]
[1]*Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Instituto de Geología, UNAM*
cepa_64@hotmail.com

El presente trabajo propone una metodología eficaz para la eliminación de arsénico (As) presente en las aguas subterráneas como una opción de tratamiento sostenible para la remediación de agua destinada al consumo humano. El estudio se centra en la localidad de Zimapán, Hidalgo, México, donde las concentraciones de As ascienden a valores de 1.2 mg/L en uno de los pozos, que supera 48 veces el límite permisible según la Norma Oficial Mexicana para agua potable (NOM-127- SSA1-2000). El uso de rocas calizas para eliminar el arsénico es especialmente prometedor, se han realizado estudios para evaluar la eliminación de arsénico del agua a través de experimentos en lote y en columna; sin embargo, pocos de ellos se han enfocado en la influencia de los principales aniones presentes en el agua subterránea sobre la eliminación de arsénico. La evaluación de esta influencia es relevante para hacer una predicción preliminar de la efectividad del uso de este tipo de roca como alternativa viable para eliminar el arsénico del agua subterránea en sitios específicos contaminados. En nuestra investigación, la capacidad de remoción de iones arseniato por la roca caliza se determinó mediante columnas de percolación en presencia de otros aniones comúnmente presentes en las aguas subterráneas, como son: fluoruro, cloruro, sulfato y bicarbonato, también detectados en el agua subterránea del sitio. Por otra parte, se realizaron pruebas en lote utilizando CaCO3 (grado reactivo) con diferentes soluciones de arsénico (50 ppm, 300 ppm y 12,000 ppm) como estándares de referencia y experimentos de prueba. Los mecanismos de eliminación de As se infirieron a partir del análisis químico de los lixiviados y por medio de la caracterización de las rocas calizas recolectadas después de los experimentos, utilizando la técnica de difracción de rayos X (DRX) y fluorescencia de rayos X (FRX). Debido a las bajas concentraciones de As en los residuos sólidos fue necesario aplicar técnicas de alta resolución como la radiación de luz sincrotrón, específicamente la espectroscopía de absorción de rayos X (XAS). Los análisis XAS se recopilaron en el Sincrotrón Elettra, Trieste, Italia, tanto para los estándares de referencia como para los residuos de las columnas de percolación. Los resultados mostraron que en todas las muestras el principal mecanismo de eliminación de As es la adsorción, con más del 90%, y con menos del 10%, encontramos: (1) precipitación de As con calcio, (2) precipitación de As con sodio, y (3) As retenido asociado al hierro (Fe). En general, los experimentos indicaron que se pueden desarrollar filtros caseros basados en estas calizas para usarlos como una alternativa para evitar la exposición de la población, principalmente en pequeñas comunidades aisladas.

GGA-4

## ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA SUBSUPERFICIAL DE DISCONTINUIDADES GEOLÓGICAS REACTIVADAS EN EL VALLE DE AGUASCALIENTES

Hernández Marín Martín[1], Rodríguez Padilla Christian Emmanuel[2], González Cervantes Norma[1], Guerrero Martínez Lilia[1] y Pacheco Martínez Jesús[1]
[1]*Universidad Autónoma de Aguascalientes*
[2]*Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Aguascalientes*
mhernandez@correo.uaa.mx

Se presenta una metodología polifacética para establecer las características hidráulicas sub-superficiales de un tramo de dos discontinuidades geológica muy cercanas una a la otra. Las discontinuidades se localizan adyacentes al poblado de Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, y forma parte de una serie de alineamientos con orientación preferencial norte-sur que se ubican dentro del valle de Aguascalientes. Estas discontinuidades presentan reciente actividad, presumiblemente por efectos de la extracción excesiva de agua subterránea. La metodología de estudio consistió en varios aspectos: determinar la conductividad hidráulica mediante en varios puntos superficiales en una línea perpendicular a las discontinuidades, para ello se utilizó un permeámetro de campo; también, utilizando el permeámetro de campo, se inyecto agua en un tiempo relativamente largo en los mismos puntos que se alinearon perpendiculares a la falla, lo que permitió controlar el volumen inyectado de agua, y al mismo tiempo, se aplicó el método geofísico de resistividad eléctrica para capturar los cambios de resistividad del suelo por efectos de la infiltración controlada de agua. También se aplicó el método de refracción sísmica para establecer la zona mecánicamente afectada por el desplazamiento de las discontinuidades, dicha zona afectada, podría asociarse a zona de alta permeabilidad por incremento de la porosidad secundaria. Las mediciones mediante el permeámetro de campo se realizaron en varios puntos a ambos lados de la falla

obteniendo resultados de conductividad hidráulica del orden de 8.45E-05 a 1.06E-02 cm/s, mientras que las velocidades de infiltración resultaron del orden de 5.0E-02 a 1.5E-03 cm/s. Por su parte las pruebas conjuntas de permeámetro con perfiles de resistividad eléctrica permitieron observar como el agua que se infiltra y tiende a hacerlo a través del plano de falla, lo cual es un claro indicador del rol que juega este tramo de la discontinuidad en la recarga del agua subterránea.

GGA-5

## IDENTIFICACIÓN DE ZONAS POTENCIALES A CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO A TRAVÉS DE CRUCES DE CAUCES NATURALES CON INTERCEPCIÓN EN AGRIETAMIENTOS EN LA SUPERFICIE

Reyes Cedeño Isaí Gerardo[1], Hernández Marín Martín[1], Pacheco Martínez Jesús[1] y Pacheco Guerrero Anuard Isaac[2]
[1]*Universidad Autónoma de Aguascalientes*
[2]*Universidad Autónoma de Zacatecas*
ing_isaireyes@hotmail.com

El transporte de contaminantes con potencial afectación a los sistemas hidrológicos, como corrientes superficiales y acuíferos, es un problema que ha tomado importancia en los últimos años en nuestro país, derivado principalmente a las actividades antropogénicas, como el aumento de población, industria, agricultura y ganadería. Algunos fenómenos, que se pueden observar a simple vista, alertan continuamente del deterioro provocado por el uso inadecuado de los recursos naturales, aunque hay otros en los que se necesita una investigación más detallada para detectarlos. Lo que es un hecho, en cualquiera de los casos, los efectos negativos por contaminación en los sistemas hidrológicos se deben en principal medida por procesos de urbanización. En este trabajo, se llevó a una caracterización hidrogeológica de un cauce natural característico del Valle de Aguascalientes utilizando una metodología por bloques. Se procesaron registros de gastos de aforo de más de 50 años, obteniendo flujos base de caudal diario en épocas de sequía y temporada de lluvias. En la campaña hidráulica se identificaron zonas de retención generadas por la topografía y la acumulación de sedimentos asociada a temporada de avenidas, además cotejando con ubicación fallas y grietas, se identificaron puntos de intersección con agrietamientos en la superficie, en el cual se encontraron áreas de conectividad hacia la zona vadosa en una caracterización física del suelo utilizando un dispositivo experimental para evaluar tiempos de infiltración con muestreos de suelo en sitio, además de la interpretación de perfiles mediante sondeos eléctricos verticales. Los resultados se representaron a través de un modelo digital en el que se puede observar a detalle la litología y el análisis de la conectividad vertical de un cauce natural con el sistema acuífero hasta la zona vadosa, además, en márgenes de cauces naturales se observa el aumento en tiempos de infiltración con las intersecciones con agrietamientos en la superficie. La información recopilada, es suficiente para detectar zonas potenciales, sin embargo, se calibrará el modelo hidrológico considerando las perdidas por infiltración en zonas subsuperficiales.

GGA-6

## ZONA DE TRANSFERENCIA EN FALLAS INDUCIDAS POR HUNDIMIENTOS: EL CASO DEL VALLE DE AGUASCALIENTES, MÉXICO

González-Cervantes Norma[1], Luna-Villavicencio Hugo[1], Aranda Gómez José Jorge[2], Acuña-Lara Fernando[1], Hernández-Marín Martín[1] y Pacheco-Martínez Jesús[1]
[1]*Universidad Autónoma de Aguascalientes*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
norma.gonzalez@edu.uaa.mx

El graben de Aguascalientes está ubicado en la parte central de México en una región semiárida, densamente poblada e industrializada. La estructura tiene un rumbo ~NS y se formó durante el Oligoceno. La ciudad de Aguascalientes (con una población de 1.300.000 en 2015) está ubicada cerca del extremo meridional del graben y es el sitio donde se reportaron las primeras fallas antropogénicas en la década de 1980. El hundimiento causado por una severa sobre-explotación del acuífero contenido en graben es evidenciado por fallas asísmicas activas. La distribución de fallas antropogénicas ahora se extiende a lo largo de dos tercios de la longitud del graben (> 60 km), afectando también a zonas rurales e industriales cercanas a la ciudad. La ciudad de Aguascalientes se ha visto afectada por numerosas fallas normales relacionadas con subsidencia. En la zona urbana se conocen ~65 estructuras con una longitud total acumulada del orden de 82 km. Existe evidencia de que la falla normal que limita al borde oriental del graben ha sido reactivada por subsidencia dentro del área metropolitana. Los primeros resultados derivados de las observaciones de campo y el análisis de los perfiles de resistividad eléctrica sugieren que la falla es una estructura segmentada y muestra cambios de rumbo significativos cerca de una zona de transferencia entre dos segmentos vecinos. La dirección de la falla en la zona de transferencia varía de N37E a N27W y su ángulo de inmersión es casi vertical, pero en la mayoría de los lugares, los bloques de techo se ubican del lado occidental. Los desplazamientos verticales recientes acumulados en esta porción de la falla varían de 0,4 a 1,5 metros, aunque hay porciones donde el desplazamiento es imperceptible. Además, las aberturas de falla, asociadas a desplazamientos horizontales aparentes varían entre 0,6 a 1,26 metros, aunque algunos segmentos presentan cero desplazamientos horizontales. El hundimiento asísmico (~ 3 cm/año) en el área ahora ocupada por una rampa de relevo puede favorecer en el futuro la formación de un conjunto complejo de fallas y fracturas secundarias que eventualmente pueden conectar un segmento con el otro. Si esto sucede, esta parte de la estructura producirá: 1) un área donde el daño de la falla será más amplio y 2) un volumen de roca con una permeabilidad secundaria mejorada que puede favorecer la infiltración de fluidos y producir una contaminación significativa en el acuífero. Las zonas de transferencia entre segmentos de falla se consideran áreas de alto riesgo, tanto en términos de: 1) daños a edificios y otra infraestructura civil en el área, y 2) recarga donde los contaminantes pueden causar contaminación en el acuífero.

GGA-7

## CONCENTRACIONES DE EPT Y COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE PB EN PRODUCTOS COMESTIBLES REGIONALES MÁS CONSUMIDOS EN SONORA: UN ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE ASENTAMIENTOS CON MARCADAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS

Romo-Morales Diana[1], Del Rio-Salas Rafael[2], Moreno-Rodríguez Verónica[3], López-Teros Verónica[1], Molina-Freaner Francisco[2] y Espinoza-Maldonado Inocente Guadalupe[1]
[1]*Universidad de Sonora*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[3]*Universidad Estatal de Sonora*
dianarm2095@gmail.com

Los elementos potencialmente tóxicos (EPT) llegan a los organismos mediante diferentes rutas de exposición, donde la ingesta es una de las más efectivas. La cuenca del río Sonora, localizada al noroeste de México, es una zona de interés económico-ambiental que contiene zonas mineralizadas con minería activa e histórica, y donde se desarrolla agricultura y ganadería. Se plantea trazar la fuente de Pb y EPT contenidos en productos comestibles regionales más consumidos de Sonora como carne de res (chorizo, machaca, hígado, pulpa) y chile colorado obtenidos en pueblos representativos del río Sonora, para determinar las contribuciones de fuentes antropogénicas y geogénicas. Tomando como referencia los valores máximos permisibles establecidos por organizaciones internacionales, se encontró que las concentraciones de Cd en muestra de chorizo de Baviácora excede el valor recomendado (0.05 mg/kg) por la Unión Europea (UE). Para el caso del Pb, las muestras de carne de res de San Felipe de Jesús, Baviácora, Ures y Aconchi (a excepción de la carne machaca), superaron los valores máximos establecidos por la FAO/WHO y la UE (0.1 mg/kg). En cuanto al contenido de Cd en muestras de hígado, solo la muestra de Aconchi sobrepasa el valor establecido por la UE (0.5 mg/kg). Por otra parte, las muestras de hígado de Aconchi y Ures sobrepasan el valor permitido de Pb por la FAO/WHO (0.2 mg/kg), mientras que la muestra de Aconchi es la única que sobrepasa el contenido de Pb establecido por la UE (0.5 mg/kg). Para el caso de las muestras de chile colorado colectadas de San Felipe de Jesús y La Estancia, estas sobrepasan el valor máximo permisible de Pb establecido por la FAO/WHO (0.05 mg/kg). Las muestras de hígado de Ures y Aconchi exceden el valor de Cu de la corteza continental (CC), mientras que la muestra de hígado de Aconchi sobrepasa el valor de Cd de la CC (0.09 ppm). Las razones 208Pb/204Pb y 206Pb/204Pb indican que la muestra de pulpa de res de Aconchi presenta una composición isotópica de Pb similar a la del polvo de calles de Aconchi. La muestra de carne molida de San Felipe de Jesús tiene una composición similar a la de los jales mineros históricos de esa zona, al polvo de calle de San Felipe de Jesús y Huépac, así como la muestra de chorizo de San Felipe de Jesús tiene una firma isotópica de Pb similar a la de los sedimentos del río Sonora a la latitud de dicho pueblo. Las razones isotópicas 207Pb/204Pb y 206Pb/204Pb mostraron una similitud entre la muestra de chorizo de Ures y el polvo de calle de Aconchi. Las concentraciones de EPT en los productos comestibles pueden asociarse a zonas mineralizadas que en su mayoría corresponden a sistemas skarn y pórfidos de Cu. Los datos sugieren la influencia antropogénica (jales mineros históricos) en ciertos productos comestibles, mientras que otras muestras tienen influencia de fuentes naturales o antropogénicas desconocidas.

Sesión regular

# GEOMAGNETISMO Y PALEOMAGNETISMO

Organizadores:

Ana Caccavari
Fredy Rubén Cejudo Ruiz
Miguel Angel Cervantes Solano
Alejandro Rodríguez Trejo

GEOPAL-1

## POSIBLE EXCURSIÓN GEOMAGNÉTICA DENTRO DEL CRON DE GILBERT REGISTRADA EN ROCAS VOLCÁNICAS ASOCIADAS AL RIFT TEPÍC-ZACOALCO

Rodríguez Tokutaira Norberto[1], Cervantes-Solano Miguel Ángel[2], Gogichaishvili Avto[3], García Ruiz Rafael[3], Cejudo Ruiz Rubén[3], Rosas Elguera José[4] y Morales Contreras Juan Julio[3]
[1]*Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México, ENES Morelia*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[4]*Centro Universitario de los Valles, Universidad de Guadalajara*
norbertotokutaira@gmail.com

En el presente trabajo se presentan los resultados de un estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas realizado en nueve unidades ígneas provenientes de formaciones volcánicas asociadas al Rift Tepic-Zacoalco con edades radiométricas entre 1 y 5 Ma. Los experimentos de magnetismo de rocas muestran que, en la mayoría de los casos, el mineral portador de la remanencia magnética es titanomagnetita con contenido variable de titanio. Después de realizar tratamientos magnéticos fue posible determinar las direcciones paleomagnéticas para seis de los sitios. Posteriormente y con la finalidad de estudiar a detalle las variaciones del campo geomagnético registrado en esa misma región, se incluyeron datos previamente publicados para los últimos 5 Ma. Después de aplicar criterios de selección en total se consideraron 31 determinaciones independientes provenientes de igual número de sitios todos con edades radiométricas conocidas. De estos sitios siete presentan polaridad normal, nueve polaridad invertida bien definida y siete sitios más tienen polaridades consideradas como intermedias (ángulo de corte 45°). La dirección promedio es Dec. = 350.3°, Inc = 30.9°, N = 16, #95 = 9.1°, con un polo geomagnético virtual de VGPLat = 79.9° N, VGPLong = 144.3° E, A95 = 9.5°. Al comparar esta posición del polo con la esperada a partir de los modelos sintéticos de deriva polar correspondientes según la edad y región, así como con los polos obtenidos en trabajos previos, se observa que, dentro de las incertidumbres, esta se ajusta bien por lo que no parece haber evidencia de movimientos tectónicos significativos desde el emplazamiento. De acuerdo con las edades radiométricas disponibles, también fue posible establecer una correlación con la escala de polaridades geomagnéticas para los últimos 5Ma encontrándose un posible registro de una excursión Geomagnética dentro del Cron de Gilbert.

GEOPAL-2

## POLARIDAD GEOMAGNÉNICA INVERTIDA REGISTRADA EN FLUJOS DE LAVA DEL SUR DE CÁUCASO, GEORGIA

Cervantes-Solano Miguel Ángel[1], Gogichaishvili Avto[2], Sebastián Reyes José Daniel[3], Calvo Rathert Manuel[4], Vashakidzed Goga[5], Sologashvili Jemal[5] y Morales Contreras Juan Julio[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México, ENES Morelia*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Geociencias y Planificación del Territorio, UMSNH*
[4]*Universidad de Burgos*
[5]*Tbilisi State University*
miguel_cervantes@enesmorelia.unam.mx

En el presente trabajo se muestran los resultados de un estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas realizados en muestras de rocas provenientes de 22 flujos de lava de una secuencia Pliocénica localizada en el Cáucaso Menor en Georgia. Los experimentos de magnetismo de las rocas sugieren que las titanomagnetitas con contenido variable de titanio son los minerales responsables de la remanencia magnética presente en las muestras estudiadas. Los tratamientos paleomagnéticos permitieron identificar las componentes direccionales en 21 flujos observándose que todos ellos tienen una polaridad geomagnética inversa bien definida. La dirección media calculada para la secuencia completa tiene una declinación D = 189.5° y una inclinación I = -56.1° (N = 21; #95 = 2.3°; k = 187) la cual corresponde a una posición del polo geomagnético virtual de: VGPlat= 81.2° N y VGPlong= 163.2° E con una dispersión de A95 = 7.8°. Al comparar esta posición del con las posiciones esperadas según las curvas de deriva polar aparente correspondientes para la misma edad y región, se observa que existe una diferencia angular menor a 6° la cual se encuentra dentro de lo esperado según las incertidumbres, por lo que se considera que las rocas estudiadas registraron el comportamiento real del campo geomagnético al momento de su formación y se descartan movimientos tectónicos significativos durante ese tiempo. El registro de polaridad geomagnética invertida bien definida en todos los flujos y la baja dispersión angular que presentan las direcciones paleomagnéticas sugieren que el emplazamiento fue muy rápido y previo al inicio de la transición hacia el Crón de polaridad magnética normal conocido como Olduvai.

GEOPAL-3

## CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MAGNÉTICAS DE ROCAS DEL MAGMATISMO INTRAPLACA PLIO-CUATERNARIO ENTRE LOS CAMPOS VOLCÁNICOS: MOCTEZUMA, CAMARGO Y LAS ESPERANZAS-OCAMPO, NORTE DE MÉXICO

León Figueroa Leonardo de Santiago[1], Alva Valdivia Luis Manuel[2], Paz Moreno Francisco Abraham[3] y Vidal Solano Jesús Roberto[3]
[1]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[2]*Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Sonora*
leoleonfiguer@gmail.com

Se presenta la caracterización magnética de rocas y óxidos minerales del magmatismo intraplaca plio-cuaternario de la región norte de México en los estados de Sonora, Chihuahua y Coahuila. Se colectaron en total 344 muestras en los campos volcánicos: 126 muestras de 15 sitios, Moctezuma; 106 muestras de 11 sitios, Camargo; 51 muestras de 5 sitios, Las Esperanzas; y 61 muestras de 6 sitios en Ocampo. Se midieron propiedades magnéticas dependientes de campo magnético: ciclo de histéresis (diagramas de Day y Néel), curvas IRM (análisis UnMix) y FORC. Paralelamente, se hicieron mediciones dependientes de la temperatura: susceptibilidad magnética. Los resultados de propiedades magnéticas sugieren tipo y contenido de óxidos magnéticos, tamaño y tipo de domino magnético, los cuales corresponden con las observaciones microscópicas realizadas bajo luz reflejada en superficies pulidas. Los resultados globales indican principalmente que los minerales portadores de la magnetización son titanomagnetitas pobres en Ti (Moctezuma y Camargo), con ligeras diferencias en los campos volcánicos de Coahuila (Las Esperanzas y Ocampo) con predominio de magnetita y hematita. En particular, los ciclos de histéresis muestran un aporte de minerales de baja coercitividad y diagramas de Day y Néel, sugiriendo un dominio mezclado de simple y múltiple en los cuatro campos volcánicos. Los diagramas de FORC muestran una distribución de dominios magnéticos muy similar a los inferidos de las gráficas de Day y Néel. Los resultados del proceso de UnMix muestran las contribuciones de minerales con coercitividad particular. Por último, las curvas termomagnéticas indican, por un lado, una predominancia de minerales paramagnéticos en los campos de Moctezuma y Camargo, con aporte de una mineralogía similar y una ligera variación en la temperatura de Curie; por otro lado, los campos volcánicos de Ocampo y Las Esperanzas resultan con una mineralogía similar entre ellos. Los resultados anteriores entre los cuatro campos volcánicos, al igual que los reportados por los estudios petrológicos, aunque muestran diferencias, guardan una relación que, debido a su composición mineralógica y edad, podrían ser consecuencia del mismo mecanismo generador del magmatismo intraplaca en la zona norte de México, bajo una aparición y una evolución petrogenética independiente, ocasionada por el sistema extensivo dentro de la placa continental Norteamericana.

GEOPAL-4

## REVISIÓN DE DATOS PALEOMAGNÉTICOS DE FLUJOS DE LAVA ASOCIADOS AL CAMPO VOLCÁNICO MICHOACÁN GUANAJUATO: IMPLICACIONES SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE DURANTE EL PLIO-CUATERNARIO

Díaz-Ortega Ulises, García-Ruiz Rafael, Cervantes-Solano Miguel Ángel, Gogichaishvili Avto, Maciel-Peña Rafael, Morales Juan y Cejudo Rubén
*Instituto de Geofísica, UNAM*
ulisesdem1@gmail.com

La disponibilidad de edades radiométricas para el Campo Volcánico Michoacán Guanajuato permite obtener un registro detallado de las variaciones del campo magnético de la Tierra durante los últimos 5Ma. En el presente trabajo, analizamos 112 direcciones paleomagnéticas confiables respaldadas por igual número de edades radiométricas absolutas. Luego de descartar las polaridades geomagnéticas transicionales siguiendo el criterio de paleolatitudes menores a 45°, se calcularon las direcciones paleomagnéticas medias globales. En términos generales, se observa que la dirección media concuerda, dentro del intervalo de incertidumbres, con las direcciones paleomagnéticas esperadas obtenidas según los polos de referencia Plioceno-Cuaternario. La tasa de variación secular, estimada a través de la dispersión de los polos geomagnéticos virtuales calculados, y la anomalía de inclinación coinciden con los modelos de distribución latitudinal reportados para la latitud de 20°N. Un hallazgo interesante, resultado de esta compilación de direcciones paleomagnéticas, es la posible evidencia de eventos geomagnéticos relativamente cortos o excursiones dentro de los Crones de Matuyama y Brunhes, los cuales pueden ayudar a refinar la escala de tiempo de inestabilidad geomagnética. Además, se presenta una compilación inédita y una descripción minuciosa de más de 1000 aparatos volcánicos realizada por el Dr. Víctor Hugo Garduño Monroy que, sin duda alguna, servirá como una guía para los estudios paleomagnéticos durante las siguientes décadas.

GEOPAL-5

## CARACTERIZACIÓN MAGNÉTICA DEL COMPLEJO ULTRAMÁFICO-MÁFICO DE SAN JUAN DE OTATES, GUANAJUATO

Ramírez-García Sandra B.[1], Alva Valdivia Luis Manuel[1], Colás Vanessa[1] y Vidal-Solano J. Roberto[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Universidad de Sonora*
berenice_48@ciencias.unam.mx

La formación de magnetita en serpentinitas se asocia con el grado de serpentinización en rocas ultramáficas, por lo tanto, el origen y distribución de la magnetita determina la variación de las propiedades magnéticas en serpentinitas. En este trabajo se analizaron rocas ultramáficas, peridotitas y piroxenitas, y máficas, gabros, pertenecientes al Complejo Ultramáfico-Máfico de San Juan de Otates, Gto., que presentan distintos grados de serpentinización. La caracterización magnética de las rocas consistió en el análisis de las propiedades magnéticas, curvas de histéresis y la medición de la anisotropía de susceptibilidad magnética. A partir de los resultados obtenidos se logró caracterizar las diferencias magnéticas entre las rocas ultramáficas serpentinizadas y el contenido de magnetita, siendo las dunitas las que presentan mayor susceptibilidad magnética seguido por las wehrlitas y, en menor proporción, las piroxenitas. En cambio, las rocas máficas asociadas muestran valores relativamente bajos de susceptibilidad y magnetización. Esta relación destaca la posibilidad de reconocer una relación entre la roca original y el contenido de magnetita presente una vez que se da el proceso de hidratación. Además, se pudo reconocer dos etapas de formación de magnetita asociadas a distintos procesos geológicos y, la posterior oxidación de las fases metálicas. Por otra parte, el tamaño de los granos magnéticos está muy influenciado por el grado de serpentinización en la roca, de forma que a mayor grado de serpentinización el tamaño de grano magnético aumenta. Los resultados obtenidos permiten concluir que la formación de magnetita en serpentinitas depende de diversos factores, entre los que destacan el protolito, el ambiente tectónico y el grado de serpentinización.

GEOPAL-6

## TEMPERATURA DE EMPLAZAMIENTO DE BLOQUES INCLUIDOS EN LOS ANILLOS DE TOBA DE LOS CRÁTERES: CERRO COLORADO, EL ELEGANTE Y CELAYA, CAMPO VOLCÁNICO EL PINACATE, SONORA: EVOLUCIÓN VOLCANOLÓGICA

Jaramillo Flores Andrea[1], Alva Valdivia Luis Manuel[2], Vidal Solano Jesús Roberto[3] y Perrin Mireille[4]
[1]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[2]*Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Sonora*
[4]*Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, INRA, Coll France, CEREGE, Aix-en-Provence, Francia*
andyjf397@gmail.com

Se presenta un estudio paleomagnético y caracterización de rocas y de óxidos minerales de 3 anillos de toba del Campo Volcánico El Pinacate (CVP), localizado al NW de Sonora, formados durante el Cuaternario Tardío debido a varios eventos freatomagmáticos: El cráter Celaya localizado en la porción N-NE del CVP; el cráter EL Elegante ubicado en la porción centro-Este del CVP; y Cerro Colorado, localizado hacia el E-NE del CVP. El estudio consistió en realizar análisis que dependen del campo magnético (Ciclos de histéresis [Diagramas de Day y de Néel, UnMix], y FORC), y un solo análisis que depende de la temperatura (curvas K-T), con un total de 119 núcleos, de los cuales 50 pertenecen a Cerro Colorado, 31 al cráter Celaya y 38 al cráter El Elegante. Los resultados de dichos análisis indican la presencia de titanomagnetita y titanomaghemita como principales minerales magnéticos tanto para los cráteres Celaya y El Elegante, mientras que para Cerro Colorado también se agrega la titanohematita como mineral principal. El tratamiento térmico de desmagnetización tomado en intervalos de 20°C arroja temperaturas de emplazamiento entre 340°C-380°C para el cráter Celaya, entre 280°C-340°C para El Elegante y 280°C-370°C para Cerro Colorado, datos con los que se obtiene la inclinación y la declinación del campo magnético al momento de la formación del anillo de toba, con lo que podemos estimar la edad del volcán a partir de la variación secular del campo geomagnético.

GEOPAL-7

## ESTACIONES GEOMAGNÉTICAS DE REPETICIÓN EN MÉXICO, Y VARIACIÓN SECULAR DURANTE LOS ÚLTIMOS DOS SIGLOS

Hernández-Quintero Juan Esteban, Gogichaishvili Avto, García Rafael, Cejudo Rubén, Cifuentes Nava Gerardo y Caccavari-Garza Ana
*Instituto de Geofísica, UNAM*
estebanh@geofisica.unam.mx

Se presenta un análisis de la variación secular del campo geomagnético reciente en sus componentes direccionales y de intensidad. Usualmente este tipo de análisis se basa en datos disponibles de observatorios magnéticos durante los últimos cuatro siglos en el caso específico de Europa, sin embargo, el estudio en el resto del planeta se basa en acervos de datos de menos de 100 años de antigüedad. Las Estaciones Geomagnéticas de Repetición son una fuente invaluable de datos complementarios que permite extender los registros disponibles para la modelación de campo en áreas de pobre cobertura. En este trabajo se analiza una base de datos a partir de 32 estaciones de repetición realizadas en el territorio mexicano, que proveen 257 valores de declinación magnética, 239 de inclinación, 236 de componente horizontal, y 233 de intensidad total. Se utilizó el método de Arbol de Agrupación Aglomerativa Jerárquica (agglomerative hierarchical grouping tree) en combinación con métricas de Chebyshev para minimizar los errores, así como un ejercicio de relocalización de los mismos. Los resultados de esta metodología se consolidaron con Splines Cúbicos Penalizados para construir la curva de variación secular que muestra tendencias bastante similares con los datos de modelos globales para la mayor parte del intervalo de tiempo analizado. En los resultados, hay evidencias de posibles jerks geomagnéticos para los años 1958, 1969 y 1978 que se pueden correlacionar con aquellos reportados por observatorios como Chambon la Forêt en Francia y Tucson en los Estados Unidos.

GEOPAL-8

## INSTALACIÓN Y OBSERVACIÓN DE UNA ESTACIÓN MAGNÉTICA VECTORIAL DURANTE EL ENJAMBRE DE SISMOS EN MICHOACÁN 2020

Carrillo-Vargas Armando, Cifuentes Nava Gerardo, Hernández Quintero Juan Esteban, Caccavari-Garza Ana, Sandoval-Quintana Osiris y Artzate-Flores Jorge
*Universidad Nacional Autónoma de México*
armando@igeofisica.unam.mx

Se presenta la instalación y los resultados de un análisis estadístico-espectral del magnetómetro vectorial LEMI-417 durante la crisis del enjambre de sismos en la zona del Tancítaro, Michoacán, para febrero del 2020. El sitio seleccionado por las facilidades brindadas por los habitantes del lugar fue la localidad de La Escondida (13Q, 788847.00E, 2154162.00N), donde se llevaron a cabo estudios de gradiente magnetométrico y de orientación geomagnética, requisito indispensable para seleccionar el sitio adecuado de emplazamiento de los sensores geomagnéticos y eléctricos del LEMI-417. Se le doto a la estación de energía a través de un panel solar y el control de tiempo de medición a través de un GPS. Las componentes principales del campo geomagnético (Bx, By, Bz) fueron observadas a razón de 10 muestras por segundo (10 [Hz]) e integradas a rangos de 1 y 60 [s] para su posterior análisis. De la misma forma se usaron los datos del Observatorio Geomagnético de Teoloyucan (TEO código IAGA), de sus magnetómetros vectoriales (Bh, Bd, Bz) para poder comparar los eventos registrados en ambos sitios y discriminar actividad geomagnética de la de diferente origen. Debido a que la instalación se llevó a cabo hacia el final del fenómeno (18 de febrero), solo se pudieron analizar los eventos 49 y 50 reportados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) con magnitud mayor o igual a 4.0, incluidos en el Reporte Especial de la Secuencia Sísmica de enero-marzo del 2020, para este fenómeno inusual. Los resultados analizados, en segmentos de un día y hasta de menos de 60 [min], anteriores a ambos eventos, muestran la existencia de rangos de frecuencia en el orden de [mHz] (20 a 434 [s]), que aparentemente no parecen pertenecer a actividad geomagnética, pero cuya asociación podría hacerse a la actividad sísmica.

GEOPAL-9 CARTEL

## PALEOMAGNETISMO EN LA DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EMPLAZAMIENTO DEL CRÁTER ATEXCAC, PUEBLA, MÉXICO

González Rangel Jose Antonio[1], Alva Valdivia Luis Manuel[1] y Mahgoub Ahmed Nasser[2]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Geomagnetismus, Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum – GFZ*
antoniog@geofisica.unam.mx

El Volcán Atexcac es un cráter de explosión localizado en la parte central de la cuenca Serdán-Oriental, porción este de la Faja Volcánica Transmexicana. Esta cuenca está compuesta por varias estructuras volcánicas, conos cineríticos basálticos, domos riolíticos y cerca de una docena de volcanes maars de composición basáltica a riolítica. El cráter de Atexcac tiene una forma elíptica con diámetros entre 1150 y 850 m, siendo la dimensión más grande en la dirección ENE. Fue formado durante explosiones freatomagmáticas, que revelan fluctuaciones fuertes debidas a la disponibilidad de agua externa, migración temporal de los focos de explosión e inyección periódica de magma (Carrasco-Núñez et al., 2007). El vulcanismo maar más joven dentro de la cuenca tiene una edad entre 50 a <20 ky. Se obtuvieron 30 núcleos orientados, colectados de bloques de roca embebidos en la matriz de la toba expuesta. Se obtuvieron las diferentes fases magnéticas con las curvas de susceptibilidad magnética vs. baja y alta temperatura, principalmente titanomagnetita pobre en Ti, y titanomaghemita. Los resultados de los ciclos de histéresis y la saturación de la magnetización remanente isotermal en conjunto con las curvas k-T soportan las inferencias de magnetita y maghemita como minerales responsables de la magnetización. Se desmagnetizaron todos los especímenes utilizando el tratamiento térmico con intervalos de temperatura cortos (cada 20°C) para identificar con mayor presición la temperatura de emplazamiento. La dirección

media de esta temperatura se utilizó para determinar el tiempo en que sucedió dicho evento volcánico, esto es el momento de la explosión o formación del cráter.

Sesión regular

# GEOQUÍMICA Y PETROLOGÍA

Organizador:
Efraín Gómez Arias

GEOQP-1

## ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS DEPÓSITOS SUPERFICIALES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Aceves Zayas Dafne Gabriela[1], Torrescano-Valle Nuria[1] y Debajyati Roy Priyadarsi[2]
[1]*El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
dafne.aceves.zayas@gmail.com

Hasta el día de hoy, se ha descrito en términos de geoquímica únicamente un aproximado del 25% de la superficie terrestre. Europa, China, Estados Unidos y Australia han sido los líderes en caracterización geoquímica del territorio. En México, se han llevado a cabo múltiples mapeos de diferentes temáticas sociales, geográficas, económicas y ambientales, sin embargo, no se ha concretado la publicación del Atlas Geoquímico Nacional, por lo que este tipo de información se encuentra limitada a pequeñas extensiones del territorio descrito por proyectos locales. En consiguiente, existe una brecha de información con respecto a la geoquímica superficial del sureste mexicano y es esta necesidad la que motiva la presente investigación. El objetivo fue describir la distribución elemental en los depósitos superficiales de la Península de Yucatán, con la finalidad de explorar el contexto geoquímico regional e identificar patrones de distribución. Para esto, se empleó un método de muestreo sistemático (de rejilla): el área de estudio fue dividida en celdas de 40 por 40 km y por cada una se tomó una muestra de material en los primeros 5 a 15 cm de suelo. Posteriormente, las muestras fueron secadas, molidas y analizadas mediante un equipo de fluorescencia de rayos-X (FRX). Finalmente, se aplicaron métodos de interpolación geoestadística y validación cruzada para la creación de mapas de distribución, a través del software ArcGis. Como resultado se obtuvo la recolección de 119 muestras, que representan 110 celdas de 1,600 m2. Se crearon 13 mapas de distribución algunos elementos mayores y menores: titanio (Ti), calcio (Ca), potasio (k), hierro (Fe), manganeso (Mn), estroncio (Sr), cromo (Cr), cobre (Cu), rubidio (Rb), plomo (Pb), circonio (Zr), cinc (Zn) y Vanadio (V). Con estos mapas se espera haber aportado un nuevo marco de referencia para la formación de un conocimiento cada vez más específico sobre la geoquímica de los suelos cársticos y sus interacciones.

GEOQP-2

## INTERPRETACIÓN PALEOAMBIENTAL DE NIVELES SELECTOS DE LA CANTERA DE TLAYÚA (FORMACIÓN TLAYÚA; CRETÁCICO INFERIOR) A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE TIERRAS RARAS E ITRIO (REE+Y)

Juárez-Aguilar E. Aldrin[1], Sánchez-Beristain Francisco[2] y Bernal Juan Pablo[3]
[1]*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*
[2]*Museo de Paleontología, Facultad de Ciencias, UNAM*
[3]*Centro de Geociencias, UNAM*
aldrin.ugm2021@gmail.com

La Cantera de Tlayúa ha sido objeto de estudio desde principios de los años 80 del siglo pasado y derivado de esto, se han postulado diversos modelos paleoambientales para sus depósitos. Recientemente, se han realizado estudios de tierras raras e itrio (REE+Y) en el área de Tlayúa, con los cuales se ha reconocido cierto tipo de condiciones ambientales y, en parte, los resultados coinciden con algunas de las interpretaciones paleoambientales planteadas con anterioridad. Las muestras analizadas en este trabajo corresponden con regiones de la Cantera que exhiben nula o ligera contaminación de terrígenos. Las concentraciones de hierro y fosfatos también son bajas, lo que sugiere que las interpretaciones paleoambientales aquí vertidas son fidedignas. Se obtuvieron las siguientes características en patrones REE+Y de 16 niveles de la Cantera: enriquecimiento de LREE SN respecto de HREE SN ; anomalías positivas de LaSN, GdSN e YSN; anomalías negativas y positivas de CeSN ; valores Y/Ho supercondríticos y condríticos; y anomalías ligeramente positivas de EuSN. Lo anterior revela que las condiciones de depósito de los niveles analizados variaron significativamente, ya que existen evidencias de un ambiente marino somero-profundo de características oxidantes y lejos de la influencia de terrígenos. Asimismo, se identificaron características correspondientes al modelo paleoambiental de tipo lagunar con una influencia ocasional de agua dulce en el sitio de depósito. Por lo tanto, se sugiere que los depósitos de la Cantera de Tlayúa se dieron en un ambiente de condiciones muy cambiantes, en el cual no se excluye ninguna de las interpretaciones propuestas hasta la actualidad.

GEOQP-3

## ANÁLISIS DE TIERRAS RARAS E ITRIO (REE+Y) EN CONCHAS DE ANADARA BRASILIANA LAMARCK PROVENIENTES DE LA REGIÓN DE BARRA DE CAZONES, VERACRUZ, MÉXICO

Valdés-Vilchis Samantha[1], Sánchez-Beristain Francisco[2], Bernal Juan Pablo[3] y Juárez-Aguilar Edwin Aldrin[4]
[1]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[2]*Museo de Paleontología, Facultad de Ciencias, UNAM*
[3]*Centro de Geociencias, UNAM*
[4]*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*
samantha.valdes@ciencias.unam.mx

Se reportan los resultados del análisis de los elementos conocidos como tierras raras e itrio realizados en conchas del bivalvo Anadara brasiliana Lamarck, para las costas del Golfo de México, en el área de Barra de Cazones (Cazones de Herrera, Veracruz, México). Las concentraciones de estos elementos fueron analizadas a través de LA-ICP-MS (Espectrometría de Masas Inductivamente acoplada a Plasma, vía Ablación láser, por sus siglas en inglés). El láser se dirigió hacia la charnela, en virtud de la alta densidad de la aragonita en esta zona, lo que permite obtener concentraciones más confiables. Para la normalización externa se utilizó el estándar NIST 612, en tanto que se consideró el 40Ca como estándar interno. Posteriormente, las concentraciones obtenidas para cada elemento fueron normalizadas al estándar PAAS, con el fin de generar patrones REE+Y/PAAS, que pueden servir para determinar ciertas variables ambientales. Diferentes anomalías fueron obtenidas dentro de estos patrones, lo que refleja de manera general una procedencia marina del material. Se observan anomalías positivas de La e Y, atribuibles posiblemente al origen marino de las conchas, sin influencia de terrígenos. Asimismo, fue posible determinar una anomalía negativa de Ce, que refiere a las condiciones oxidantes de la cuenca marina. Adicionalmente, se observa una anomalía positiva de Gd, que puede ser atribuible a la actividad antropogénica en la región. Por último, una pronunciada anomalía positiva de Sm. Esta anomalía puede estar relacionada con la industria petrolera, ampliamente extendida en la región. Resultados similares han sido documentados en bivalvos de distintos sitios en Alemania.

GEOQP-4

## PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE AMBIENTES DE FORMACIÓN DE ROCAS DOLOMITA POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN MÉXICO

Muñoz Máximo Ignacio, Rubio Rosas Efraín, Agustin Serrano Ricardo y Sosa Arellano Gabriel
*Geociencias Aplicadas/ Dirección de Innovación y Transferencia del Conocimiento, BUAP*
imunozcp@gmail.com

En esta investigación a partir del estudio por Difracción de Rayos X, en rocas dolomitas colectadas en los estados de Puebla, Chiapas, Veracruz, Zacatecas, se propone una metodología para le determinación de ambientes de formación. Se platea que es posible presentar como una alternativa, el uso de la técnica de polvos por Difracción de Rayos X (DRX) a partir del cálculo de la no estequiometría de carbonatos, lo cual es posible a partir de la información contenida en los índices de Miller (i, j, k) y la intensidad de respuesta del patrón de difracción. Estos datos son sustituidos en las ecuaciones propuestas por Lumsden (1979) para determinar la no estequiometría de los carbonatos. Además, se han considerado los ambientes de formación propuestos por Geske (2014 y 2015). Las muestras han sido analizadas químicamente por la técnica de EDS, para obtener su composición química elemental, y después ser caracterizadas para la identificación de minerales por sus fases cristalinas por la técnica de difracción de Rayos X. La mayor cantidad de especímenes estudiados y colectados provienen del Estado de Puebla.

GEOQP-5

## CARACTERIZACIÓN POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X DE LOS DEPÓSITOS DE BARITA EN LA REGIÓN DE CHIAUTLA DE TAPIA, ESTADO DE PUEBLA

De La Cruz Hernández Emmanuel y Muñoz Máximo Ignacio
*Área de Geociencias Aplicadas, Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento, BUAP*
em97manuel@gmail.com

En el suroeste del estado de Puebla, en la región de Chiautla de Tapia, existen emplazamientos de distintos cuerpos minerales considerados hasta el momento de escaso valor económico debido a su baja concentración (e. g., Hierro, Cuarzo, Oro, Plata, Cobre, Plomo, Zinc). Sin embargo, existe actividad minera local (pequeña minería) que explota localmente vetas de Mármol, Cuarzo, y Barita. Asociado al intrusivo Granítico – Granodiorítico de Chiautla de Tapia, existen distalmente (entre 5 hasta 25 Km) distintas vetas de Barita. Siendo la más importante la denominada Barita de San Pedro, que tiene asociados óxidos de hierro (Hematita) en la parte superficial, así como erráticas manifestaciones de pirita y malaquita (de escala milimétrica). Debido a que en los últimos 10 años la explotación de Barita asociada con pequeña minería (regular e irregular) en el suroeste del estado de Puebla se ha incrementado, es crucial identificar los distintos elementos químicos asociados, ya que el trabajo artesanal realizado siendo a cielo abierto, tiene acumulaciones de

mineral en los patios de acopio, pero también del desperdicio de roca y minerales (jales) que no tienen interés económico. Estos últimos pueden ser un potencial generador de lixiviados que pueden activarse y viajar durante la época de lluvias. En esta investigación, con el propósito de prever futuros riesgos ambientales y a la salud humana en la región, se presentan los resultados preliminares de la caracterización por Fluorescencia de Rayos X de 25 especímenes de Barita con evidente presencia de otros minerales. Además, con el propósito de generar planes de manejo a corto mediano y largo plazo, sobre los potenciales efectos ambientales de los distintos frentes de Barita, y promover una minería sustentable en la región, en próximos prospectos mineros, se presenta una propuesta integral del manejo de estos frentes de mina en la región, según las subclasificaciones BaASCH1 (pequeños frentes con Barita) BaAsCH2 (frentes medios de barita con calcita y cuarzo) y BaCH3 (frentes de Barita con distintas asociaciones minerales).

GEOQP-6

## DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE EQUILIBRIO QUÍMICO FLUIDO-ROCA DEL YACIMIENTO GEOTÉRMICO CERRO PRIETO (CPI), MÉXICO, A PARTIR DE LA GEOTERMOMETRÍA DE SOLUTOS

Reyna Annely[1], Gómez Efraín[1], Tello Enrique[2], Pérez Marco[1] y Escofet Anamaría[1]
[1]*CICESE*
[2]*Geocónsul, S.A de C.V.*
annely@cicese.edu.mx

El estado de equilibrio químico de un yacimiento geotérmico se puede determinar analizando la interacción fluido-roca. La composición de los fluidos (vapor y agua geotérmica) cambia de acuerdo con la temperatura y el tiempo de interacción, resultando un cambio en la composición mineral de la roca (alteración mineral) del depósito. Para determinar la temperatura aproximada en el yacimiento geotérmico se implementó el uso de geotermómetros, los cuales son un método geoquímico desarrollados a través de ecuaciones analíticas basadas en la composición química del fluido y el estado de equilibrio químico que existe entre el fluido-roca. Por lo tanto, cuando las condiciones de equilibrio termodinámico-químico cambien, la temperatura estimada con geotermometría se verá afectada. En el presente trabajo, a partir de la geoquímica del fluido descargado de pozos del campo geotérmico Cerro Prieto se ha realizado un análisis termodinámico del estado de equilibrio fluido-roca. A partir del lenguaje de programación Fortran, se desarrolló un programa para obtener la actividad iónica y los coeficientes de actividad de los principales componentes iónicos disueltos en agua geotérmica: Na, K, Ca, Mg y SiO2 para determinar la termodinámica actual del estado de equilibrio del campo geotérmico Cerro Prieto. También se han desarrollado geotermómetros basados en las actividad iónicas y la relaciones de concentración de Na/K y SiO2. Este trabajo propone que con el desarrollo e implementación de geotermómetros basados en las características del campo geotérmico, se llevará a cabo un control y monitoreo más efectivo de la temperatura del yacimiento y con ello complementar estudios para identificar un posible aumento en años productivos del campo geotérmico.

GEOQP-7

## TIERRAS RARAS ALOJADAS EN ROCAS HIPERALCALINAS DEL COMPLEJO BASAL PROTEROZOICO EN LA REGIÓN DE NOCHIXTLÁN, ESTADO DE OAXACA

Carrillo Marrodan Lizbeth Guadalupe y Castro Mora Jesús
*Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*
ca319073@uaeh.edu.mx

La importancia de los elementos de las tierras raras (REE), por sus siglas en inglés, es cada vez mayor; su utilidad y relevancia como insumo básico en un gran número de aplicaciones industriales y de tecnología de vanguardia, no está en discusión. Los REE son un grupo de elementos considerados estratégicos y, debido a lo errático de su distribución en la Corteza Terrestre, que es menor a 0.1% del total de elementos químicos, sus concentraciones como yacimiento económico son muy restringidas. Actualmente México es deficitario en la producción de REE, de hecho, no existen reportados yacimientos de este tipo en el territorio nacional; no obstante, existen algunas localidades en el país con cierto "potencial" para albergar concentraciones de estos elementos con la posibilidad de ser evaluados. A nivel global, la época metalogénica de formación y concentración de este tipo de elementos en la Corteza Terrestre corresponde al Arqueano y, en algunos casos, a rocas de basamento Proterozoico; normalmente se asocian con depósitos de uranio y thorio; todos ellos restringidos al Precámbrico y, generalmente, a rocas cratónicas de basamento. Con lo anterior, resulta claro que, para el caso de México, las posibilidades de localizar zonas con cierto potencial de albergar concentraciones de REE se restringen a aquellas donde están expuestas rocas de basamento Proterozoico, como es el caso de Sonora, Chihuahua, Tamaulipas, Hidalgo y Oaxaca. La presente aportación es parte del trabajo de investigación enfocado a la obtención del grado de maestría en geología, para lo cual, entre las actividades en curso se encuentran la cartografía detallada de las rocas Precámbricas de la región de Nochixtlán, con énfasis en aquellas de naturaleza hiperalcalina; muestreo sistemático con el fin de analizar sus contenidos en REE, ligeras y pesadas, la petrología detallada, geoquímica de elementos mayores, así como la geoquímica isotópica para la obtención de la edad de dichas rocas. De existir contenidos económicos de REE en las rocas hiperalcalinas de la zona estudiada, se estaría en posibilidad de evaluar su potencial económico y con ello coadyuvar, al sector productivo, hacia la no dependencia en la adquisición de tales insumos. Plabaras clave: REE, Hiperalcalinas, Arqueano, Proterozoico, Oaxaca

GEOQP-8

## ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS FLUIDOS HIDROTERMALES LOCALIZADOS EN LA CALDERA EL AGUAJITO, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Zenteno Gonzalez Karina Montserrat[1], Gómez Arias Efraín[2], Inguaggiato Claudio[1], Escofet Anamaría[1], Flores Luna Carlos Francisco[1] y González Mario[1]
[1]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
[2]*CONACYT-CICESE*
zenteno@cicese.edu.mx

Actualmente México ocupa el sexto lugar a nivel mundial en la generación de energía eléctrica de origen geotérmico, contando con 4 campos geotérmicos operados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE): 1) Cerro Prieto, Baja California, 2) Los Azufres, Michoacán, 3) Los Humeros, Puebla, 4) Las Tres Vírgenes, Baja California Sur, así como un campo operado por la iniciativa privada Grupo Dragón conocido como Domo de San Pedro, Nayarit. En México, la energía geotérmica se usa casi enteramente para producir electricidad, representando en 2018 el 1.7% del total de la generación de energía eléctrica en el país. A pesar de existir al más de 3,000 manifestaciones termales identificadas en superficie, los usos directos de la energía geotérmica en el país siguen bajo desarrollo y hasta el momento se limitan a usos recreacionales. Es importante promover la importancia y potencial de la energía geotérmica en el país, así como apoyar los proyectos de exploración y aprovechamiento del potencial geotérmico. En la extensa literatura sobre la zona del campo geotérmico Las Tres Vírgenes (CGLTV) hasta el momento no existe un modelo que explique el origen de los fluidos hidrotermales presentes en la caldera El Aguajito. Este trabajo de investigación propone un modelo conceptual de la caldera El Aguajito a partir de la caracterización geoquímica e isotópica el origen y evolución de los fluidos hidrotermales Agua Agria y El Azufre, el cual se correlacionó con modelos geofísicos realizados y publicados del área de estudio. Caracterizar esta zona permitirá conocer de mejor manera su potencial geotérmico lo cual es vital en la planeación del desarrollo de cualquier zona geotérmica.

GEOQP-9 CARTEL

## CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LA FORMACIÓN CANTELHA DEL CRETÁCICO INFERIOR, EN EL ÁREA DE MALPASO A SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS, CHIAPAS

Acosta Hernández Jorge Alberto, Álvarez San Román Fernando y Cámara Beauregard Gelder Éneo
*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*
j.acostahernandez@hotmail.com

En los años 1929 y 1934 se realizaron los primeros trabajos en los que se estudian las rocas carbonatadas mesozoicas en la región, explorando la ocurrencia de estas en superficie en los anticlinales Cerro Nanchital, Cerro Pelón, Pedregal, Pasamonos y Río Solosuchil, y las estribaciones de la sierra cerca de los poblados de Teapa, Pichucalco y Tacotalpa. (M. J. Tchopp y L. W. Walpole). La Formación Cantelha se encuentra estratificada en capas de 0.5 a 1.0 metros de espesor, de apariencia laminar y porosidad visible, se distribuye en la Sierra de Chiapas y está caracterizada por la presencia de caliza dolomitizada, mudstone, wackestone, packstone, dolomías con pellets, deltoides, oolitas y trazas de bentonita. En este trabajo se presentan resultados de petrografía en láminas delgadas de rocas que se encuentran aflorando en la región, se encontraron una gran variedad de aloquímicos presentes con los cuales se pudieron determinar las implicaciones ambientales de conformación de estas rocas. De igual forma llevamos a cabo un estudio de Difracción de Rayos X (DRX), con los resultados obtenidos se pudo conceptualizar la evolución geológica de las rocas estudiadas que fueron seleccionadas para llevar a cabo esta técnica de caracterización.

GEOQP-10 CARTEL

## CONCENTRACIONES MINERALÓGICAS PRIMIGENIAS EN EL GRUPO LOS ALISOS, DEL SUPERGRUPO GUANAJUATO BASAL

Bazán Barrón Sergio y Bazán Perkins Sergio Dale
*Industria Minera Indio, S. A. de C. V., IMI*
bazanba@hotmail.com

Para interpretar la metalogénesis de la corteza primigenia, implica conocer la litoestratigrafía y tectónica del Gran Rift, tipo MORB de la Faja Estructural Cananeana (FEC), famoso por sus grandes y profundos yacimientos de cobre, molibdeno y tungsteno porfídico. Varias investigaciones bioquímicas recientes, otorgan gran valor científico más, para el origen del Gran Rift primigenio global,

al generar las primitivas bacterias del origen de la vida. La FEC comprende al Supergrupo Zihuatanejo (4150-2600 Ma) como la unidad más antigua de apertura y expansión oceánica en la corteza primigenia, al originar las plataformas y planicies costeras del Grupo Los Alisos, del Supergrupo Guanajuato (4600-4150 Ma). Esta faja representa un núcleo axial ultramáfico basal, generador del grupo Platino Ru, Rh, Pd, Os y Ir, como de los sulfuros de Fe, Ni, Co, Cr, Cu, Zn concentrados en las primitivas marinas. Postulamos que los grandes yacimientos de Co, Ni, Pt y Cr de Cuba y los de Sudbury, del Canadá, constituyen núcleos axiales enriquecidos del basamento de la Faja Estructural Cananeana. Esto es, que los sulfuros elementales Fe, Cu, Zn, Ni, Cr, Co, Au, Ag, Hf, Hg, Zr, Pt, Be, Ti, Nb y Tr; integraban parte de las estructuras cristalinas de micas, feldespatos y minerales ferromagnesianos, desprendidos por lixiviación de flujos de aguas ácidas de las primeras lluvias, para ser concentrados hacia Gran Rift global de la FEC. Por tanto, se considera que el Grupo Los Alisos suprayace sobre la corteza origen, derivado de la erosión-disolución de rocas primigenias, más antigua que la Provincia Nain de Labrador, de Minnesota River Valley, como de Godthaab y Isua-Amitsoq, Groenlandia. Por tanto, el estaño, tungsteno y los detríticos refractarios, se depositaron en el Grupo Los Alisos como placeres en abanicos aluviales y valles, mientras que elementos disueltos de Sulfuros de Mo, Re, V, F, U y Tr, precipitaban como salmueras en lagunas marginales con barrera. El tungsteno deriva de granitoides, gabros, diorítas y tonalítas, de la corteza primigenia, para depositarse diseminado en conglomerados de las zonas falladas de los riftings. Palabra clave: Gran Rift, MORB, Faja Estructural Cananeana, Sudbury, Grupo Los Alisos.

GEOQP-11 CARTEL

## ESTRATIGRAFÍA Y GEOQUÍMICA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO DE AHUALULCO, MESA CENTRAL, SAN LUIS POTOSÍ: AVANCES DE INVESTIGACIÓN

Latorre Correa Carolina[1], Dávila Harris Pablo[1] y Aguillón Robles Alfredo[2]
[1]*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
[2]*Instituto de Geología, UASLP*
carolina.latorre@ipicyt.edu.mx

El Complejo Volcánico de Ahualulco (CVA) constituye la porción NW del Campo Volcánico de San Luis Potosí (CVSLP), localizado en la región meridional de la Mesa Central. Está conformado por un conjunto de rocas volcánicas cenozoicas cuyo registro geológico inició en el Eoceno medio con el emplazamiento de volcanismo andesítico y finalizó en el Oligoceno durante un régimen tectónico extensivo. Ya en el Pleistoceno, ocurrió un evento de vulcanismo intraplaca con la efusión de basanitas al norte del área. Los resultados aquí mostrados hacen parte de los avances en el estudio de la estratigrafía, la geoquímica, petrografía y cartografía, con los cuales se busca delimitar el CVA y caracterizar las rocas que lo componen, para así establecer su petrogénesis. Con base en lo anterior, la estratigrafía general actualizada del CVA queda establecida, de la base a la cima, así: 1) lavas calcoalcalinas de la andesita Casita Blanca de ~45 Ma; 2) domos de la Dacita Jacavaquero, emplazados hace 31.6 Ma, seguidos de depósitos piroclásticos de la ignimbrita Membrillo, domos y lavas de composición dacita-riolítica de la Latita Portezuelo de 31 Ma; 3) vulcanismo bimodal de 31.2 Ma, representado por la Andesita Petronilas y la Ignimbrita Cortes; 4) la secuencia del grupo Ahualulco, que ocupa la mayor parte del territorio y empieza con la riodacita Zapatero de 31.2 Ma, a la que sigue el depósito de ignimbritas no soldadas de la toba Palos Colorados y la toba Hienera (datación en proceso), precedidas por sedimentos y depósitos freatomagmáticos, para finalizar con las autobrechas y lavas de la riolita Los Cuervos. Esta secuencia está asociada a domos riolíticos de ~30 Ma e incluye, además, un cuerpo hipoabisal, rico en xenolitos metamórficos, con apariencia pegmatítica conocido como intrusivo El Negro de ~29 Ma; 5) depósitos piroclásticos y toba soldada de la ignimbrita Panalillo con edades entre 28 y 27 Ma, finalizando la sucesión. Cabe destacar que casi todas las unidades del grupo Ahualulco, en mayor o menor proporción, contienen granate, un mineral petrogenético poco común en este tipo de rocas, pero que podría ser determinante para el futuro de esta investigación ya que su existencia requiere condiciones geodinámicas muy específicas. Se presentan resultados de química de elementos mayores y traza obtenidos a partir de análisis por fluorescencia de rayos X e ICP-MS, respectivamente, así como de la información consignada en la base de datos de trabajos previamente realizados en el área (publicados e inéditos). Dadas las características geoquímicas se ha planteado que el magma asociado a la formación de las rocas del CVA se generó a partir de fusión parcial de la base de la corteza y cristalización fraccionada, aunque estos modelos se revisarán a fondo con química mineral. Si bien se ha propuesto a los sistemas de fallas NW-SE como conductos de las lavas que dieron lugar a los domos de Jacavaquero, Portezuelo y Zapatero, aún prevalecen preguntas acerca de las fuentes eruptivas de las facies explosivas del CVA, al igual que de su génesis y evolución.

GEOQP-12 CARTEL

## VARIACIONES GEOQUÍMICAS EN TESTAS DE FORAMINÍFEROS PLANCTÓNICOS A ESCALA GLACIAL-INTERGLACIAL EN EL GOLFO DE MÉXICO: UN ESTUDIO PALEOCEANOGRÁFICO

Mora Rivera Astrid Jocelyn[1] y Arellano Torres Elsa[2]
[1]*Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*
[2]*Facultad de Ciencias, UNAM*
astrid_mori@ciencias.unam.mx

Con el objetivo de reconstruir las variaciones de temperatura superficial empleando testas de foraminíferos planctónicos en sedimentos marinos, se trabajó con el núcleo sedimentario marino EN32-18PC, localizado al este del golfo de México. Identificamos eventos a escala glacial-interglacial mediante el reconocimiento de Estadios Isotópicos Marinos (MIS) a partir del análisis de d18O. Asimismo, se reconstruyeron variaciones de d18O y la proporción de Mg/Ca como indicadores de paleo-temperatura superficial del mar. Como parte complementaria al reconocimiento de los MIS se utilizó la bioestratigrafía, la cual ha sido ampliamente estudiada en el golfo, y su importancia radica en identificar biozonas con especies índice. Por otro lado, la edad del núcleo se determinó a partir de la curva de d18O que se comparó con el "stack" bentonico de d18O y la bioestratigrafía regional. Se encontró que el núcleo abarca aproximadamente desde el MIS 9 y hasta el MIS 5e (337 a 123 ka). Además, se distinguieron dos biozonas, la zona V (3 subzonas) y la zona W (con una única subzona). Se encontró que durante el periodo glacial (condiciones frías) las masas de agua se encuentran mayormente mezcladas, mientras que en el escenario interglacial (condiciones cálidas) las masas de agua están estratificadas. Por último, se pretende contribuir al conocimiento de las variaciones geoquímicas para establecer conexiones dentro del sistema climático.

Sesión regular

# MODELACIÓN DE SISTEMAS GEOFÍSICOS

Organizador:
José Alfredo Ramos Leal

MSG-1

## MODELACIÓN DEL FLUJO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO VALLE DE CELAYA

Rubio Arellano Ana Beatriz[1], Ramos-Leal José Alfredo[1], Vázquez Báez Víctor Manuel[2] y Zapata Norberto Berenice[1]
[1]*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
[2]*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
ana.rubio@ipicyt.edu.mx

Se propone un modelo de simulación hidrodinámica para conocer el comportamiento del flujo subterráneo del acuífero Valle de Celaya, a través de MODFLOW 2005 y la interfaz gráfica ModelMuse. El acuífero se localiza en el extremo oriental del estado de Guanajuato y pertenece a la región Hidrológica RH No.12 (Lerma-Santiago). Los rasgos morfológicos de la zona de estudio sugieren la presencia de cerros con forma dómica y estructuras volcánicas, en términos generales el relieve presenta tres escenarios, desde planicies de relleno, y sierras de baja altitud, hasta estructuras volcánicas extensas y de baja pendiente. En el diseño del modelo se han considerado las pruebas de campo que incluyen levantamientos geológicos, prospección geofísica y medición del nivel piezométrico de la Comisión Estatal de Agua de Guanajuato (CEAG), esto con el fin de analizar y evaluar la relación estímulo-respuesta del sistema de agua y actualizar el modelo de este acuífero para la toma de decisiones con respecto a la gestión hídrica. El modelo propuesto reproduce, en condiciones transitorias, el funcionamiento del acuífero de la temporada de secas (marzo-mayo) desde 2015 a 2019 y la temporada de lluvias (junio-agosto) de 2010 a 2015, asimismo, se proyecta la simulación hasta el año 2030 para ambas temporadas. También se propusieron tres diferentes escenarios de simulación: tendencial, reducción de bombeo y aumento de bombeo. En esencia, el modelo simula adecuadamente las condiciones naturales del acuífero, y con ello se concluye que las extracciones masivas de agua por bombeo han provocado la sobre-explotación de este sistema, no obstante, es necesario seguir monitoreándolo para poder actualizar el modelo en función de la disponibilidad de datos y preservar este cuerpo de agua.

MSG-2

## INFLUENCIA DEL RELLENO SEDIMENTARIO LACUSTRE Y FLUVIOLACUSTRE EN LAS MANIFESTACIONES TERMALES DE RANCHO NUEVO, GUANAJUATO

García Hernández Oscar[1], Israde-Alcántara Isabel[2] y Espinoza Ojeda Orlando Miguel[2]
[1]*Instituto Politécnico Nacional, IPN*
[2]*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
oscarghdez85@gmail.con

Se realizó un reconocimiento geológico y la aplicación de técnicas geofísicas en Rancho Nuevo, dentro de la cuenca de Apaseo el Grande (Celaya), caracterizada por la presencia de geiseritas que aparecieron en el 2014 con temperaturas de 92° en superficie a 141°C a profundidad. Estratigráficamente dentro de la zona de horst y grabens se distinguen rellenos con depósitos fluviolacustres que coexisten con derrames de andesita y basalto con edades de 2.27 ± 0.27 Ma. Estos depósitos son cortados por grandes sistemas de fallas normales regionales (La del Bajío, la falla Taxco Querétaro y las fallas Ixtla) que interaccionan con fallas locales dentro de un campo de esfuerzos actual NO-SE, lo que permite el movimiento y ascenso de fluidos hidrotermales. Con el modelo de perspectiva 3D y la información geológica publicada, se generó un modelo conceptual de fracturamiento-fallamiento superficial y un modelo geotérmico donde se observa que los fluidos geotérmicos se propagan a través de las secuencias fluvio lacustres a lo largo del cruce de fallas, que favorecen el movimiento y ascenso de los fluidos hidrotermales.

MSG-3

## CONDUCTIVIDAD IÓNICA Y CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE SALMUERA DE NACL

González Alpha Alejandra, Muñoz Cinthya Mayte, Molina-Espinosa Lazaro y Aguilar-Madera Carlos Gilberto
*Universidad Autónoma de Nuevo León*
alpha.gonzaleztrs@uanl.edu.mx

En este trabajo se presentan los estudios documentales y experimentales para caracterizar eléctricamente salmuera de NaCl. Se abordan los principios de la conductividad iónica, la cual es importante en el funcionamiento de las baterías de ión-litio, hasta la fabricación de hidrógeno (energético del futuro). Se muestran las dificultadas para tratar de determinar la resistividad de la salmuera y se encontró que la salmuera presenta un comportamiento no óhmico debido al tipo de medición con corriente directa. Se continúa mejorando el diseño de experimentos para caracterizar la salmuera y se presentan los avances a la comunidad científica para el aporte de ideas y sugerencias.

MSG-4

## ATENUACIÓN DE ARTEFACTOS EN IMÁGENES OBTENIDAS POR MIGRACIÓN EN TIEMPO REVERSO DE DATOS DE GPR

Paniagua Juan, Pérez Sepulveda John Alexander y Guerra Tamayo Rubén Darío
*Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM*
juanpaniagua@itm.edu.co

En la exploración minera y en el sector de la construcción, existen diversas técnicas que permiten determinar las características y atributos sísmicos de las capas subsuperficiales. La correcta determinación de estas propiedades permite realizar una exploración y construcción responsable y eficiente que tiende a la sustentabilidad ambiental. Por ello, es importante utilizar técnicas no destructivas que permitan obtener señales que den cuenta de las discontinuidades del material en la capa somera, como el uso de las ondas electromagnéticas utilizando equipos de exploración como el radar de penetración terrestre (GPR), de forma que se minimicen los efectos nocivos y se maximicen los resultados. El método del radar de penetración terrestre (Ground Penetrating Radar - GPR) es una de las técnicas utilizadas en geofísica para determinar las características cercanas a la superficie de estructuras naturales y artificiales. Esta técnica se utiliza para definir las propiedades físicas de las rocas, como porosidad, permeabilidad a los fluidos, entre otras y estructuras geológicas complejas. En este trabajo, se aproxima numéricamente la solución de las ecuaciones rotacionales bidimensionales de Maxwell usando la migración en tiempo reverso (RTM) para obtener imágenes de datos de GPR utilizando modelos sintéticos. Los campos de onda de la fuente y del receptor se propagan directamente desde la superficie y la imagen es obtenida a través de la condición de imagen de correlación cruzada de cero retraso. Esta condición de imagen genera una cantidad significante de altas amplitudes y de ruidos de baja frecuencia espacial llamados artefactos, los cuales se producen debido a la superposición no deseada de ondas inmersas en ambos campos y que pueden afectar la interpretación de la imagen. Se muestran algunas características del filtrado Laguerre-Gauss en el posprocesamiento de imágenes migradas obtenidas usando RTM y el buen desempeño de este filtro en la mejora y resaltado de bordes y la reducción de artefactos de baja frecuencia espacial.

MSG-5

## PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE DATOS DE GPR Y OBTENCIÓN DE MODELOS EN PROFUNDIDAD DE ZONAS DE MINERALIZACIÓN DE ORO ALUVIAL Y SU VALIDACIÓN CON DATOS DE CAMPO. CASO DE ESTUDIO DEL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO, COLOMBIA

Marín Giraldo Natalia Andrea, Paniagua Castrillón Juan Guillermo, Bertaiola Franco, Duque Luis Fernando y Muñoz García Andrés Mauricio
*Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM*
marinnatalia10m@gmail.com

El Bajo Cauca antioqueño es una subregión al norte del departamento de Antioquia en Colombia. Caucasia, está situada al margen Oeste del río Cauca y es el eje de la actividad económica y el municipio de mayor densidad poblacional de dicha región. Uno de sus principales focos de desarrollo ha sido la minería, con un potencial tan alto que por varios años consecutivos se le concedió el título de la "región de mayor producción de oro en Colombia", pero al mismo tiempo la explotación de este mineral ha causado problemas ambientales críticos. La minería en esta región es predominantemente aluvial, con depósitos formados en ambientes típicos de un río trenzado caracterizado por barras conglomeráticas y canales en los que se concentra el mineral de interés. La explotación se hace a cielo abierto por parte de empresas pequeñas y medianas con escasa o nula infraestructura tecnológica, algunas operan de manera informal y emplean prácticas tradicionales que en muchos casos impactan negativamente el medio ambiente. Como un potencial aporte de la academia a esta problemática, usamos métodos geofísicos de superficie, estudios de la geología local y muestras de núcleo con el objetivo de diseñar una metodología validable para la identificación de ambientes de depositación y zonas de mineralización, que además, que esté al alcance de la pequeña y mediana minería, y que en el mediano plazo pueda ser involucrada al planeamiento minero y análisis geometalúrgicos para la posterior explotación de recursos minerales con responsabilidad medioambiental y social. Uno de los grandes retos a la hora de trabajar con datos geofísicos, es generar a partir de ellos modelos del subsuelo confiables, es decir, con parámetros cercanos a la realidad percibida a partir del trabajo en campo. Dentro de los parámetros de mayor interés, se encuentra la profundidad a la cual se ubica la anomalía geofísica relacionada con el objetivo de estudio, en nuestro caso, el depósito mineral. En este trabajo presentamos los resultados del procesamiento e interpretación de datos de Ground Penetrating Radar (GPR) usando el software libre GPRpy, haciendo modificaciones en algunos de sus algoritmos para establecer una ecuación que permita definir un campo de velocidad a partir las propiedades determinadas en muestras de núcleo de al menos dos perforaciones cercanas al proyecto geofísico, lo cual hizo posible obtener modelos del subsuelo en profundidad y ubicar las zonas de mineralización de acuerdo a la geología local, el trabajo en campo de extracción y estudio de muestras. Para lograrlo, usamos una matriz de datos previamente procesados y su vector de tiempo correspondiente, además, la generación de un vector de velocidades con valores de acuerdo las propiedades de las muestras estudiadas

y dependiendo de su tamaño establecimos un nuevo vector compuesto por los límites con los cuales se dividió el vector tiempo. Con lo expuesto anteriormente, obtuvimos modelos del subsuelo a profundidad y la ubicación de anomalías geofísicas relacionadas con el depósito mineral.

MSG-6

## MEJORAMIENTO DE IMÁGENES SÍSMICAS OBTENIDAS CON MIGRACIÓN EN TIEMPO REVERSO A TRAVÉS DE LA TRANSFORMADA LAGUERRE-GAUSS

Paniagua Juan y Muñoz García Andrés Mauricio
*Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM*
juanpaniagua@itm.edu.co

En la etapa de exploración de la industria petrolera es muy importante la interpretación de modelos aproximados de la estructura del subsuelo, obtenidos a partir de señales registradas en la superficie mediante la aplicación de un método sísmico en una región en particular. Estos modelos tienen cierto grado de incertidumbre debido a las características del subsuelo, la estructura geológica y el método específico utilizado para obtenerlos. Una de las principales herramientas para obtener modelos de las estructuras del subsuelo es la migración sísmica. En zonas geológicamente complejas con caídas pronunciadas y fuertes contrastes de velocidad, los métodos de ecuaciones de onda bidireccionales producen mejores modelos que otros métodos. La migración en tiempo reverso (Reverse Time Migration-RTM) es un método de ecuación de onda de bidireccional que resuelve la ecuación de onda acústica o elástica mediante la extrapolación de los campos de ondas de la fuente y receptor en el dominio del tiempo. Un campo escalar real se obtiene aplicando un criterio conocido como la condición de imagen. La correlación cruzada entre los campos de onda de la fuente y del receptor es la condición de imagen comúnmente utilizada. Sin embargo, esta condición de imagen produce ruidos de baja frecuencia espacial, llamado artefactos, que puede afectar la interpretación del modelo final. Se han propuesto varias técnicas para reducir la aparición de artefactos. En este trabajo se presenta la aplicación de una transformada integral, la transformada de Laguerre Gauss, para mejorar las imágenes migradas y disminuir la ocurrencia de artefactos. Se muestra que esta transformación reduce considerablemente las incertidumbres (artefactos) y preservan los eventos reflectantes en los campos escalares obtenidos por RTM reduciendo la incertidumbre en la interpretación de las imágenes obtenidas.

MSG-7

## ACTUALIZACIÓN DEL MODELO DEL ACUÍFERO DEL VALLE DE LEÓN GUANAJUATO

Hernández García Guillermo de Jesús, Cortés Silva Alejandra y Hernández Hernández Mario Alberto
*Universidad Nacional Autónoma de México*
ghdez@igeofisica.unam.mx

Presentamos la modelación computacional de flujo del valle de León Guanajuato, con las versiones actuales de Modflow, el código de modelación tridimensional de flujo de agua subterránea del servicio geológico de los EE. UU. (el USGS, por sus siglas en inglés). Se trasladó una versión del dominio del modelo original al código Modflow 2005 y a la nueva versión actual del USGS Modflow 6. Se utilizó la interfaz gráfica Model Muse, que permite la refinación por zonas de celdas de la malla original en volúmenes finitos del dominio del modelo actualizado. Se trasladaron los modelos originales para el estado estacionario y el estado transitorio. Se hizo uso de la herramienta FLOPY para manejar el código, a través de Pandas con el lenguaje de programación Python, evaluando su desempeño a través de indicadores de ajuste como la raíz cuadrática media (RMSE), comparando la piezometría observada y simulada. Se exploró la nueva versión para evaluar el balance por y se obtuvo la visualización de los distintos resultados, tales como: perfiles de bombeo, de recarga, de aporte por almacenamiento, entre otros. Se logró una mejor convergencia en la solución de la ecuación de flujo, evitando la presencia de celdas que se secan y entonces se invalidan (no-flow cells). Lo anterior se logró mediante una refinación del coeficiente de almacenamiento (Ss), e incluyendo en cambio el rendimiento específico (Sy) como una nueva opción. Como parte de esta experiencia se lograron superar varios obstáculos que se presentan al migrar a la nueva versión, tanto al cambiar la formulación matemática de diferencias finitas a volumen finito, además de cambiar los formatos de los archivos con los datos de entrada y de salida, auxiliándose de herramientas computacionales.

MSG-8

## EXPERIENCIA ACTUAL DE MODELACIÓN CON MODFLOW

Berumen Saldivar Gustavo[1] y Hernández García Guillermo de Jesús[2]
[1]*Instituto Politécnico Nacional*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
gustavobrmn@gmail.com

Presentamos la modelación computacional de flujo en el sistema acuífero de la parte sur de la Cuenca de Mexico, SAPSurCM, com Modflow 6, la mas reciente versión del código de modelación tridimensional de flujo de agua subterránea del servicio geologico de los EE. UU., el USGS, por sus siglas en inglés. Se procedió trasladando una versión del dominio del modelo para el codigo Modflow 2005, la version previa del USGS. Se hizo uso de la interfaz gráfica ModelMuse, que permite el manejo de mallas tipo Quadtree. Se traslada el modelo para el estado estacionario asi como el modelo para el estado transitorio. Se comparan estadígrafos calculados para diferentes porpuestas de discretización de malla no estructurada y se comparan gráficas de balance para las mismas. Se logró, como parte de esta experiencia, superar varios obstáculos que se presentan con la nueva versión, tanto al cambiar la formulación matemática, como al cambiar los formatos de entrada y de salida.

MSG-9

## CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA EN DEPÓSITOS ALUVIALES DE ORO EMPLEANDO DATOS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA DE RESISTIVIDAD, SU PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN. CASO DE ESTUDIO EN EL CORREGIMIENTO DE MARGENTO, CAUCASIA (ANTIOQUIA), COLOMBIA

Quiceno Arenas Brayan Alexis, Paniagua Castrillón Juan Guillermo, Bertaiola Franco, Duque Luis Fernando y Muñoz García Andrés Mauricio
*Instituto Tecnológico Metropolitano, ITM*
braian-quiceno@hotmail.com

La zona de estudio del presente trabajo se encuentra localizada al norte del departamento de Antioquia, en el municipio de Caucasia sobre la margen izquierda del río Cauca, en el corregimiento de Margento. Este municipio es el eje de la actividad económica y el de mayor densidad poblacional de dicha región. La minería de oro aluvial ha sido uno de sus principales focos de desarrollo, pero la explotación a cielo abierto (muy común en este tipo de ambientes) ha causado serios problemas ambientales, los mismo que podrán ser reducidos siempre que exista una adecuada planeación en la extracción de minerales guiada por modelos del subsuelo geológicamente plausibles y con el mayor detalle posible sobre la propiedades del depósito. De las variadas maneras de construir dichos modelos y validar las propiedades estimadas en ellos, y como parte del acercamiento académico de la universidad a la industria, hemos empleado el método geofísico Tomografía Eléctrica de Resistividad (TER) para la caracterización de parámetros de interés geometalúrgico en un depósito de oro aluvial con resultados validables. Llevamos a cabo un proyecto geofísico de adquisición de datos de TER en varias secciones ortogonales (de acuerdo a las posibilidades de campo y a las condiciones impuestas por las actividades de explotación por parte de la empresa a la par con el proyecto geofísico), procesamos los datos, generamos imágenes del subsuelo e interpretamos los resultados empleando un entorno libre (pyGIMLI). Posterior al proceso de inversión, el cual se ajustó a las condiciones propias del arreglo experimental empleado y las condiciones del lugar de estudio, hicimos una clasificación litológica a partir del mapa de resistividades obtenido con resultados correlacionables con los registros de al menos dos perforaciones cercanas y validados con las muestras extraídas y la geología local conocida.

MSG-10

## PRESENTACIÓN DEL CURSO EN LÍNEA: MODELACIÓN E INVERSIÓN DE DATOS DE PROSPECCIÓN ELÉCTRICA EN 1D, 2D Y 3D EMPLEANDO SOFTWARE LIBRE

Ochoa León Pablo, Uc Canul David Armando, Ortiz Jiménez Emmanuel y López González Aide Esmeralda
*Universidad Nacional Autónoma de México*
pablo_8a_leon@comunidad.unam.mx

La pandemia de Covid-19 mostró la importancia y la necesidad de crear recursos o herramientas digitales que permitan a los estudiantes continuar con su formación de manera remota. Por lo anterior y con el soporte del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación ( PAPIME - UNAM, Clave PE106521 ), se propone el curso en línea: “Modelación e inversión de datos de prospección eléctrica en 1D, 2D y 3D empleando software libre”. El propósito de este curso es apoyar a los estudiantes de licenciatura en Ingeniería Geofísica que estén cursando las asignaturas de prospección eléctrica, inversión de datos geofísicos y/o procesamiento de datos geofísicos, o para aquellos interesados en el uso de software libre de interpretación de datos de resistividad con corriente directa. Se busca que el estudiante relacione los conceptos teóricos de prospección eléctrica con la modelación e inversión de datos, de manera que, al momento de emplear un software, comprenda los procesos que este realiza y, de esta forma, obtenga más certeza en la interpretación. El curso se concentrará en una plataforma digital (tipo MOOC dentro de Moodle LMS) y estará conformado por: un libro de apuntes con los fundamentos teóricos de prospección eléctrica, modelación e inversión de datos, 9 videos: 3 de modelación e inversión de estructuras sencillas en 1D, 2D y 3D; 3 de instrumentación para exploración geoeléctrica en 1D, 2D y 3D; 3 de entrevistas a expertos en temas de modelación, interpretación e investigación en prospección geoeléctrica de nuestro país y, por último, cuestionarios de autoevaluación. Los tiempos estimados son: 2 h 45’ de videos, 4 h 30’ de actividades de aprendizaje y 1 h 30’ de autoevaluaciones, sumando 8 h 45’ de trabajo total.

MSG-11

## COMBINACIÓN DE DRONES Y GEORADAR PARA LA INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE DETERIORO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Yépez Rincón Fabiola D., Díaz Félix Luis G., Arriaga Diaz de León Lilia E., Rodríguez Juan M. y Ferriño Fierro Adrián L.
*Universidad Autónoma de Nuevo León*
fabiola.yepezrn@uanl.edu.mx

En muchos estudios se han descrito métodos no destructivos (NDE) para realizar la inspección, el diagnóstico y el seguimiento de la salud estructural de la infraestructura urbana. Este estudio presenta la sinergia de los levantamientos fotogramétricos de vehículos aéreos no tripulados (UAV) y el radar de penetración terrestre (GPR) como un método no destructivo para mapear y diagnosticar el deterioro del pavimento. El objetivo de la investigación fue documentar y cuantificar el deterioro de pavimentos en un entorno urbano sedimentario mediante la sinergia de métodos no destructivos GPR y UAV validados por perforación de núcleos. Se utilizó el levantamiento fotogramétrico de UAV para la inspección visual y la reconstrucción del modelo 3D. El radar de penetración en el suelo se utilizó para adquirir los perfiles del subsuelo. Esta combinación de sensores aéreo-subterráneo permite la reconstrucción de la superficie del modelo 3D y los perfiles a 3 m de profundidad para investigaciones del subsuelo. Para validar los resultados se realizaron perforaciones al pavimento para verificar las zonas observadas de compactación no homogénea a partir de métodos no destructivos. Los núcleos se utilizaron para determinar el contenido de vacío de aire en las capas de asfalto y para determinar el rango de propagación de hundimientos o grietas. Además, la información sobre los núcleos permite determinar el espesor de cada una de las capas. La información fue analizada y vertida en un SIG que sirvió para comparar las incidencias de los deterioros con otras capas de información como infraestructura subterránea o rasgos hidrológicos o topográficos de la superficie, entre otros.

MSG-12

## ANIMACIONES COMPUTACIONALES EN GEOFÍSICA DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL POR 50 ANIVERSARIO

Jiménez Emiliano[1], Solis Arlette[2], Gallardo Vanessa[2], Peña José[2], Cuevas Kevin[2], Ramírez Jaime[2], Arias Jafet[2], Galaviz Sergio[2] y Salazar Leobardo[2]
[1]*Instituto Politécnico Nacional, IPN*
[2]*Instituto Politécnico Nacional*
emiliano98mx@gmail.com

Con motivo de los 50 aniversario de la Carrera Geofísica en el IPN, México, el capítulo estudiantil de la European Association of Geoscientists and Engineers (EAGE) inició un proyecto de diseño de animaciones computacionales en Geofísica. Con labores a distancia asesoradas por el Grupo IPN Fenómenos Terrestres. El objetivo es la divulgación geofísica, el diseño de material para educación y otros académicos. La metodología siguió la línea de programación computacional en Fortran-Generic Mapping Tools (GMT) [1,2] principalmente, para sistemas Windows o Linux. En esta fase se genera una secuencia gráfica que se introduce en software disponible para la generación de videos. Las animaciones se basan en datos disponibles y de resultados de investigaciones de la Geofísica politécnica. Se abarcan todas las escalas: global, regional, local y geofísica de alta resolución. Con animaciones en mapas 2D o gráficas 3D, incluyendo interior de la Tierra. Los diseños pueden incluir narración visual, narración auditiva, fondo musical y sus combinaciones. Se orientan al medio académico y social. Los resultados se publican en los sitios de internet y redes sociales de la EAGE IPN y de IPN Fenómenos Terrestres, posibilitando el apoyo en notas de prensa.

MSG-13 CARTEL

## CÁLCULO DE MODELOS MAGNETOHIDRODINÁMICOS MULTIESPECIES FUERA DE EQUILIBRIO TERMODINÁMICO: EL CASO DEL HIDROGÉNO Y EL HELIO

De la Luz Victor[1] y González-Aviles Jose Juan[2]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*UNAM IGUM Cátedras Conacyt*
vdelaluz@enesmorelia.unam.mx

En este trabajo presentamos el acoplamiento de un modelo fuera de equilibrio termodinámico (PakalMPI) con un modelo magnetohidrodinámico 3D (CAFE) para el caso de Hidrógeno y Helio. Con está aproximación es posible modelar sistemas que no se encuentran completamente ionizado como el caso de la cromosfera solar y los reactores de fusión nuclear.

MSG-14 CARTEL

## APLICACIÓN DEL MÉTODO “DRASTIC” PARA DETERMINAR UN MAPA DE VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO DE TECOLUTLA, MÉXICO

Téllez de la Cruz Óscar Alexis, González Guevara José Luis, Delgado Ayala Daniela, Martínez Mirón Yleana Claudia, González Hernández Julio César, Mejía Pérez José Alfredo, Castillo Pensado Juan Luis, Ventura Marroquín Julia Isabel, Coba Báez Alfredo Yael y Rosas Rosales Perla Sagrario
*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
oscar.de.andromeda@gmail.com

La evaluación de vulnerabilidad de un acuífero es algo que en muchas ocasiones se pasa por alto; sin embargo, es de vital importancia, ya que nos ayuda a determinar ciertos factores que ayudarían a hacer mejor uso de estos recursos que son vitales para el desarrollo de las comunidades que lo utilizan como fuente para sus actividades cotidianas. En este trabajo se presenta la evaluación de vulnerabilidad del acuífero de Tecolutla que se ubica entre los estados de Veracruz y Puebla, por medio de un mapa que se elaboró siguiendo la metodología DRASTIC, la cual nos ayudó a determinar las zonas más vulnerables del acuífero. A priori, los resultados establecen que la vulnerabilidad del acuífero varía principalmente entre baja y moderada, habiendo solo una pequeña zona de alta vulnerabilidad en el costado oeste del acuífero.

MSG-15 CARTEL

## MODELO DE DISPERSIÓN DE COLORANTES REACTIVOS EN EL RÍO ATOYAC CAUSADOS POR LA INDUSTRIA TEXTIL, UTILIZANDO EL SOFTWARE “DESCAR 3.0”

Ventura Marroquín Julia Isabel, González Guevara José Luis, Martínez Mirón Yleana Claudia, González Hernández Julio César, Mejía Pérez José Alfredo, Castillo Pensado Juan Luis, Coba Báez Alfredo Yael, Téllez de la Cruz Óscar Alexis y Rosas Rosales Perla Sagrario
*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
juliavema98@gmail.com

La contaminación de los ríos es una problemática que, con el aumento de la población, el desarrollo industrial, los materiales de distintas fábricas o los desechos en general, se viene incrementando. Son los desperdicios tanto orgánicos como inorgánicos que van afectando la composición natural de los cuerpos hídricos. Este problema fue, en principio, un incremento de la materia orgánica derivada de los efluentes urbanos; sin embargo, el desarrollo industrial aportó nuevos contaminantes químicos, algunos difícilmente biodegradables. La cuenca del Alto Atoyac, donde está situada la ciudad de Puebla, es la meseta más oriental del país. Está integrada por una serie de llanos y valles interconectados a altitudes entre los 1,600 y los 2,600 m sobre el nivel del mar, que se extienden 150 kilómetros de este a oeste y 140 kilómetros de norte a sur. En esta oportunidad presentamos un modelo de dispersión, mediante el software “DESCAR 3.0”, para los contaminantes más relevantes emitidos por la industria textil en el Río Atoyac

MSG-16 CARTEL

## COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE GALERKIN ENRIQUECIDO, GALERKIN DISCONTINUO Y ELEMENTOS ESPECTRALES PARA PROPAGACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS

Espinoza Fernández Estefanía[1] y De Basabe Delgado Jonás de Dios[2]
[1]*BUAP*
[2]*CICESE*
estefaniaespfer@gmail.com

El problema de Lamb consiste en la propagación de ondas provocadas por una fuente puntual en un espacio semi-infinito y elástico. Dado que existen soluciones analíticas de este problema, se usa frecuentemente para validar implementaciones numéricas de los métodos para propagación de ondas. Uno de los métodos numéricos más populares es el de elementos finitos (FE), a partir del cual surgen algunas variantes. En este trabajo se analizan tres métodos basados en FE que han encontrado aplicaciones en el campo de la sísmica: Elementos Espectrales, Galerkin Discontinuo y Galerkin Enriquecido. Realizamos pruebas variando el tamaño de la malla y el grado polinomial de las bases. Se generaron sismogramas sintéticos y se compararon sistemáticamente con soluciones analíticas con el objetivo de conocer la precisión de cada método. Para los casos con polinomios de mayor grado se utilizaron mallas más pequeñas para mantener constante el número de nodos por longitud de onda, y se pudo notar que el grado del polinomio compensa la reducción en el número de nodos del mallado sin incrementar significativamente los requerimientos de cómputo e incluso reduciéndolos. Esta investigación fue realizada en el verano de 2021 en el contexto del programa Delfín en modalidad virtual. Para realizar este trabajo fue necesario recurrir a un conjunto de recursos que permitieron colaborar de manera remota con herramientas como Zoom para las reuniones, Google Drive para compartir documentos y escribirlos interactivamente, y otras como la shell de Linux, SSH, SFTP, VPN y la supercomputadora Lamb del CICESE para ejecutar las simulaciones.

MSG-17 CARTEL

## ANÁLISIS DE LA TEORÍA DE MEDIOS EQUIVALENTES DE HUDSON PARA MEDIOS FRACTURADOS Y ANISÓTROPOS CON SIMETRÍA VTI

Peral Altamirano Carlos Emanuel[1] y De Basabe Delgado Jonás de Dios[2]
[1]*BUAP*
[2]*CICESE*
carlosperal.altamirano@gmail.com

Las fracturas son pequeñas discontinuidades muy comunes en el subsuelo. Éstas determinan en gran medida las propiedades mecánicas de las rocas, así como el desplazamiento de fluidos contenidos en ellas. La caracterización de medios fracturados tiene una gran importancia en el desarrollo y producción de yacimientos petroleros, monitoreo de mantos acuíferos y gestión de contaminantes y desechos nucleares, entre otros. Existen dos principales formas de caracterizar un medio fracturado, su uso depende de los datos sísmicos con los que se cuenta. Un enfoque es la Teoría de Medios Equivalentes (TME) que utiliza varias suposiciones que no siempre corresponden con la física real del medio, mientras que la otra aproximación es mediante simulaciones numéricas con rocas digitales fracturadas (incluir directamente las fracturas mediante esquemas numéricos) donde generalmente se utilizan menos supuestos. En este proyecto se evaluó la efectividad y las limitaciones de la TME de Hudson en medios con anisotropía axisimétrica (VTI) que contienen fracturas verticales con distribución espacial uniforme. Para ello se simularon numéricamente rocas digitales fracturadas, se construyó su modelo equivalente utilizando la teoría de Hudson y se compararon los resultados obtenidos. Se variaron las características del medio (cantidad de anisotropía y densidad de fracturas) con el fin de determinar las limitaciones de esta TEM. Los resultados muestran que no existe una dependencia entre la precisión de la teoría de Hudson y la cantidad de anisotropía VTI intrínseca (al menos hasta un 15 %) del medio. La teoría de Hudson es la más usada en la exploración petrolera a pesar de las limitaciones en la precisión de sus predicciones para densidades de fracturas superiores al 5%. Los resultados muestran que la teoría de Hudson es una herramienta útil para incluir los efectos que las fracturas tienen en la anisotropía del medio. El trabajo fue realizado a distancia durante el primer semestre de 2021, las dificultades de trabajar con asesoría de manera virtual durante la pandemia se resolvieron con una buena y constante comunicación, videollamadas a horarios establecidos y buena disposición. Ser autodidacta y la disponibilidad de mi asesor a resolver cualquier duda hizo que este trabajo se desarrollara sin mayores complicaciones.

MSG-18 CARTEL

## CÓMPUTO DE ALTO RENDIMIENTO EN LA SIMULACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS UTILIZANDO EL SOFTWARE SPEED

Magdaleno Gatica Scarlett[1] y De Basabe Delgado Jonás de Dios[2]
[1]*UABC*
[2]*CICESE*
scarlett.magdaleno@uabc.edu.mx

Actualmente hay una gran demanda por métodos numéricos innovadores para la simulación de propagación de ondas sísmicas que hagan uso eficiente de los recursos computacionales y permitan introducir modelos realistas. En los últimos años se ha desarrollado el software SPEED (SPectral Elements in Elastodynamics with Discontinuous Galerkin), el cual combina la flexibilidad de los elementos finitos del método discontinuo de Galerkin con la precisión de las técnicas espectrales. Para simular eventos sísmicos a gran escala y en medios tridimensionales complejos, el software SPEED requiere la utilización de cómputo de alto rendimiento. SPEED permite disminuir en gran medida el tiempo de cómputo por medio de descomposición de dominios y paralelización. Esta investigación se realizó como parte de un programa de prácticas profesionales realizado en el semestre 2021-1. La estancia se realizó virtualmente debido a la contingencia sanitaria. El propósito de este programa era ejecutar dos modelos con el software SPEED de forma remota en la supercomputadora Lamb de CICESE. Para utilizar esta supercomputadora fue necesario aprender a utilizar la Shell de Linux, realizar diversas pruebas para encontrar la forma ideal de usarla y conectarse desde una computadora local con sistema operativo Windows 10 a través de VPN. Una vez configurada esta Shell, se estableció la conexión a la red de CICESE usando SSH para ejecutar comandos a la supercomputadora y SFTP para la transferencia de archivos. Finalmente, se utilizaron herramientas como GNU Octave para visualizar los resultados obtenidos con SPEED, procesar los datos y generar las gráficas de los sismogramas.

Sesión regular

# OCEANOGRAFÍA COSTERA

Organizadores:
Ismael de Jesús Mariño Tapia
Héctor García Nava
José Carlos Pintado Patiño
Braulio Juárez Araiza

OCC-1

## SURGENCIAS COSTERAS DEL LADO OESTE DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DE YUCATÁN

Kurczyn Alejandro[1], Durán Rodrigo[2], Beier Emilio[3] y Souza Alejandro[4]
[1]*UNAM-Sisal*
[2]*National Energy Technology Laboratory, Albany OR USA*
[3]*Cicese-La Paz*
[4]*CINVESTAV Unidad Mérida*
jkurczynr@iingen.unam.mx

Las surgencias costeras en la Península de Yucatán son eventos físicos de importancia para la región. A partir de un muestreo oceanográfico frente a la costa de Campeche ocurrido durante julio de 2018, aguas de surgencia fueron encontradas mediante sondeos de CTD, y por primera vez son reportadas. Estas masas de agua no se deben al fenómeno típico de surgencia explicado por el forzamiento del viento, sino que es agua que sube desde la subsuperficie (-250 m) hacia la plataforma costera junto al canal de Yucatán, a más de 500 km de distancia de la zona de estudio, y luego es transportada hasta Campeche por advección de la corriente costera. A lo largo de su trayectoria esta va aflorando, originalmente esta masa de agua tiene características del Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (CSUW por sus siglas en inglés), que durante su recorrido hasta Campeche se mezcla con las aguas costeras localizadas sobre la plataforma y gana mayores cantidades de sal y temperatura. La advección fue comprobada utilizando salidas del modelo de circulación general Hycom e imágenes satelitales de temperatura superficial. Así mismo, un análisis climatológico de Estructuras Coherentes Lagrangianas sugieren que la advección a lo largo de la plataforma de Yucatán hacia Campeche es un fenómeno recurrente, que también se ratificó usando imágenes satelitales de temperatura superficial de 1981 a 2020. En promedio, la surgencia muestreada en julio de 2018 tardó 40 días en llegar hasta Campeche y viajó a una velocidad de 14.5 cm/s, logrando separar la columna de agua en dos capas con características termohalinas diferenciables: 1. Agua Tropical Superficial del Caribe localizada cerca de la costa y en la superficie (CTSW por sus siglas en inglés), y 2. Agua de surgencia fuera de la costa y pegada al fondo (CSUW).

OCC-2

## CIRCULACIÓN Y SURGENCIA INDUCIDAS POR EL PASO DE ONDAS ATRAPADAS A LA COSTA SOBRE UN CAÑÓN SUBMARINO

Saldías Gonzalo[1], Ramos Musalem Karina[2] y Allen Susan[3]
[1]*Universidad del Bío-Bío*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[3]*University of British Columbia*
gsaldias@ubiobio.cl

La surgencia generada por el viento favorece el transporte de agua profunda y relativamente densa hacia la plataforma. Hay evidencia observacional reciente que sugiere que la propagación de ondas atrapadas a la costa (OAC) sobre un cañón submarino genera surgencia dentro del cañón, independientemente del forzamiento por viento. En este trabajo utilizamos un modelo numérico idealizado para investigar la influencia de las OAC en el transporte hacia la plataforma de aguas relativamente profundas. Los experimentos son forzados en la frontera con una OAC con un periodo de 7 días. Durante la simulación hay una acumulación de agua profunda y más densa proveniente del cañón, con un mayor transporte hacia la plataforma durante la fase de nivel del mar bajo de la OAC. Durante esta fase, la mayor parte del flujo hacia la plataforma que surge a través del cañón se esparce sobre el lado contrario al de propagación de la OAC pero, una vez en la plataforma, esta agua es advectada en la dirección de propagación de la OAC durante la siguiente fase de nivel del mar alto de la OAC. Esto resulta en la formación de una pluma o "alberca" de agua de surgencia, relativamente densa, que se extiende principalmente a lo largo de la dirección de propagación de la OAC sobre la plataforma. Dada la ubicuidad, tanto de los cañones submarinos como de las OAC, este novedoso mecanismo podría jugar un papel importante en el balance de nutrientes, carbón y oxígeno que afectan a los ecosistemas demersales y bentónicos alrededor del mundo.

OCC-3

## PATRONES DE CIRCULACIÓN EN EL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO EN EL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO

Athié Gabriela[1], Salas-Monreal David[2] y Valle-Levinson Arnoldo[3]
[1]*Cátedra CONACYT - Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana*
[2]*Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana*
[3]*Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida*
g_athie@hotmail.com

Se analizó un año de mediciones contínuas de velocidad de la corriente en la columna de agua y de temperatura en el fondo, en cuatro puntos alrededor del arrecife norte en el Sistema Arrecifal Veracruzano, en el suroeste del Golfo de México. El flujo subinercial entre septiembre de 2008 y septiembre de 2009 presentó tres modos principales de variabilidad. Mientras que el primer modo de variabilidad representa el 75% de la varianza y se relacionó directamente con la dirección e intensidad del esfuerzo del viento (r=0.56), los modos 2 y 3 resultan interesantes, ya que describen patrones de circulación alternativos al comportamiento previamente descrito para esta zona en respuesta directa con el viento. El primer modo presentó una dirección dominante del flujo hacia el sureste – noroeste, con mayor energía entre octubre y mayo, en relación con los vientos del Norte, con periodos entre 2 – 5 días y a 10 días. El segundo modo que representó el 6% de la varianza, se relaciona con una circulación anticiclónica alrededor de los cuatro arrecifes que forman el conjunto arrecifal Norte y es forzado principalmente por cambios en el gradiente de presión, también asociados a los eventos de Norte. El tercer modo de variabilidad, que representa el 5% de la varianza, es un modo dominante durante el verano (junio a septiembre), cuando el esfuerzo del viento es mínimo y la temporada de lluvias esta presente. Este modo se asocia con un gradiente de presion baroclínico que presenta flujos en direcciones opuestas en la columna de agua. En esta misma época del año se observaron disminuciones repentinas de la temperatura en el fondo (~0.05 °C h-1), posiblemente relacionadas con eventos de surgencia que no responden a la dinámica de Ekman. Finalmente, el flujo bidireccional caracterizado por el modo 3, también se observó durante los eventos de Norte, como respuesta a cambios en el gradiente de presión relacionados con la dinámica de Ekman.

OCC-4

## ANOMALÍA DE TEMPERATURA EN VERANO EN BAHÍA DE LA PAZ, GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO

Obeso-Nieblas Maclovio[1], Gaviño-Rodríguez Juan Heberto[2] y Jiménez-Illescas Ángel Rafael[1]
[1]*Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN*
[2]*Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas, Universidad de Colima*
mniebla@ipn.mx

Se describe la anomalía de temperatura en la bahía, con base en muestreos realizados en verano (septiembre) de siete años, con referencia a un año considerado como normal (1993) con base al Índice Oceánico de El Niño (ONI), período durante el cual se registró un evento de Niño muy fuerte, un evento de Niña fuerte, tres eventos de Niños débiles, efecto de un huracán categoría 2 y un evento normal. En 2017 (condición normal), 24 años después se aprecia una anomalía negativa, excepto entre los 10-11 m y 81-82 m, con dos máximos a los 24 y 141 m de profundidad. En 2015 (Niño muy fuerte) con la mayor anomalía positiva hasta los 167 m de profundidad, con dos valores máximos a los 31 y 83 m de profundidad. En 2010 (Niña fuerte) con una anomalía negativa, con el valor máximo a los 41 m de profundidad. En 2006 (Niño débil y efecto de un huracán categoría 2) se registró anomalía negativa en todo el perfil con el máximo valor a los 37 m de profundidad. En 2009 (Niño débil) se encontró una alternancia de anomalías, positiva hasta los 13 m, seguida de una anomalía negativa hasta los 27 m, después positiva hasta los 109 m, con el valor máximo a los 83 m de profundidad. Para el 2018 (Niño débil) se aprecia una anomalía positiva hasta los 16 m de profundidad, después toda la columna presentó una anomalía negativa con el valor máximo a los 51 m de profundidad. Como era de esperarse en condiciones de un Niño las anomalías son positivas y en condiciones de una Niña se registran anomalías negativas. Es de resaltar lo registrado en 2006, donde se aprecia la máxima anomalía negativa hasta los 82 m de profundidad, esto a pesar de que se clasificó como un período de Niño débil, esto al parecer es producto del efecto de un huracán de categoría 2 que cruzo a la bahía el primero de septiembre de 2006. Se puede concluir que un huracán de categoría 2 tiene mayor influencia en el enfriamiento en esta bahía hasta los 82 m de profundidad que un evento de Niña fuerte. La bahía al parecer se ha enfriado en relación a la anomalía negativa registrada entre septiembre de 1993 y septiembre de 2017.

OCC-5

## MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA DISPERSIÓN Y TRAYECTORIA DE LARVAS DE PECES EN LA ENTRADA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Trincado Joel Arián y Montes Jorge Manuel
*Universidad de Guadalajara*
joeltrincadov@gmail.com

Las larvas marinas poseen varios mecanismos para posicionarse en aguas favorables que optimizan su desarrollo y desplazamiento. De acuerdo con esos mecanismos, las larvas se pueden retener en los lugares de desove o conectarse a otras áreas que son de gran interés para las especies con alto valor comercial. Por esa razón, muchos estudios abordaron específicamente las trayectorias de las larvas para determinar la eficiencia del manejo pesquero. La modelación numérica es una poderosa herramienta para el análisis de la dispersión y trayectoria de estas larvas. Con la adopción de los modelos lagrangianos se han resuelto un sin número de problemas en diferentes sectores, incluyendo la pesca y el medio ambiente. El objetivo de esta investigación es simular la dispersión y trayectoria de larvas de peces (Bregmaceros bathymaster) en la entrada del Golfo de California a partir del modelo lagrangiano OpenDrift, con el fin de establecer vínculos y analizar la abundancia en las principales áreas de desoves y por toda el área de estudio. Para la obtención de las variables hidrodinámicas se ejecutó el modelo ROMS. A partir de las bases de datos de la NOAA, se descargaron datos satelitales para validar los cálculos del ROMS. Las variables obtenidas se establecieron como forzamientos del modelo OpenDrift. El módulo PelagicEggDrift fue el utilizado para obtener las

simulaciones de la dispersión, las cuales se compararon con estudios precedentes en la región.

OCC-6

## ESTUDIO DE FLUJOS Y DISPERSIÓN EN UNA DE LAS LAGUNAS MÁS CONTAMINADAS DE MÉXICO, EL SISTEMA LAGUNAR NICHUPTÉ BOJORQUEZ EN QUINTANA ROO

Enríquez Ortíz Cecilia[1], Mariño Tapia Ismael[1] y Herrera Silveira Jorge[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*CINVESTAV Unidad Mérida*
cenriqz@ciencias.unam.mx

El sistema lagunar Nichupté-Bojorquez es probablmente una de las lagunas más afectadas por la actividad humana en el pais. Su localización (detrás de la zona hotelera de Cancún, Quintana Roo) la condena a recibir el efecto de múltiples estreses, de los cuales el aporte de contaminantes es notorio. La condición del sistema se agrava debido a la restringida comunicación que tiene la laguna con el mar de forma natural a traves de sus muy angostas bocas y bombeada por una marea de rango muy pequeño. Adicionalmente, como las demás lagunas costeras de la Península, esta recibe agua continental como descargas de agua submarina que también aportan contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente trabajo presenta resultados de modelación numérica para determinar patrones de circulación, tiempos de residencia y escenarios de dispersión en el sistema lagunar. Para ello se implementó un modelo numérico de alta resolución, variable espacialmente, que fue validado con mediciones in situ. Los resultados incluyen también sugerencias de manejo para procurar mejorar la condición del sistema.

OCC-7

## FACTORES QUE DETERMINAN LA PRESENCIA Y DISTRIBUCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LAGUNAS COSTERAS

Quesadas-Rojas Mariana[1], Enríquez Cecilia[2] y Valle-Levinson Arnoldo[3]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Mérida, UNAM*
[3]*Civil and Coastal Engineering Department, University of Florida, United States of America*
mariana.quesadas@gmail.com

Los microplásticos se han encontrado en todo tipo de ecosistemas acuáticos. No obstante, la información sobre su distribución y transporte en lagunas costeras es escasa. En este estudio, se investigó la distribución espacial y temporal de microplásticos en una laguna costera hipersalina y se exploraron los factores naturales y antropogénicos que dirigen el transporte de estas partículas. Para tal fin, se determinó el tamaño de grano y la concentración de microplásticos en sedimentos colectados en septiembre de 2017 (temporada de lluvias y alto uso de la laguna) y febrero de 2018 (invierno, menor uso de la laguna y eventos del viento del norte), así como la concentración de microplásticos en el agua de la laguna (febrero, 2018); se midieron, durante ciclos de marea (25 h), los intercambios de agua y microplásticos en la entrada de la laguna y, durante un año, se colectaron datos sobre las variaciones de nivel en el interior de la laguna. También se identificaron los sitios con actividades humanas que podrían verter microplásticos a la laguna. Los resultados indican que las fuentes y los agentes de transporte varían de forma estacional. Durante el verano, las concentraciones de microplásticos estuvieron relacionadas a las actividades humanas. Después de esta temporada, la hidrodinámica del acuífero peninsular ocasionó un incremento de nivel en la cabeza de la laguna. El gradiente de presión entre la cabeza lagunar y el mar promovió el transporte de agua hipersalina y de microplásticos hacia el mar. A escalas mareales (diurnas), las mediciones en la boca de la laguna revelan que más partículas se colectan en la vaciante que en la llenante, lo que sugiere una exportación neta de microplásticos de la laguna al mar costero.

OCC-8

## AGRUPAMIENTO DINÁMICO DE LOS SISTEMAS COSTEROS SEMICERRADOS

Tenorio Fernández Leonardo y Romero Quintero Emmanuel
*Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN*
leonardo.tenof@gmail.com

Durante varias décadas se ha buscado definir y agrupar los sistemas costeros semicerrados. Sin embargo, la diversidad de características, el rango tan amplio de variabilidad espacial y temporal ha complicado llegar a definiciones basadas en la dinámica de los sistemas. Con base en la importancia relativa de las fuerzas que controlan la hidrodinámica residual de los sistemas costeros semicerrados, esta propuesta, pretende ubicarlos dentro de espacios paramétricos y agruparlos dinámicamente. Al ubicar los sistemas costeros semicerrados dentro de estos espacios paramétricos, es posible diagnosticar dinámicamente la importancia relativa de las fuerzas que controlan la hidrodinámica residual.

OCC-9

## RESONANT TRIADS OF ROSSBY WAVES IN A COAST AND A CHANNEL

Graef Federico
*CICESE*
fgraef@cicese.mx

In a coast or a channel, a Rossby mode comprises two propagating Rossby waves (RWs) to satisfy the no normal flow through the boundary(ies). Thus, the nonlinear interaction between two Rossby modes involves the interaction between four propagating RWs. Here I study the possibility of resonance in the least restrictive problem in which the interaction of two RWs from different modes produces or excites a single RW. The real solutions of the resonance conditions are more restricted for more zonally oriented coasts or for eastern coasts, in contrast to the study of Graef and García (2021), who studied the most restrictive problem of finding resonance when the interaction between two modes excites a third mode (i.e. two RWs). For the channel, the real solutions are more restrictive for more meridional orientations (no solutions if the channel is meridional), similar to the results of Graef and García (2021). Finally I show that only in the zonal orientation, if the interaction between any two RWs from different modes excites a single RW, then the interaction between the other two RWs of both modes automatically excites another RW, and both excited RWs form a third Rossby mode. Graef, F. and García, R. F. 2021 Resonant interactions between Rossby modes in a straight coast and a channel. J. Fluid Mech. 918(A34), 1–38. doi:10.1017/jfm.2021.344

OCC-10

## EFECTO DE UN ESPIGÓN TEMPORAL EN LA DINÁMICA DE LA BARRA SUBMAREAL

Vidal Ruiz Jesus Adrian y Ruiz de Alegría Arzaburu Amaia
*Universidad Autónoma de Baja California*
ocean.vidal@gmail.com

La implementación de estructuras rígidas en las playas arenosas sigue siendo la forma tradicional de protección contra el embate del oleaje (provisional y a largo plazo). Sin embargo, esta estrategia es cada vez más impopular debido a que puede afectar el equilibrio dinámico de la playa. La migración de la barra submareal constituye un proceso fundamental durante la fase de recuperación de la playa después del impacto de tormentas. La dinámica de la barra submareal resulta de la retroalimentación constante entre los forzamientos hidrodinámicos y la morfología, y entender su dinámica es relevante desde la perspectiva de resiliencia costera. Esta investigación tiene como objetivo caracterizar el comportamiento morfodinámico de una barra submareal antes, durante y después de la presencia de un espigón instalado en octubre del 2015 y retirado en marzo del 2018. Para ello, se cuenta con mediciones morfológicas mensuales (topográficas y batimétricas) y de oleaje a 20 m de profundidad colectadas entre agosto 2015 y agosto 2020 a lo largo de 5.5 km de playa. Los resultados de este trabajo mostrarán la ubicación y morfometría de la barra en relación a las condiciones de oleaje incidente. Este estudio destaca la importancia de colectar mediciones de alta resolución espacio-temporal para entender la resiliencia de las playas ante perturbaciones artificiales.

OCC-11

## MODELADO NUMÉRICO DEL IMPACTO DE LOS PUERTOS DE ABRIGO EN LA COSTA NORTE DE YUCATÁN

López-Ramade Eduardo, Appendini Christian M., Medellín Gabriela, Franklin Gemma L. y Torres-Freyermuth Alec
*Universidad Nacional Autónoma de México*
elopezra@iingen.unam.mx

La costa norte de Yucatán se caracteriza por tener un alto transporte de sedimento neto hacia el oeste (60,000 m3/año) asociado a las condiciones particulares de oleaje oblicuo y persistente a lo largo del año. Estas características hacen del sistema sensible a cualquier perturbación sobre la costa. La construcción de escolleras en los canales de acceso, como parte de la infraestructura de los puertos de abrigo, ha generado zonas de erosión al oeste de los Puertos debido a la interrupción del transporte de sedimentos. El re-diseño de escolleras ha sido una medida empleada en otras regiones en el mundo que enfrentan la misma problemática. El objetivo de este trabajo es evaluar los impactos actuales de los Puertos de Abrigo y proponer alternativas que permitan aliviar este problema. Para ello, se plantea la calibración del modelo numérico Delft3D con observaciones de campo medidas en la playa de Sisal. El modelo calibrado es utilizado para evaluar diferentes diseños de escollera que promuevan el paso del sedimento con el propósito de reducir los efectos de erosión corriente abajo. Los resultados del modelo numérico sugieren que el re-diseño contribuye a disminuir el mantenimiento de los puertos. Agradecemos el apoyo financiero de DUMAC, CONACYT (CB-284819, LN271544) y la DGAPA UNAM (PAPIIT IN101218) y el apoyo técnico proporcionado por el M.I. Juan Alberto Gómez Liera.

OCC-12

## ESTIMACIÓN DE CORRIENTES SUPERFICIALES EN LA ZONA DE ROMPIENTE MEDIANTE EL SEGUIMIENTO DE LA ESPUMA A PARTIR DE UNA SECUENCIA DE IMÁGENES GEO-RECTIFICADAS

Rodríguez-Padilla Isaac y Castelle Bruno
*Université de Bordeaux*
isaac.rodriguez-padilla.1@u-bordeaux.fr

Determinar la circulación superficial en la zona de rompiente es esencial para caracterizar el estado dinámico y morfológico de una playa. La importancia de determinar el campo de corrientes no solo se limita para fines de investigación o planeamiento de infraestructura costera, sino que trasciende hacia la prevención del uso recreativo de las playas. En la actualidad, gracias al creciente número de algoritmos de código abierto, es posible convertir una simple cámara de video en un instrumento robusto para monitorear la zona costera. Mediante el procesamiento de imágenes, es posible asociar de manera indirecta rasgos y características del espectro óptico con variables geofísicas. Esto a su vez, permite cuantificar procesos hidrodinámicos y morfodinámicos con una gran cobertura espacial y temporal a un costo relativamente accesible. Este trabajo describe un método para estimar corrientes superficiales dentro de la zona de rompiente a partir de imágenes consecutivas recolectadas por un sistema de video-monitoreo costero. El enfoque del método consiste en utilizar la espuma, generada por el rompimiento de las olas, como un trazador cuasi-pasivo y utilizar un algoritmo de flujo óptico para rastrear y cuantificar su movimiento. El supuesto principal es que en ausencia de viento la espuma es advectada por las corrientes superficiales. Para minimizar la influencia del oleaje en el movimiento de la espuma, la señal del oleaje es filtrada de la secuencia de imágenes antes de emplear el algoritmo de flujo óptico. Dicho algoritmo es capaz de proporcionar un vector de velocidad por cada pixel de la imagen, la cual una vez geo-referenciada corresponde a un vector por cada metro dentro de la región donde existe la presencia de espuma (zona de rompiente). La metodología que se presenta en este trabajo ha sido validada con datos in-situ obtenidos a partir de una campaña oceanográfica llevada a cabo en octubre de 2018 en la playa de Anglet (suroeste de Francia). Las corrientes superficiales estimadas por medio de imágenes continuas (1 Hz) de video se compararon con mediciones simultáneas de un perfilador de corrientes acústico doppler (ADCP) y con múltiples trayectorias de boyas de deriva liberadas bajo diferentes condiciones de oleaje y marea. Los resultados en general muestran una buena concordancia con respecto a los datos de ADCP ($r^2$ = 0.5-0.8; RMSE = 0.12-0.24 m/s). Sin embargo, existe una subestimación sistemática en la magnitud de la componente transversal de velocidad que se dirige hacia fuera de la costa. Por otra parte, el flujo óptico reproduce de manera correcta los patrones de circulación promedio dentro de la zona de rompiente que incluyen celdas de circulación, corrientes de retorno, así como la corriente litoral inducida por oleaje con incidencia oblicua a la línea de costa. Finalmente, la presente metodología ofrece una alternativa de bajo costo para estimar, al menos de manera cualitativa, los principales patrones de flujo promedio dentro de la zona de rompiente que comprenden distintas escalas temporales y espaciales.

Sesión regular

# OCEANOLOGÍA

Organizadores:
Emilio Beier
Erik Coria Monter
Elizabeth Durán
Jorge Alejandro Kurczyn Robledo

OCE-1

## ENERGÍA DEL FLUJO DE MAREA EN LA REGIÓN DE LAS GRANDES ISLAS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Velázquez-Muñoz Federico Angel y Filonov Anatoliy
*Universidad de Guadalajara*
federico.velazquez@academicos.udg.mx

El Golfo de California tiene regiones donde se genera o concentra energía de las corriente de marea, lo que se han identificado y caracterizado mediante mediciones in situ y modelos numéricos. La región de las Grandes Islas (Archipiélago de Midriff) ha recibido especial atención debido al aumento de la velocidad de la corriente, ya que también hay aumento en la energía cinética y en los procesos de mezcla. Este aumento de energía se puede ver en la formación de paquetes de ondas internas que se propagan a lo largo de varios cientos de kilómetros. En este este trabajo presentamos una breve descripción de las mediciones de ondas internas que viajan hacia el norte del Golfo y exploran los sitios de generación de energía. Después se muestra la caracterización de la entrada y salida de la corriente de marea que atraviesan las Grandes Islas en la parte central del Golfo. Utilizamos un modelo numérico tridimensional que reproduce adecuadamente el flujo de las mareas y el aumento de velocidad y energía cinética entre las islas. La estructura del flujo actual muestra los núcleos de mayor velocidad cerca de la costa y lejos del fondo. Durante la marea creciente, el flujo de corriente máximo (~0,6 ms^#1) se encontró entre la isla Turón y la isla San Lorenzo, desde la superficie hasta 200 m de profundidad. Cuando las corrientes son hacia fuera del Golfo, durante la marea descendente, la corriente negativa máxima (~0,8 ms^-1) se encontró entre la isla Tiburón y la isla Turón, desde cerca de la superficie hasta 80 m de profundidad.

OCE-2

## EL MÉTODO DE GALERKIN DISCONTINUO HÍBRIDO PARA PROBLEMAS Y APLICACIONES ELÍPTICAS EN LA MODELACIÓN DE PROCESOS OCEANOGRÁFICOS

Velázquez-Muñoz Federico Angel[1], Azofeifa Chaves Danalie de los Angeles[2], Moreles Miguel Angel[2] y Filonov Anatoliy[1]
[1]*Universidad de Guadalajara*
[2]*Centro de Investigación en Matemáticas*
federico.velazquez@academicos.udg.mx

La solución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes aplicadas a Modelos de Circulación Oceánica (MCO) es una línea de investigación activa. En años recientes, se propuso un método de Volumen Finito (VF) para MCO, denominado FVCOM (Finite Volume Community Ocean Model), mostrando amplias ventajas respecto a los métodos de Diferencias Finitas (DF). Posteriormente, se presentó una extensión para incluir efectos no hidrostáticos. Una motivación para desarrollar el FVCOM es la dificultad de lidiar con geometrías costeras irregulares en los modelos de DF, donde FVCOM se aplica de forma natural. Además, los métodos de VF garantizan la conservación de masa local y global, que es una propiedad no satisfecha por el muy popular método de Elementos Finitos (EF). En el lado negativo, el método de VF requiere modificaciones no triviales para lograr aproximaciones de alto orden, a diferencia de los métodos de EF. En consecuencia, la próxima generación de MCO es mediante métodos que son localmente conservativos y de orden alto. Una elección natural es el método de Galerkin Discontinuo Híbrido (GDH). En este trabajo se presenta el desarrollo de un modelo numérico mediante GDH en el contexto de la dinámica de procesos no hidrostáticos en el océano. Se discuten las ventajas y desventajas de esta técnica y algunos aspectos de la implementación. También se presenta una aplicación de esta metodología a la generación de ondas internas de marea en el Umbral de San Esteban, en el Golfo de California y se describen las características físicas de las ondas generadas en el modelo así como una comparación con mediciones in-situ.

OCE-3

## COMPARACIÓN ENTRE CARS2009 Y OBSERVACIONES IN SITU EN LA ZONA EXCLUSIVA MEXICANA DEL GOLFO DE MÉXICO

Delgado Contreras Juan Antonio[1], Sudre Joel[2], Tanahara Romero Sorayda[3], Hernández Ayón José Martín[4], Zirino Alberto[5] y Coronado Álvarez Lourdes[4]
[1]*Tecnológico Nacional de México, Campus Guaymas*
[2]*Legos, Cnrs/Ird/Ups/Cnes*
[3]*Facultad de Ciencias Marinas, UABC*
[4]*Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC*
[5]*Scripps Institution of Oceanography, UCSD*
juan.dc@guaymas.tecnm.mx

CARS2009 agrupa variables hidrográficas y biogeoquímicas de climatologías globales mensuales y anuales del océano calculadas con 50 años de observaciones in situ. No obstante, la climatología de la región mexicana del Golfo de México (GoM) es incierta por ser calculada con una reducida base de datos. En este trabajo se determina la confiabilidad de las climatologías de CARS2009 en la región mexicana del GoM de la temperatura, salinidad, nitratos y oxígeno disuelto (OD) comparándose con observaciones del programa de cruceros, XIXIMI. Se estandarizaron mallas espaciales de las observaciones de XIXIMI y CARS2009 a una resolución horizontal de ¼# y en la vertical 79 niveles de profundidades estándar. Se elaboraron secciones verticales y diagramas de Taylor con los datos de CARS2009 y de las observaciones de temperatura, salinidad, concentraciones de nitratos y OD así como diagramas T-S. Los diagramas T-S de verano e invierno en la zona profunda del Golfo de México entre CARS2009 y las observaciones presentan buena similitud. Las concentraciones de nitratos y OD asociadas a los T-S en verano e invierno en CARS2009 mostraron niveles de densidad similares a las observaciones. La distribución vertical termohalina, nitratos y OD de CARS2009 a lo largo de secciones verticales zonales y transversales en la zona profunda del Golfo de México presentó también estructuras similares con las observaciones de XIXIMI para los meses de julio y febrero. La comparación mediante Diagramas de Taylor mostró para todas las variables una alta correlación, así como bajas desviaciones estándar y errores cuadráticos medios en los perfiles de CARS2009 respecto a los de XIXIMI. CARS2009 en la región profunda del GoM al sur de la latitud 25ºN presenta una buena similitud con las observaciones y los análisis sugieren que es recomendable para su uso en los modelos numéricos.

OCE-4

## VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA PCO2 EN EL PACÍFICO FRENTE A MÉXICO

Coronado-Álvarez Luz de Lourdes Aurora[1], Hernández-Ayón José Martín[1], Delgado Contreras Juan Antonio[2] y Espinosa-Carréon Teresa Leticia[3]
[1]*Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC*
[2]*Instituto Tecnológico de Guaymas, Sonora*
[3]*Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Guasave, Sinaloa*
coronadolu@yahoo.com.mx

Las condiciones oceanográficas físicas de la zona del pacífico frente a México (ZPM) son sui géneris, vg. distintas masas de agua y corrientes superficiales, forzamientos atmosféricos, impacto de eventos climatológicos, entre otros. Por lo que ZPM se dividió en tres regiones: Sistema de la Corriente de California al noroeste de país frente a la península de Baja California (SCC, 22.5 - 34° N), Cabo Corrientes (CC, 16.5 - 22.5° N) y Golfo de Tehuantepec (GT, 10 - 16.5° N). Por tanto, el objetivo del presente estudio fue asociar cómo los cambios que existen a través del tiempo en la temperatura superficial del mar (TSM) y la fijación biológica de CO2 influyen en la variabilidad de la presión parcial de CO2 (pCO2). Se recopiló información de variables oceanográficas como TSM, salinidad y pCO2 de diversos bancos internacionales de 1993 a 2018. Se estimó la razón temperatura (T) y biología (B) (T/B), la cual es un esquema que supone que la pCO2 únicamente varía de acuerdo con los cambios en la temperatura del mar y la fijación de CO2 por fotosíntesis. Para esto, se calculó la T y B por región, al igual que para cada época climática. Los resultados mostraron que en verano. Los resultados mostraron en verano en las tres regiones los cambios en la pCO2 estuvieron asociados a la variación de la TSM; mientras que en primavera en el SCC y CC e invierno para GT la biología dominó en esta relación.

OCE-5

## MECANISMOS QUE AFECTAN EL CICLO DEL NITRÓGENO EN REMOLINOS SUBÓXICOS SUBSUPERFICIALES DEL PACÍFICO SURORIENTAL

Ortiz Lenna Oriana[1], Pizarro Oscar[2], Dewitte Boris[3] y Cornejo Marcela[4]
[1]*Universidad de Concepción, Chile*
[2]*Instituto Milenio de Oceanografía, Chile*
[3]*Centro de Estudios Avanzados en Zonas Aridas, Chile*
[4]*Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile*
lennaortiz@udec.cl

Los remolinos subsuperficiales (o intratermoclina) de mesoescala que se forman y trasladan en la región de la termoclina en el Pacífico Suroriental (PSO), juegan un papel importante en el transporte de agua, calor y sustancias disueltas desde zonas productivas costeras hacia mar abierto. En los Sistemas de Surgencia de los Bordes Orientales de los Océanos (SSBO) donde están presentes las zonas de mínimo oxígeno (ZMO), la corriente subsuperficial hacia el polo contribuye a la formación de estos remolinos. En estas regiones y principalmente donde el O2 < 20 umol, el NO3 pasa a ser el oxidante principal y comienza a perderse nitrógeno fijado por medio de la desnitrificación. Sin embargo, poco se sabe sobre los procesos de transformación del nitrógeno al interior de estos remolinos. Particularmente, el gradiente latitudinal y zonal del oxígeno que existe en la ZMO del PSO frente a Chile (20ºS – 38ºS) es tal que en la zona norte (20ºS - 29ºS) la ZMO presenta valores de O2 < 20 umol que se logran extender varios cientos de kilómetros hacia fuera de la costa, más allá de 80ºW, mientras que cerca de la costa las aguas subsuperficiales llegan a presentar anoxia. En la zona centro-sur (30ºS – 38ºS) valores de O2 < 20 umol están presentes sólo cerca de la costa, esto permite que existan condiciones biogeoquímicas distintas bajo las cuales se forman los remolinos intratermoclina. En este trabajo nosotros usamos un modelo con acoplamiento físico/biogeoquímico (ROMS/BioEBUS) para estudiar la dinámica de distintos trazadores biogeoquímicos (O2, NO3, NO2, NH4, N2O) y los mecanismos físicos que ocurren dentro de los remolinos subsuperficiales en todo su trayecto. Se hizo la identificación y seguimiento de los remolinos en un periodo de 9 años. Estos remolinos presentaron un núcleo bajo en oxígeno (O2 < 20 uM), más salino (>34.6) y con mayor

concentración de nutrientes en contraste con las aguas circundantes, propiedades asociadas al Agua Ecuatorial Subsuperficial. Durante su trayecto se observó una disminución en el tamaño del núcleo subóxico y atenuación de las propiedades biogeoquímicas debido principalmente a los procesos de ventilación (advección y mezcla), generando una ZMO propia del remolino en aguas oceánicas distinto a las características de la ZMO costera donde se formó. Nuestro estudio muestra la compleja interacción de los procesos que afectan localmente al ciclo del nitrógeno en los remolinos subsuperficiales, los cuales contribuyen a la biogeoquímica en océano abierto y a la expansión de la ZMO del PSO.

OCE-6

## DIVERSIDAD DE PARMALES (BOLIDOPHYCEAE) EN EL FITOPLANCTON DE COSTAS OCCIDENTALES DE BAJA CALIFORNIA SUR

Hernández-Becerril David U.[1], Guzmán-Santos Nazaria Lizbeth[2] y Gómez-Lizárraga Laura Elena[1]
[1]*Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*
[2]*Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, IPN*
dhernand@cmarl.unam.mx

El grupo taxonómico de Parmales pertenece a la clase Bolidophyceae, un linaje filogenéticamente cercano a las diatomeas. El grupo está conformado por 15 especies y varias entidades subespecíficas (formae), con células solitarias esféricas a subesféricas, de talla pequeña, generalmente menores de 5 $\mu$m, que poseen de 5 a 8 escudos silíceos externos, ensamblados perfectamente. Su diversidad y abundancia son mayores en mares templados y fríos que en aguas tropicales. Este estudio está basado en el análisis de muestras de agua filtradas colectadas en las costas occidentales de Baja California Sur (BCS), a bordo del B/I "Dr. Jorge Carranza Fraser" (INAPESCA), en septiembre-octubre, 2020. Se colectaron y filtraron muestras de agua (3 litros) en la profundidad del máximo de clorofila. Algunas fracciones de los filtros se estudiaron con ayuda de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Se encontraron e identificaron cinco especies (taxones) de Parmales. Las especies reconocidas son: Tetraparma insecta, Triparma columacea, Triparma laevis fo. mexicana, Triparma laevis fo. fusiformis y Triparma retinervis. De estas especies se pueden anotar tres nuevos registros. Aparentemente la diversidad de Parmales puede ser elevada y su distribución más amplia de lo que se conocía, antes de utilizar métodos de filtración y análisis con MEB. El papel de las Parmales en aguas tropicales aún no está definido, pero se ha detectado su presencia y altas densidades en profundidades subsuperficiales y sus poblaciones no aparecen en capas más superficiales o muy profundas.

OCE-7

## EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CORRIENTES MARINAS SUBINERCIALES EN EL CARIBE MEXICANO PARA LA INSTALACIÓN DE TURBINAS HIDROCINÉTICAS

De la Miyar Loza Mariana[1], Athié Gabriela[2], Galaviz-Villa Itzel[1] y Candela Julio[3]
[1]*Instituto Tecnológico de Boca del Rio, ITBoca*
[2]*Cátedra CONACYT - Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana*
[3]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
marianadlml93@gmail.com

A pesar de que tiene un alto costo de instalación y de obtención, la energía del océano es una excelente opción para una transición a energías renovables; debido a la alta cantidad de energía que se puede obtener, si es evaluada y explotada correctamente. Las turbinas generadoras de energía por corrientes marinas cuentan con un gran campo de aplicación, pudiendo ser utilizadas para abastecer energía eléctrica a aquellas zonas que cuenten con fuentes hídricas cercanas. La zona del Caribe Mexicano es la única área en nuestro país con el potencial suficiente para extraer energía a partir de las corrientes marinas. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la variabilidad de las corrientes marinas subinerciales en el Caribe Mexicano, considerando la posible instalación de turbinas hidrocinéticas. Para la realización de este estudio se analizaron 6 años de mediciones continuas de la velocidad en la columna de agua, a partir de siete anclajes instalados desde el Banco Chinchorro hasta Puerto Morelos, al norte del Canal de Cozumel. Se encontró que Puerto Morelos es una zona dinámicamente estable, con velocidades mayores a 1 m/s hasta los 100 m de profundidad, durante el 93% del periodo analizado (2003-2009). La variabilidad de las corrientes se encuentra altamente correlacionada (r>0.5) entre los anclajes al norte de Tulum, dónde se observó que la dirección de la corriente es constantemente unidireccional. Así mismo se observó que no existe una estacionalidad significativa en la velocidad de la corriente, y que son principalmente los remolinos ciclónicos y anticiclónicos que atraviesan la zona del Caribe Mexicano, los que juegan un papel importante en la desaceleración y aceleración de la corriente en los diversos anclajes, encontrándose una periodicidad de aproximadamente 3 meses desde las zonas aledañas al Banco de Chinchorro hasta el Canal de Yucatán.

OCE-8

## CARACTERIZACIÓN LAGRANGIANA DE LA RUTA DEL SARGAZO MEDIANTE UNA COMPARACIÓN CLIMATOLÓGICA DE LAS ESTRUCTURAS COHERENTES LAGRANGIANAS Y MAPAS AUTO-ORGANIZADOS

Allende-Arandía Ma. Eugenia[1], Sanvicente-Añorve Laura[2], Durán Rodrigo[3] y Appendini Christian M.[1]
[1]*Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros, II-UNAM*
[2]*Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*
[3]*National Energy Technology Laboratory, Albany OR USA*
mallendea@iingen.unam.mx

En la última década, se ha registrado la llegada masiva de sargazo a las costas mexicanas, motivando estudios para poder entender los procesos y la dinámica que hacen de estas arribazones un problema nacional. Es por ello que utilizando nuevas metodologías estadísticas y el uso de simulaciones lagrangianas, este estudio tiene como objetivo entender el desplazamiento de las grandes masas de sargazo desde el Atlántico Ecuatorial hacia el Mar Caribe, así como determinar la importancia del viento durante su transporte. Las trayectorias en un flujo geofísico son inherentemente dependientes del tiempo, sin embargo, se ha demostrado que la velocidad climatológica euleriana, conserva una gran cantidad de información lagrangiana. Los resultados preliminares muestran que las Estructuras Coherentes Lagrangianas Climáticas (cLCS) forman barreras naturales de transporte que delimitan la cantidad de partículas que llegan a la costa. Por lo que en este sentido, el forzamiento del viento es determinante para que se observe una acumulación significativa de partículas en la costa Este de la Península de Yucatán. De los experimentos lagrangianos realizados con los patrones de circulación obtenidos del análisis de Mapas Auto-Organizados (SOMs), se encontró que el patrón de mayor ocurrencia no da lugar a una mayor acumulación de partículas en las costas mexicanas. Al aplicar los SOMs a series de tiempo largas para caracterizar la circulación euleriana resulta ser más eficiente y práctico que configurar una simulación numérica para poder pronosticar las trayectorias, las cuales pueden obtenerse mediante las cLCS. Con lo anterior, se puede decir que el uso de ambos métodos logra sintetizar largas series de tiempo desde una perspectiva lagrangiana. Esta investigación busca contribuir con elementos claves para poder establecer un sistema de alerta temprana que ayude a la toma de decisiones, así como sumar a los esfuerzos que instituciones de distintos países, incluyendo a México, han hecho para amortiguar el impacto socioecosistémico que estos eventos han tenido.

OCE-9

## ONDAS MARINAS DE CALOR Y FRÍO EN EL MAR DE LA PLATAFORMA DE YUCATÁN Y SU VÍNCULO CON EL EVENTO EXTREMO DE MAREA ROJA

Reyes-Mendoza Oscar[1], Carrillo Laura[2] y Manta Gastón[3]
[1]*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - El Colegio de la Frontera Sur, CONACYT-ECOSUR*
[2]*El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR*
[3]*Universidad de la República, Uruguay*
oscar.reyes@ecosur.mx

Debido a que la temperatura marina histórica ha estado cambiando y consecuentemente los procesos ecológicos también, este trabajo estudia la presencia y magnitud de eventos anómalos en la temperatura superficial del mar (TSM) desde una perspectiva de cambio climático. Para lo cual se aplicaron los conceptos y métricas descritas para calcular las Ondas Marinas de Calor y Frio (MHW y MCS por sus siglas en ingles) en la región marina de la plataforma continental de Yucatán y el Canal de Yucatán donde se desarrolla la surgencia no oriental del mismo nombre. Para calcularlas se utilizó un conjunto de datos históricos remotos de TSM entre 1982 y 2019. Además, se realizó un análisis de correlación cruzada entre TSM y clorofila-a para explorar relación temporal entre las anomalías térmicas y la marea roja que golpeó la región costera del norte de Yucatán en el año 2011. Los resultados indican que las Ondas han variado espacial y temporalmente sobre la región marina de la plataforma de Yucatán, y se han vuelto más frecuentes e intensos en los últimos veinte años, con tendencia a seguir aumentando en algunas subregiones. Los eventos de Ondas frías tienen igual o mayor importancia que las Ondas cálidas. En la región costera se registraron más de 110 días anormalmente fríos en el 2011, año del evento biológico extremo de la marea roja que pudo ser incrementado por dichas Ondas frías, que a su vez se asocian temporalmente a un incremento de El ENOS dicho año. La variabilidad de la corriente y surgencia de Yucatán, así como los eventos atmosféricos sinópticos a gran escala se discuten como posibles motores para la variabilidad espacial y temporal de las Ondas.

OCE-10

## VARIABILIDAD DE LA SURGENCIA DE YUCATÁN Y SU RELACIÓN CON LOS PARÁMETROS FÍSICOS DE LA ZONA

Reyes Jiménez Tania[1], Athié Gabriela[1], Enríquez Cecilia[2], Sheinbaum Julio[3], Marín Hernández Mark[1], Salas Monreal David[1], Mariño Tapia Ismael[2] y Candela Julio[3]
[1]*Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[3]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
taniareyjim@gmail.com

La surgencia topográfica que se observa en la plataforma oeste de Yucatán presenta su mayor intensidad durante primavera y verano y se ha definido que su origen y forzamiento tienen relación con parte de la variabilidad de la Corriente de Yucatán, a partir de modelos numéricos y de observaciones directas durante periodos menores a un año. Sin embargo, la Corriente de Yucatán presenta condiciones de velocidad y posición del núcleo para el desarrollo de eventos de surgencia durante todo el año, no solo durante primavera y verano; por lo que se requieren estudios basados en observaciones de largo plazo para definir con mayor presición su forzamiento. En el presente trabajo se hace un análisis de los principales factores físicos que participan en el origen, desarrollo, intensidad y estacionalidad de la surgencia de Yucatán a partir de 6 años de mediciones directas de la Corriente de Yucatán. Se analizaron series de tiempo de velocidad y temperatura, obtenidas a partir de anclajes ubicados en la parte oeste del Canal de Yucatán entre febrero/2008 y agosto/2014. Se observó que los descensos de temperatura se presentan durante todo el año sobre la parte oeste del Canal de Yucatán (zona de origen de la surgencia). Sin embargo, estos descensos presentan un comportamiento distinto por temporadas (primavera-verano y otoño-invierno); estas diferencias en el comportamiento de la temperatura se deben a los mecanismos que los originan. Para la temporada de primavera-verano, se observó un conjunto de mecanismos involucrados, tales como transporte de Ekman de fondo en dirección a la plataforma, el cambio en las diferencias de presión entre el Golfo de México y Mar Caribe y el desarrollo de un posible ciclón al norte del canal, en la zona de la meseta; se observó también la presencia de una contracorriente sobre la plataforma de Yucatán, que podría estar involucrada en mantener la surgencia en esta zona. Durante otoño-invierno, se observó que los descensos de temperatura registrados en el canal están relacionados con el paso de las ondas atrapadas a la costa.

OCE-11

## DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL OLEAJE EN EL GOLFO DE MÉXICO USANDO RESULTADOS DE UN RE-ESCALAMIENTO ATMOSFÉRICO

Appendini Christian M., Ruiz Salcines Pablo y Cerezo Mota Ruth
*Instituto de Ingeniería, Unidad Académica Sisal, UNAM*
cappendinia@iingen.unam.mx

El oleaje en el Golfo de México tiene afectaciones sobre el turismo, la extracción de hidrocarburos, pesca, transporte marítimo y otras actividades económicas, por lo que su caracterización es importante para el diseño estructural y operacional de instalaciones marítimas, protección costera y planeación del uso de suelo y rutas de transporte, entre otros. Debido a los efectos del cambio climático sobre la atmósfera, en particular los patrones de viento, es de esperar que el clima de oleaje se vea influenciado. En este sentido, hemos presentado en años anteriores evaluaciones del oleaje extremo, particularmente de eventos de baja ocurrencia, como el generado por ciclones tropicales, sin embargo, en este trabajo se presentan los cambios del oleaje en base a las condiciones normales y las condiciones extremas de mayor frecuencia. Para determinar el clima oleaje se usaron los campos de viento obtenidos a partir del modelo climático regional Providing REgional Climates for Impacts Studies (PRECIS), el cual toma las condiciones atmosféricas de gran escala de un modelo de circulación global (HadGEM) para realizar un re-escalamiento a una mayor resolución permitiendo hacer una representación más realista de las condiciones climáticas a nivel regional y resolviendo rasgos que no pueden caracterizar los modelos globales. Así, se obtuvieron los campos de viento de PRECIS para el Golfo de México bajo condiciones actuales y condiciones futuras (RCP 8.5), y se forzó un modelo de oleaje de tercera generación. Los resultados nos permitieron caracterizar el clima medio de oleaje para el clima actual y el clima futuro. A su vez, se caracterizó el oleaje extremal con base a los índices ETCCDI del CCI/WCRP-CLIVAR/JCOMM, de acuerdo a las adecuaciones realizadas por el grupo COWCLIP, logrando caracterizar el oleaje extremo de alta ocurrencia con respecto al número de días con oleaje alto o extremo, percentiles de altura y de duración.

OCE-12

## CIRCULACIÓN OCEÁNICA EN EL TOMO II DEL ATLAS DE LÍNEA BASE AMBIENTAL DEL GOLFO DE MÉXICO

Zavala-Hidalgo Jorge[1], Romero-Centeno Rosario[1], Sheinbaum Pardo Julio[2], Pineda León Roberto[1], Rivera Martínez Saulo L.[1], Osorio Tai Ma Elena[3], Pantoja Ortiz Samantha[1], Pedraza Díaz Angélica[1], Hernández Siade Alma Tatiana[1] y Calva Chávez Miriam Alin[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*CICESE*
[3]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
jzavala@atmosfera.unam.mx

Como parte de las actividades del megaproyecto CONACYT-SENER-HIDROCARBUROS denominado “Implementación de redes de observación oceanográficas para la generación de escenarios ante posibles contingencias relacionadas a la exploración y producción de hidrocarburos en aguas profundas del Golfo de México” y llevado a cabo por el Consorcio de Investigación del Golfo de México (CIGoM), se elaboró el Atlas de Línea Base Ambiental del Golfo de México (GoM). Este Atlas representa una contribución única en la historia de la investigación oceanográfica mexicana, en cuya elaboración participaron alrededor de 300 colaboradores quienes integraron y sintetizaron la información generada a lo largo de los más de 5 años que duró el proyecto. La obra consta de 10 tomos que detallan distintos aspectos ambientales del gran ecosistema marino que es el GoM. En particular, el Tomo II está dedicado a describir su circulación oceánica y oleaje, y en él se incluyen mapas de las climatologías mensuales y anuales de la temperatura, salinidad y corrientes marinas en distintos niveles de profundidad, además de otras variables y características de los principales patrones de circulación. Los datos utilizados se generaron a partir de simulaciones numéricas realizadas con el modelo Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM), que se corrieron en el cluster Ometeotl del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por estudiantes y académicos del grupo Interacción Océano-Atmósfera. En esta presentación se describen algunos de los mapas más representativos de la hidrodinámica del GoM.

OCE-13

## CONTRIBUCIÓN DEL VIENTO, EL CONFINAMIENTO TOPOGRÁFICO Y LOS REMOLINOS DE LA CORRIENTE DEL LAZO EN LA DINÁMICA DEL GIRO DE CAMPECHE

Olvera Prado Erick Raul[1], Romero Centeno Rosario[1], Zavala-Hidalgo Jorge[1], Moreles Vazquez Luis Efrain[2] y Ruiz Angulo Angel[3]
[1]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
[2]*Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*
[3]*Institute of Earth Sciences, University of Iceland*
erick@atmosfera.unam.mx

Actualmente, existe la necesidad de seguir generando conocimiento sobre la dinámica en el Golfo de México, lo cual beneficiaría a las distintas actividades de exploración, económicas, turísticas y de predicción que ahí se realizan. Uno de los aspectos más importantes es la circulación en la Bahía de Campeche, la cual ha sido ampliamente investigada con estudios observacionales y numéricos. De dichos estudios se han determinado los principales procesos físicos que gobiernan la circulación ciclónica que persiste en la región: viento, confinamiento topográfico y arribo de los remolinos de la Corriente del Lazo. Sin embargo, no se tiene un conocimiento completo de la contribución relativa de cada uno de estos procesos. El presente trabajo se enfoca en estimar la contribución de estos procesos, a través de distintas escalas de tiempo, en la dinámica del Giro de Campeche (GdC). Para el estudio se utilizaron un conjunto de simulaciones numéricas de complejidad variable usando el modelo HYCOM, en las cuales se aíslan los procesos físicos reportados como los responsables de la circulación ciclónica que persiste en la región. Los resultados muestran una correlación alta entre la componente estacional del rotacional del esfuerzo del viento, la circulación del GdC y el transporte en su rama oeste, tanto para los casos con presencia y ausencia de remolinos de la Corriente del Lazo. En el caso con presencia de los remolinos, se encontró que el arribo de éstos a la Bahía de Campeche causa una interrupción en el flujo del GdC, que es más evidente en los meses de febrero y marzo en promedio. Además, la corriente de frontera occidental en el GdC sostiene un transporte promedio (~2-3 Sv) similar a lo estimado con la función de corriente del balance de Sverdrup, sugiriendo que la topografía de la región podría tener un rol secundario en la circulación del GdC.

OCE-14

## ALTA VARIABILIDAD EN LA DISTRIBUCIÓN DEL NÍQUEL DISUELTO EN EL GOLFO DE MÉXICO: INFLUENCIA DE REMOLINOS E IMPLICACIONES BIOGEOQUÍMICAS

Félix-Bermúdez Armando[1], Delgadillo-Hinojosa Francisco[1], Torres-Delgado Eunise Vanessa[1], Lares María Lucila[1], Huerta-Diaz Miguel Angel[1] y Tovar-Sanchez Antonio[2]
[1]*Universidad Autónoma de Baja California*
[2]*Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (CSIC)*
armando.felix@uabc.edu.mx

El Golfo de México (GM) es uno de los mares marginales más dinámicos en el mundo, debido a la incursión de la corriente de lazo (CL) y a su influencia sobre la formación de grandes remolinos de mesoescala que viajan hacia el interior de este sistema. En la actualidad persiste el debate sobre el impacto real que genera dicha dinámica sobre las propiedades biogeoquímicas de la columna de agua del golfo, así como su relación con el abastecimiento de elementos bio-esenciales para los productores primarios. En este trabajo estudiamos la distribución espacial del níquel disuelto (Ni) en el GM, un elemento esencial para el crecimiento del fitoplancton que ha sido poco estudiado, así como el impacto que generan los remolinos de mesoescala sobre su distribución. Se realizó un muestreo oceanográfico en el GM (sur de 25º N) durante verano de 2017 en la campaña oceanográfica XIXIMI-6, la cual se llevó a cabo bajo un contexto de gran heterogeneidad en las condiciones de dinámica física de mesoescala. La distribución vertical de la concentración de Ni durante la campaña fue oceanográficamente consistente con la distribución "tipo nutriente" que presenta este elemento en el Océano Atlántico: valores bajos en superficie (1.62-2.11 nmol/kg) que incrementan gradualmente hasta alcanzar máximos en aguas profundas (3.70-4.00 nmol/kg). Sin embargo, los perfiles de Ni a lo largo del GM mostraron un abanico de variabilidad, asociado con el impacto que ejercen los remolinos de mesoescala sobre la distribución vertical de masas de agua en el golfo. Esta asociación tiene como fundamento la relación positiva altamente significativa que se encontró entre la altura dinámica absoluta (TDA) y la profundidad del Agua Central del Atlántico Tropical (TAC), fuente potencial de Ni hacia aguas superficiales. Así, las máximas TDAs asociadas a la presencia del remolino anticiclónico de la CL (Quantum) profundizaron la TAC ~400 m en referencia a su posición en el interior del GM, en donde se encontraron las menores TDAs. Esta variabilidad vertical afectó significativamente el inventario superficial de Ni (y posiblemente el de otros elementos con distribución tipo nutriente), generando un potencial impacto en los productores primarios que habitan las aguas cálidas y poco productivas del GM durante verano.

OCE-15

## RECUPERACIÓN DE DATOS HIDROGRÁFICOS ARGO A TRAVÉS DE FILTROS MEDIANTE ALGORITMOS DE PUNTO EN EL POLÍGONO Y ANÁLISIS DE GRUPOS

Romero Emmanuel[1], Tenorio Fernández Leonardo[2], Castro Iliana[3] y Castro Marco[3]
[1]*Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN*
[2]*CONACYT-Instituto Politécnico Nacional–Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas*
[3]*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Paz*
romeroqe.93@gmail.com

Actualmente existe una gran cantidad de datos hidrográficos de libre adquisición, siendo cada vez más importante tener acceso a ellos de manera eficiente y fácil, contando con la mayor cantidad de información posible. Argo, es una colección global de más de 15 000 perfiladores hidrográficos autónomos que han medido estos parámetros en el océano por más de 20 años. Los datos hidrográficos de Argo, pasan por dos procesos de calidad, el control de calidad en tiempo real y el control de calidad en modo diferido, el primero tiene una duración máxima de 24 horas y el segundo puede tardar hasta 12 meses en completarse. Este trabajo muestra una metodología para filtrar perfiles hidrográficos dentro de un polígono irregular dado, utilizando un algoritmo de punto en el polígono, esto permite el análisis de un área de estudio, independientemente de su tamaño, forma o ubicación. Además, ofrece dos métodos de filtrado para descartar solo los datos de control de calidad en tiempo real que presentan derivas de salinidad, aprovechando así la mayor cantidad de datos posible válidos dentro de un polígono dado. En el área de estudio seleccionada como ejemplo, se logró recuperar alrededor del 80% del total de datos de control de calidad en tiempo real en el caso del primer filtro, y del 30% de estos datos en el caso del segundo. Bajo recomendación de Argo, estos datos hubieran sido descartados por problemas como derivas de salinidad, sin embargo, pudieron ser recuperados a través de la metodología propuesta. La aplicación de esta metodología permite a los usuarios utilizar cualquiera de los filtros o una combinación de ambos, para tener la mayor cantidad de datos posible dentro del área de estudio de su interés en cuestión de minutos, de no hacerlo el usuario debe de esperar el control de calidad en modo diferido que tarda hasta 12 meses.

OCE-16

## VARIABILIDAD DE LAS ONDAS GRAVITATORIAS INTERNAS Y DE MOVIMIENTOS BALANCEADOS EN EL NORESTE DEL PACÍFICO TROPICAL MEXICANO

Cárdenas Pestana Jorge Alberto[1], Torres Gutiérrez Héctor Salvador[2], Tenorio Fernández Leonardo[1], Sánchez Velasco Laura[1], Martínez Flores Guillermo[1] y Cervantes Duarte Rafael[1]
[1]*Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN*
[2]*Jet Propulsion Laboratory - NASA*
jacpestana@gmail.com

Los movimientos balanceados (BMs) y ondas internas inercia-gravitatorias (IGWs) con escalas < 100 km capturan la mayor parte del campo de velocidad vertical del océano. Sin embargo, ellos tienen un impacto diferente en el balance de energía cinética del océano, lo cual explica la necesidad de caracterizarlos global y regionalmente. A diferencia de los BMs mesoescalares (> 50 km), los BMs en el régimen submesoescalar (1 – 50 km) no pueden diferenciarse de las IGWs, pues se encuentran en frecuencias cercanas o mayores a la frecuencia de Coriolis y ambos tienen escalas espaciales similares. Una forma de diferenciarlos es mediante un análisis espectral en el espacio de frecuencia-número de onda. Utilizando esta herramienta, el presente estudio caracteriza la variabilidad de las IGWs y los BMs en la columna de agua del Noreste del Pacífico Tropical mexicano. Mediante el modelo de circulación general del océano conocido como ECCO-LLC4320, se obtuvieron los datos de la altura superficial del nivel del mar (SSH), la temperatura potencial, la divergencia, la vorticidad y la energía cinética (KE), con una resolución temporal de 1 h y una espacial de ~ 2.2 km, durante el otoño del 2011 y la primavera del 2012, y a diferentes profundidades: superficie, 50 m, 300 m y 1000 m. Las salidas del modelo muestran una capa de mezcla somera (~50 m) tanto en otoño como en primavera. Lo que implica que los BMs submesoescalares están restringidos en los primeros 50 m de profundidad. El análisis espectral de los datos del modelo muestra que, en otoño, a 50 m de profundidad, hay una mayor actividad de IGWs y en primavera una mayor actividad de los BMs submesoescalares. Mientras que, a 300 m y 1000 m de profundidad, las ondas internas dominan sobre los BMs en ambas estaciones. Estos resultados son consistentes con la capa de mezcla somera en otoño y primavera.

OCE-17

## DISPERSIÓN SUPERFICIAL EN EL GOLFO DE TEHUANTEPEC

Santiago García Mauro W.[1], Parés Sierra Alejandro F.[2] y Trasviña Castro Armando[2]
[1]*Universidad Autónoma de Baja California*
[2]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
wsantiago@uabc.edu.mx

Dipolos de mesoescala son generados por vientos, intensos e intermitentes conocidos como Tehuanos en el Golfo de Tehuantepec. Un conjunto de 23 derivadores superficiales trazó la estructura dipolar cuya dispersión fue analizada con base a la estadística de una partícula: escalas temporal y espacial Lagrangianas y la difusividad bajo condiciones de vientos Tehuanos y post-Tehuanos. En términos promedios globales, la escala Lagrangiana temporal (espacial) fue de ~2.5 días (~50 km) y el coeficiente de difusividad varió entre 6 y 14 x 107 cm2 s-1. La dispersión en el interior del dipolo fue asimétrica. En condiciones de vientos Tehuano, la parte ciclónica del dipolo se erosiona; los derivadores son expulsados y transferidos a la parte anticiclónica. El vórtice anticiclónico atrapa y transporta de forma efectiva el conjunto de derivadores hacia el interior del océano. Bajo condiciones de vientos Tehuanos, la difusividad media zonal fue mayor que la meridional (15 vs. 8 x 107 cm2 s-1), relación que se mantuvo en la etapa post-Tehuanos (11 vs. 8 x 107 cm2 s-1), patrones posiblemente asociados a la geometría del vórtice. La difusividad (zonal y meridional) en el interior del remolino anticiclónico es un orden de magnitud menor a la difusividad en el interior del vórtice ciclónico O(108), i.e., en condiciones de vientos Tehuanos, aunque el número de elementos (~23 segmentos independientes) usados para el análisis podría ser poco confiable. Finalmente, la dispersión en el intervalo 0.25<t<2.5 días, exhibió un régimen balístico, donde la dispersión crece cuadráticamente con el tiempo y entre 3<t<~30 días, la dispersión es proporcional al tiempo, i.e., el régimen de caminata aleatoria. Estos resultados contribuyen a la parametrización de modelos Lagrangianos que típicamente usan un esquema de advección-difusión para estudiar la dispersión en el océano.

OCE-18

## TRANSPORTE DE LARVAS DE PECES Y CONECTIVIDAD EN LA REGIÓN TROPICAL-SUBTROPICAL FRENTE A MÉXICO

Tafolla David[1], Beier Emilio[2], Sánchez-Velasco Laura[3] y Kurczyn J. Alejandro[4]
[1]*Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*
[2]*Laboratorio de Macroecología, CICESE-Unidad La Paz*
[3]*Departamento de Plancton y Ecología Marina, CICIMAR, IPN. B.C.S.*
[4]*Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros, UNAM*
dlanderos@cicese.mx

El Pacífico Tropical-Subtropical frente a México se ubica entre los 18° y 25°N y los 120°O hasta la costa. Se caracteriza por ser una zona de convergencia donde

confluyen dos corrientes superficiales: el brazo Tropical de la Corriente de California (Agua de la Corriente de California, ACC) hacia el ecuador y la Corriente Costera Mexicana (Agua Tropical Superficial, ATS) hacia el polo, ambas con un fuerte forzamiento estacional. La región de confluencia recibe también aporte de Agua del Golfo de California, AGC, y entre estas tres masas de agua, forman el Agua Transicional (ATrans). Se estimó el transporte larval y la conectividad entre regiones en abril 2012 y septiembre 2016, que corresponden a dos cruceros oceanográficos. Se recolectaron muestras de larvas de peces en la capa de mezcla (#50 m). Para el análisis se consideró el total de larvas muestreadas con más del 85% en preflexión. En abril 2012 se encontró AGC y ATrans. En septiembre 2016 también se detectaron dos masas de agua: ATrans y ATS. Con el modelo Lagrangiano SIMLATS, se calculó el transporte superficial de partículas inertes a partir de estaciones de muestreo donde se recolectaron larvas, y posteriormente se calculó la conectividad entre masas de agua en ambos cruceros. Se realizaron experiementos de retro-cálculo de trayectoria de partículas virtuales, simulando un total de 20 días. Las rutas de transporte y la conectividad siguen el movimiento superficial de las masas de agua en cada periodo: en abril 2012 con el flujo de AGC hacia el sur, y en septiembre 2016 con la advección de ATS hacia el norte.

Sesión regular

# RIESGOS NATURALES

Organizadores:
David Novelo
Gerardo Suárez

RN-1

## RECONSTRUCCIÓN 3D COMO METODOLOGÍA DE MONITOREO DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS CIVILES POR SUBSIDENCIAS, EN CDMX

Vidal García Gabriela[1], Ramírez Serrato Nelly Lucero[2], Caballero García Ana María Lizeth[3], Jácome Paz Mariana Patricia[4], Herrera Zamarrón Graciela[4], Yépez Rincón Fabiola D.[5] y López Valdés Nestor[6]
[1]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[2]*Laboratorio de Percepción Remota, Departamento de Recursos Naturales, Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[4]*Departamento de Recursos Naturales, Instituto de Geofísica, UNAM*
[5]*Facultad de Ingeniería Civil, UNAM*
[6]*Facultad de Ciencias, UAM*
nellyss_21@hotmail.com

Es bien conocido que la Ciudad de México tiene un problema con las subsidencias en la zona urbana. El espesor de las arcillas subterráneas compuestas por sedimentos lacustres altamente compresibles combinado a la extracción del acuífero correspondiente han causado modificaciones en el terreno a un paso muy lento. Estudios previos indican que existe un hundimiento anual de 15 a 25 cm en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, 10 cm en el centro y entre 10 a 15 cm en el área sureste de la Ciudad de México. Estas zonas de subsidencia han causado daños en las estructuras civiles incluidas tuberías hidráulicas, aceras, edificios y pavimentos. Por este motivo, es necesario realizar estudios específicos relacionados con el análisis de estos daños, su forma y velocidad de cambio. Para esto, se está trabajando en desarrollar una metodología de monitoreo de estos daños. Para lo cual se han realizado recorridos de campo, con la implementación de diferentes técnicas y sensores de captura de imágenes y diferentes técnicas de montaje del equipo para realizar reconstrucciones 3D a partir de fotogrametría. Los resultados han ayudado a identificar una fórmula eficiente de toma de datos en campo que como trabajo futuro se compararon con levantamientos en los mismos sitios en diferentes momentos en el tiempo.

RN-2

## MODELO SIG DE SUSCEPTIBILIDAD A SUBSIDENCIAS PARA CDMX

Ramírez Serrato Nelly Lucero[1], García Cruzado Sergio Armando[2], Yépez Rincón Fabiola D.[3], Herrera Zamarrón Graciela[4], Hernández Hernández Mario[5], Hernández Espriú José Antonio[6] y Velasco Herrera Victor Manuel[7]
[1]*Laboratorio de Percepción Remota, Departamento de Recursos Naturales, Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Facultad de Ingeniería, BUAP*
[3]*Facultad de Ingeniería Civil, UNAM*
[4]*Departamento de Recursos Naturales, Instituto de Geofísica, UNAM*
[5]*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Cátedras CONACYT- Instituto de Geofísica, UNAM*
[6]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[7]*Instituto de Geofísica, UNAM*
nellyrmz@igeofísica.unam.mx

La dinámica de cultivo utilizada en la época prehispánica llevó a la construcción de una comunidad dentro de un lago, sin embargo, con el paso del tiempo, las zonas inundadas, los canales internos, así como el resto de las construcciones pasaron a ser una gran ciudad con el crecimiento exponencial de la urbanización, todo esto sin las medidas precautorias ni la gestión adecuada del territorio. El pasado subterráneo de la Ciudad de México ha representado problemas en la deformación de la superficie de manera notoria provocando danos importantes en las estructuras civiles presentes. Estudios previos indican una velocidad de hundimiento de entre 10 a 25 cm al año, con un máximo de 40 cm registrados en el límite Noreste que colinda con el Estado de México. El objetivo de este proyecto es obtener un modelo multi-criterio de Susceptibilidad a Subsidencias para la CDMX. Los criterios utilizados incluyen: densidad de pozos de extracción, balance de agua, índice de sequía, vialidades, litología, lineamientos geológicos y arroyos. El mapa obtenido es comparado con un mapa de calor de socavones registrados en 2017-2019 y un mapa de velocidad de hundimientos, ambos de investigaciones anteriores. El resultado nos muestra la correlación que existe entre estos factores y las zonas reportadas con daños.

RN-3

## AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE LA TRAZA DE FALLAS ACTIVAS POR SUBSIDENCIA

Pacheco-Martínez Jesús[1], Luna-Villavicencio Hugo[1], Chávez-Salas Sergio Daniel[1], Aguilar-Valdés Francisco Javier[2] y Hernández-Marín Martín[1]
[1]*Universidad Autónoma de Aguascalientes*
[2]*Ciencia de la Tierra Asesores SC*
jesus.pacheco@edu.uaa.mx

Un problema no resuelto, asociados a la generación y reactivación de fallas en las zonas de subsidencia, es la determinación del ancho de afectación de la traza de la falla activa en donde las construcciones y la infraestructura puede verse afectada por las deformaciones del terreno. El ancho de afectación de dichas discontinuidades es claramente visible en las zonas urbanas, en donde se puede determinar su tamaño por los daños observados en las construcciones, sin embargo, en las zonas en donde aún no se ha construido la determinación de la traza de la falla o fracturamiento no es clara, debido a que las deformaciones son muy pequeñas para dejar evidencias en el terreno natural. En este trabajo se presentan los resultados de la caracterización de varias zonas de fracturamiento localizadas en el valle de Aguascalientes empleando métodos de exploración sísmica y eléctrica. Los resultados muestran la existencia de anomalías de baja velocidad de propagación de la onda sísmica, y anomalías de resistividad alta asociadas a las fallas y fracturas del terreno. Dichas anomalías se explican como causadas por un aumento de la porosidad secundaria por microfisuramientos en el material alterado por la actividad de la falla. A partir estas anomalías geofísicas es posible determinar el ancho de afectación de la falla o fractura, es decir la zona a un lado y otro del escarpe o fractura principal en donde las construcciones pudieran verse afectadas por las deformaciones del terreno.

RN-4

## ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR INUNDACIONES MEDIANTE MODELO MULTICRITERIO BASE SIG - CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO PESQUERÍA

Mireles Soria Diana L., Yépez Rincón Fabiola D. y Guerra Cobián Víctor Hugo
*Universidad Autónoma de Nuevo León*
diana.mirso@gmail.com

Las inundaciones son un fenómeno complicado y hay muchos factores humanos y naturales involucrados en su ocurrencia o desarrollo. El mapeo histórico de las áreas susceptibles de sufrir desastres es fundamental para la prevención y gestión de inundaciones, así como para establecer políticas públicas y planes de desarrollo sustentables. De acuerdo con la CENAPRED, más del 86.8% de los daños y perdidas en México, de 2000 a 2018, fueron provocados por fenómenos de origen hidrometeorológico. Dichos eventos al incidir en áreas urbanas causan inundaciones que provocan pérdidas de bienes, repercusiones sociales y económicas de los individuos y el deterioro de infraestructura de servicios. Por todo lo anterior resulta de gran importancia la generación de información relacionada a la evaluación y regionalización de los riesgos de desastres por inundaciones en las ciudades del país. El presente estudio se lleva a cabo en el Rio Pesquería, ubicado al norte de la zona Metropolitana de Monterrey. Este río se encuentra bajo la presión de la urbanización, la cual provoca en él problemas de contaminación y modificaciones morfológicas en su cauce. Con proyectos anteriores se realizó una caracterización general de la cuenca y mediante un análisis multicriterio se valoró la calidad ambiental del río, identificando a su vez, numerosas descargas y puntualizando posibles riesgos hidrológicos. Los métodos base SIG para inundaciones a menudo se basan en supuestos estadísticos y la selección de factores condicionantes de inundaciones. El presente trabajo se centra en la identificación de sitios vulnerables para inundaciones, utilizando sensores remotos que permitan una alta resolución en la información y considerando factores como conectividad, asentamientos irregulares, aportes naturales y artificiales y uso de suelo. El modelo consiste en simular la realidad de este tipo de ecosistemas, utilizando los sistemas de información geográfica (SIG), mediante una superposición de pixeles, los cuales se conjugan a través de una suma lineal equitativa o a través de la superposición y ponderación de factores que alteran el entorno. La metodología para alcanzar los objetivos se basó en la compilación de la información del área de estudio, la generación de capas de los factores mencionados y la valorización de estos. Se identificaron viviendas con vulnerabilidad física expuesta al peligro por inundación, así como obras de infraestructura pública que requieren de gestión inmediata. Finalmente, se generaron varios mapas temáticos y un mapa final de vulnerabilidad de riesgo hidrológico. Estos pueden servir de base a las autoridades para localizar sitios para planes estratégicos con el objetivo de anticipar y disminuir los deterioros que provoca una inundación.

RN-5

## AVANCES ESTRATIGRÁFICOS EN EL ANÁLISIS DE DEPÓSITOS DE LAHARES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO CHONDO, VERTIENTE NOROESTE DEL VOLCÁN TANCÍTARO, MICHOACÁN, MÉXICO

García Tenorio Felipe[1], Vázquez Morales Rosario[2], Mendiola López Fabiola[3] y Carlón Allende Teodoro[3]
[1]*Laboratorio de Petrografía, Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Juriquilla, UNAM*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
tenoriogf@geofisica.unam.mx

Los lahares son fenómenos comunes en la historia geológica de los estratovolcanes y pueden inundar áreas alrededor de éstos a distancias lejanas, especialmente en las partes bajas. La Subcuenca del Río Chondo situada en la vertiente Noroeste del volcán Tancítaro, es una de las más prominentes del volcán y en la que hemos observado depósitos de este tipo de fenómenos; de hecho, los poblados como Peribán de Ramos y Ángeles (Gildardo Magaña) se encuentran situados dentro de la zona de inundación del cauce y el abanico aluvial del Río Chondo. A partir del 2019, se comenzaron a realizar estudios estratigráficos y cartográficos en la subcuenca el río Chondo, los cuáles permitieron identificar al menos cinco eventos

de lahar (1, 2, 3, 4 y 5), entre ellos, un evento histórico reciente (lahar 5), ocurrido de forma posterior a las erupciones del volcán Parícutin (1943-1952). Los depósitos de lahar estudiados, son en su mayoría, de tipo flujo de detritos (es decir >60% por vol. de sedimentos). Un depósito de Corriente de densidad piroclástica separa el lahar 1 de los demás depósitos de lahar. Sin embargo, ningún deposito lahar esta relacionado directamente a este evento piroclástico, el cual debió ser originado por erupciones explosivas del volcán Tancítaro, cuya edad del volcán es del Pleistoceno Temprano-Medio (Ownby et al., 2007). Los depósitos nombrados como 1, 2, 3 y 4 son masivos, heterolitológicos y sus espesores varían de 1.5 a >4 m. El depósito 5, es un flujo de detritos enriquecido en cenizas volcánicas del volcán Parícutin, yace erosivamente sobre el horizonte de caída de escorias del volcán Parícutin, y tiene un espesor de 50 cm. Los datos estratigráficos muestran que este tipo de fenómenos han ocurrido en el pasado en varias ocasiones en la subcuenca del río Chondo y aún en tiempos modernos. Los asentamientos urbanos establecidos en las zonas de inundación del cauce principal del río, ponen de manifiesto el grado de exposición al que está sujeta la población y la infraestructura civil a fenómenos inundación en el futuro.

RN-6

## EVALUACIÓN DEL RIESGO POR TORNADOS EN MÉXICO: UN ENFOQUE BASADO EN SIG

León Cruz José Francisco[1] y Castillo Aja Rocío[2]
[1]*Instituto de Geografía, UNAM*
[2]*Universidad de Guadalajara*
jleon@igg.unam.mx

Los tornados se consideran fenómenos naturales potencialmente desastrosos. Estos eventos se han documentado en prácticamente todo el mundo, y debido a su rápido desarrollo y limitada capacidad de predicción, suelen ocasionar daños importantes. Investigaciones recientes han demostrado que los tornados son fenómenos naturales comunes en México. Cada año, decenas de estos son documentados principalmente en el centro y noreste del país. Tornados significativos como los ocurridos en Piedras Negras en 2007, Toluca en 2012, Cd. Acuña en 2015, y Apodaca en 2020, representan sólo algunos ejemplos del potencial destructivo que dichos fenómenos naturales tienen. En México, poco se conoce sobre el riesgo asociado a la formación de tornados. Por lo que, hasta el día de hoy, no existe un mapeo enfocado a dichos fenómenos como ya existe, por ejemplo, ante ciclones tropicales, heladas, tormentas de granizo, etc. En este contexto, en el presente trabajo de investigación se realiza una evaluación del riesgo ante tornados en México desde un enfoque basado en Sistemas de Información Geográfica. Con este objetivo, se generaron tres índices que representan en su conjunto al riesgo: peligro, vulnerabilidad y exposición. El peligro fue aproximado a través de datos documentales de tornados históricos y parámetros meteorológicos relacionados con entornos convectivos potencialmente severos. Para la vulnerabilidad se construyeron indicadores a partir de datos sociodemográficos del último Censo Nacional de Población y Vivienda (2020). Con tales indicadores, se realizó un análisis factorial a partir del cual se definió un índice ponderado. Finalmente, la exposición se definió a partir de la densidad poblacional. Los resultados muestran un primer mapeo a nivel municipal del riesgo que los tornados representan para la población mexicana. Estos se acoplan a los mapeos del riesgo ante granizadas y tormentas eléctricas del CENAPRED y complementan el abanico de peligros asociados a las tormentas convectivas severas en el país.

RN-7

## EL COMPORTAMIENTO DE LA POBLACIÓN ANTE LA ALERTA SÍSMICA EN MÉXICO

Vaiciulyte Sandra, Novelo Casanova David Alberto y Garduño González Ana Belén
*UNAM*
sandra.vcity@gmail.com

Los sismos en México han afectado a más de cuatro millones de personas en los últimos 100 años. Ante la ocurrencia de un sismo significante, si un individuo no percibe que se encuentra en riesgo y, posteriormente, toma una decisión incorrecta sobre si evacuar y cuándo hacerlo, entonces es posible concebir que se podrían amenazar y perder vidas humanas. Comprender como se comportan las personas y sus implicaciones es posible mediante el análisis de las respuestas cognitivas y emocionales que influyen en el proceso de la toma de decisiones. Aunque existen políticas gubernamentales y la comunicación sobre medidas de protección, se ha observado que las poblaciones que responden a los sismos y a los Sistemas de Alerta Sísmica Temprana (SAST) pueden tomar decisiones que las ponen en peligro. El propósito de esta investigación es fortalecer estas políticas públicas para la reducción del riesgo sísmico. Se pretende cerrar la brecha entre la sismología y las ciencias sociales mediante el análisis de tales respuestas del comportamiento humano utilizando datos de varios estados de México expuestos a sismos de manera recurrente incluyendo a la Ciudad de México, Puebla, Oaxaca, y Guerrero. El principal objetivo es entender las respuestas del comportamiento humano ante los sismos y a los SAST explorando la relación entre las características individuales (genero, discapacidades, situación familiar), el uso de la información (incluidas las redes sociales) para realizar acciones de preparación así como la percepción del riesgo, las consecuencias personales, los daños estructurales de las edificaciones y la respuesta individual (evacuación, repliegue, entre otras). Se identificarán las motivaciones para refugiarse o evacuar. Nuestra metodología de análisis incluye factores sociales y sismológicos.

RN-8

## ACOMPAÑAMIENTO COMUNITARIO EN LA ELABORACIÓN DE PLANES DE EMERGENCIA

Garduño González Ana Belén[1] y Novelo Casanova David Alberto[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*UNAM*
anabehebakn.n@gmail.com

En esta investigación se sintetizan múltiples experiencias colaborativas para intervenir en el diagnóstico y creación de grupos y comités comunitarios que brinden respuesta a emergencias de distintos ámbitos. Se presentan las experiencias de actividades realizadas en Unión Juárez, Chiapas, y Zihuatanejo, Guerrero, colaborando con instituciones locales como escuelas e instancias de protección civil así como conformando grupos vecinales con el propósito de que se vinculen con las diversas instancias que permitan reducir las condiciones de vulnerabilidad prevalentes al habitar en comunidades expuestas a diferentes escenarios de riesgo por fenómenos de origen natural. La metodología considera el análisis de los escenarios utilizando elementos de la investigación acción-participante la cual consiste en un proceso de acompañamiento en el que se aplica una diversidad de herramientas en un proceso de aprendizaje en espiral que involucra tanto al investigador como a la población. De esta manera, se adoptan aptitudes conforme la demanda del escenario lo requiere. Se presentarán los principales resultados obtenidos así como los cuestionamientos que surgen al configurar un mecanismo de transición de poblaciones vulnerables a resilientes. Resultados preliminares han permitido ubicar espacios y personas que las poblaciones identifican como posibles riesgos, identificar actores relevantes para la consolidación de grupos de respuesta ante las emergencias, jerarquizar acciones a desarrollar, así como iniciar el desarrollo de acciones diagnósticas participativas.

RN-9

## INTERFEROMETRÍA DE DISPERSORES PERMANENTES APLICADA A LA DETECCIÓN DE LOCALIDADES AFECTADAS POR SUBSIDENCIA EN EL OCCIDENTE DE MICHOACÁN

Villaseñor Reyes Cecilia Irene[1], Hernández Madrigal
Víctor Manuel[1] y Figueroa Miranda Sócrates[2]
[1]*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
[2]*División de Geociencias Aplicadas, IPICYT*
cecilia.villarey@gmail.com

La subsidencia se define como el hundimiento súbito o gradual de la superficie terrestre, generando daños significativos en estructuras e infraestructuras civiles. En México, los primeros reportes del fenómeno datan de la década de 1920 y hacen referencia a la subsidencia concéntrica por consolidación de arcillas altamente comprimibles en la cuenca de la Ciudad de México. En la actualidad, el número de poblaciones con reportes de subsidencia asciende a 99 ciudades y 12 delegaciones de la Ciudad de México. La mayoría de los esfuerzos por definir y caracterizar el fenómeno se han concentrado en los grandes centros urbanos afectados, como Ciudad de México, Morelia, Aguascalientes y Querétaro. Sin embargo, existe una falta de atención hacia localidades de menor tamaño, cuya condición de sus acuíferos y su ubicación en el contexto geográfico-geológico es similar a la de los casos más estudiados. Para este trabajo se seleccionó un área de 10400 km2 del Occidente de Michoacán, caracterizada por un relieve con sierras volcánicas bien desarrolladas y cuencas de variada dimensión rellenas por sedimentos deformables de origen fluvio-lacustre, afectadas por al menos dos grandes sistemas de fallas. En esta región, solamente la ciudad de Zamora ha sido identificada con anterioridad con tasas de hundimiento de casi 13cm/año. Con el objetivo de identificar otras comunidades rurales afectadas por subsidencia, se aplicó la técnica de Interferometría de Dispersores Permanentes (PSI). El PSI aprovecha la diferencia de fase de la señal captada por un sensor SAR (Radar de Apertura Sintética) dentro de un conjunto de imágenes para determinar la serie de tiempo de la deformación de objetivos retro-dispersores (e.g. roca expuesta, construcciones, etc.) en un área extensa y a nivel milimétrico. El procesamiento realizado utilizó 37 imágenes de geometría descendente del satélite Sentinel-1 abarcando el periodo de enero 2018 a febrero 2021. El pre-procesamiento de las imágenes se realizó en el software SNAP, mientras que los dispersores permanentes fueron obtenidos con el algoritmo StaMPS v4.1b. Como resultado, se identificaron 20 localidades afectadas por subsidencia, incluyendo la ciudad de Zamora y 19 poblaciones no reportadas con anterioridad. Once de estas localidades se ubican al oriente de la zona de estudio en la cuenca del Lago de Chapala y el graben de Tarímbaro. Estas poblaciones presentan un patrón espacial de subsidencia no muy desarrollado, tasas de hundimiento máximo menores a los 2 cm/año y series de tiempo con afectación por ruido. Las nueve poblaciones restantes se localizan al occidente de la zona de estudio en la Ciénega de Chapala y el Valle de Zamora. Las tasas de hundimiento en estos casos son superiores a 2 cm/año, con un patrón espacial de subsidencia bien desarrollado y tendencias bien definidas en las series

de tiempo. Las localidades más significativas son la ciudad de Sahuayo y Zamora, con tasas de hundimiento máximo de 5 cm/año y 8 cm/año, respectivamente.

RN-10

## MEXINSAR: EL MAPA NACIONAL DE DESPLAZAMIENTO DEL TERRENO EN MÉXICO BASADO EN INSAR

Solano-Rojas Darío[1], García-Venegas Josué[1], Zhang Yunjun[2], Cabral Cano Enrique[3], Fernández-Torres Enrique[3] y Wdowinski Shimon[4]
[1]*Facultad de Ingenieria, UNAM*
[2]*California Institute of Technology, Caltech*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[4]*Florida International University, Earth & Environment Department*
dsolano@unam.mx

Los riesgos naturales e inducidos por el hombre afectan adversamente a las ciudades, sus habitantes, actividades, y construcciones. Las afectaciones incluyen cuantiosos costos económicos, pérdida de patrimonio de las personas, pérdida de vidas humanas, entre muchos otros. Por lo tanto, la medición de los movimientos del terreno asociado con esos riesgos es indispensable para detectarlos, estudiarlos, e incluso mitigar su impacto. Diversos riesgos, tales como sismos, deslizamientos de ladera, la subsidencia del terreno, los socavones, y las erupciones volcánicas producen movimientos en el terreno previo, durante o después de su ocurrencia. Sin embargo, el territorio nacional mexicano es muy extenso. Afortunadamente, la interferometría de radar de apertura sintética (InSAR) permite hacer análisis de deformación del terreno a gran escala y con mediciones adquiridas en el orden de días. En este trabajo, presentamos el mapa de deformación del terreno del territorio mexicano basado en InSAR: MexInSAR. Países como Holanda, Alemania, Italia, Noruega, Dinamarca y Japón cuentan con mapas de desplazamiento a nivel nacional usando InSAR. El área cubierta por este análisis es >1.3 veces la suma del área de esos países. Para este trabajo, procesamos >27000 escenas SAR de banda C adquiridas entre 2014 y 2020, las cuales equivalen a >100 TB de datos crudos, adquiridas por los satélites Sentinel-1A y B. El área cubierta en este trabajo, así como la cuantiosa cantidad de datos procesados, lo hacen único en su tipo a nivel mundial. Los resultados de este trabajo se conforman de mapas de velocidades y series de tiempo de todo el territorio nacional en el periodo de estudio de 6 años. Para facilitar el procesado de dicho volumen de datos, dividimos el territorio nacional en múltiples sub-áreas, para las cuales determinamos de manera individual los parámetros óptimos de procesado. Nuestra estrategia de procesado se divide en dos pasos principales: Primero, calculamos pares interferométricos y corregimos por contribuciones topográficas de la fase. Segundo, invertimos series de tiempo y calculamos tasas anuales de desplazamiento. Nuestro análisis revela el comportamiento en tiempo de diversos sistemas acuíferos en el país experimentando subsidencia del terreno, los cuales son consistentes con patrones previamente reportados y revelan además nuevas señales espacio-temporales. Además, encontramos señales asociadas a la ocurrencia de desplazamientos de ladera, así como deformación del terreno asociada al ciclo sísmico asociado a la zona de subducción. Tenemos la esperanza de que los mapas de velocidad y las series de tiempo resultantes de este trabajo sean útiles para facilitar el desarrollo de nuevas relaciones de colaboración científica nacional e internacional y que ayuden a generar de más investigaciones de los riesgos naturales en el territorio mexicano.

RN-11

## ESTUDIO DE FLUJOS DE ROCAS EN EL ORIENTE DE MICHOACÁN, CASOS: LAS PILAS, JUNGAPEO Y TUXPAN

Torres Velazquez Itzayana, Hernández Madrigal Víctor Manuel y Sánchez Contreras Karina
*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
itzayanatrrv@gmail.com

Los Procesos de Remoción en Masa son uno de los fenómenos que cada año afectan a la población y a su infraestructura con lamentables pérdidas humanas e incalculables impactos económicos. Para su estudio, se clasifican en diversas categorías entre las que destacan por su magnitud los Flujos de Rocas. Esta categoría se desarrolla principalmente en terrenos geológicos antiguos con relieve montañoso, y se considera particularmente peligrosa debido a que el movimiento lento que lo caracteriza durante largos periodos de tiempo, puede incrementarse súbitamente durante un evento detonante (precipitación o sismo). Pasando de una deformación tipo creep a una avalancha de rocas en intervalos de tiempos reducidos. Tal es el caso de tres cuerpos inestables en las localidades de Las Pilas, Jungapeo y Turundeo, en el Oriente de Michoacán; que registraron evidentes reactivaciones durante las precipitaciones atípicas de febrero del 2010, diez veces más copiosas en comparación del mismo mes de otros años. Estas deformaciones activas ponen en riesgo a centros de población por lo que estamos desarrollando su caracterización morfométrica y morfológica, así como la implementación de un sistema de monitoreo permanente. Lo anterior a través del registro y comparación multitemporal de nubes de puntos 3D adquiridas con una resolución espacial de 8 mm con un Escáner Laser Terrestre. Permitiéndonos detectar movimientos milimétricos del terreno en diferentes temporalidades. Hasta el momento se tienen resultados preliminares del desplazamiento vertical y horizontal a partir de comparar MDE de INEGI (1998) contra MDE obtenidos con escáner (2020), obteniendo los siguientes valores: Las Pilas 0.20 y 0.22 m/año; Turundeo 0.34 y 0.62 m/año y Jungapeo 0.38 y 0.9 m/ año. Con clasificación de actividad extremadamente baja, muy baja y baja, respectivamente.

RN-12

## ANÁLISIS MULTICRITERIO APLICADO EN LA DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN COMUNIDADES ZOQUE, NORTE DEL ESTADO DE CHIAPAS

Iglesias Carreño Irma Lisset[1], Pardo Pedrote Ignacio Ari-Zhaell[2] y Pérez Gutiérrez Rosalva[1]
[1]*Escuela Superior de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero*
[2]*Colectivo para la Evaluación y Prevención de Riesgos Geológicos (Tlalli)*
14413334@uagro.mx

Los Procesos de Remoción en Masa, son peligros naturales, cuyo impacto durante las últimas décadas han cobrado importancia. Su ocurrencia e intensificación, obedecen a factores climáticos, geológicos, estructurales y antropogénicos que deben observarse en conjunto a pesar de la aparente heterogeneidad de los componentes. De ahí la importancia de conocer los elementos involucrados en la ocurrencia de los PRM, a fin de generar modelos estáticos y dinámicos que expliquen las condiciones y los mecanismos de activación. Derivado de lo anterior, múltiples metodologías han sido propuestas para zonificar y determinar niveles de susceptibilidad antes diversos peligros naturales, la mayoría parte del análisis de diversos factores o criterios que describen condiciones naturales o humanas que poseen una distribución espacial conocida. En la primera semana de noviembre de 2020, los municipios de Francisco León, Ixtacomitán, Tapilula, Rayón, Ixhuatán, Pantepec, Chapultenango, Tecpatán y Solosuchiapa, entre otros, resultaron con daños importantes por el paso del Huracán Eta, que azotó el norte del estado de Chiapas. Entre las afectaciones se identificaron 95 sitios donde los caminos fueron cortados o colapsados, tres deslizamientos de laderas de magnitud importante, tres personas muertas y la pérdida total de las viviendas de sesenta familias de las comunidades zoque San Antonio El Canelar, Carmen Tonapac y Candelaria. Partiendo del reconocimiento de los elementos involucrados en la ocurrencia de los PRM en la región zoque, se realizó la ponderación para determinar su grado de importancia como factor de cálculo a través del Proceso de análisis jerárquico (AHP) o matriz de Saaty, como factores se consideraron al grupo de los condicionantes, aquellos inherentes al terreno y que constituyen al coeficiente de susceptibilidad; por otro lado, a los detonantes o agentes externos que pueden ser súbitos y cuyo reconocimiento espacio-temporal no está bien definido, también conocido como coeficiente de amenaza. Como resultado preliminar, se elaboró un mapa de susceptibilidad por PRM con base en la metodología modificada de Macrozonación o Mora-Vahrson, tomando en cuenta cuatro factores condicionantes: la litología, la pendiente del terreno, la densidad de drenaje y el uso del suelo. La litología predominante es una secuencia de rocas sedimentarias clásticas intercaladas con calizas y dolomitas, así como brechas y derrames diorítico-andesíticos; la pendiente del terreno varía de inclinada hasta extremadamente escarpada; la densidad de drenaje va de media a fina, evidenciando materiales poco permeables y muy erodables, así como zonas de alta humedad; en cuanto al uso de suelo, se aprecia un incremento importante en el área ocupada por pastizales y suelos desprovistos. Este análisis, aún sin considerar los factores detonantes, muestra un escenario poco alentador para las comunidades, en él se refleja el agresivo proceso de cambio de uso de suelo ocurrido durante los últimos 35 años, resultado de la tala de los boques y la inducción del pastizal para el ganado. Esta transformación puede favorecer la generación de PRM de dimensiones considerables, como el acontecido en Ixhuatán, y de ocurrencia súbita, como es el caso de El Avellano; lo que provocaría afectaciones mayores a la población zoque.

RN-13

## ACTIVIDAD SÍSMICA EN EL VOLCÁN CITLALTÉPETL (PICO DE ORIZABA) DE MAYO A AGOSTO DE 2021

Valdés González Carlos Miguel[1] y Caballero Jiménez Gema Victoria[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Centro Nacional de Prevención de Desastres*
carlos.valdes@unam.mx

El volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba), el mas alto de Norteamérica, con 5,564 m, esta a 180 Km de Ciudad de México y 65 de Xalapa. Es considerado activo, y su historia eruptiva indica que del año 700 a 1687, ocurre la última fase eruptiva-efusiva, con un evento pliniano, y lavas que fluyeron del cráter superior en todas direcciones. En 1537, ocurrieron flujos de lava al norte-noreste, en 1545, 1566 y 1613 hacia el sur, en 1867 una erupción explosiva y de 1867 a presente sólo actividad fumarólica. En un radio de 35 Km del Citlaltépetl, que incluye las ciudades: Córdoba, Orizaba y Serdán, de Veracruz y Puebla, habitan un millón de personas de ellas 260 mil son menores de 12 años y 97 mil mayores de 60 años. También hay 290 mil viviendas, 246 establecimientos de salud, 2,648 escuelas, 286 supermercados y 199 bancos. La carretera Federal 140-143, de mucha importancia, une CdMX con Veracruz, recorre 60 km a menos de 35 km del volcán. Actividad sísmica, cercana y asociada al volcán, se detectó desde 1994, con un sismómetro de período corto, en el sur a 2.3 Km del cráter y 4,480 m de elevación, registrando 8 sismos con coda entre 10-18 segundos y frecuencias de 3-6 Hz, del 22 al 24 de abril de ese año. Eventualmente este sitio recibió una estación permanente (POC) y transmisión continua, desde

junio 2001. Un sismómetro triaxial (POH), se instaló a 5 km al Norte del volcán, con transmisión continua, en marzo de 1998. Con estas estaciones, en 38 meses entre marzo 1998 y junio 2001, se identificaron 465 microsismos, no localizables. El 25 de junio y 4 de julio de 2001 se localizaron tres sismos volcano-tectónicos (VT), dos con M2 y uno M3. Sus profundidades entre 8.5 y 1.8 Km y ubicados al oeste del cráter a 4 km. Por lo que, no es ausente la sismicidad en el Citlaltépetl. En el año 2021, el 28 de mayo, se registraron 28 VTs en la estación POH, y al 6 de agosto, sumaban 64 eventos, la mayoría VTs, y al menos 3 LPs. El mayor de esta serie ocurrió el 8 de mayo con M2.8, parecido al evento de 2001 de M3. Las lecturas S-P de estos eventos varían entre 0.4 y 1.7s, algunos de 4s. La coda fluctúa entre los 4 y 55s. Espectros obtenidos para ondas P y S, indican frecuencias de 7 y 6.2Hz, respectivamente y 2Hz para los LP. Usando azimut de arribo, se localizaron los sismos, alrededor del edificio principal, a distancias entre 3.5 y 6 Km del cráter, 4 sismos están cerca de los sismos de 2001. El Citlaltépetl es un volcán activo y potencialmente peligroso. Sería recomendable instalar una red sísmica de mayor cobertura, capacidad y transmisión telemétrica, y llevar a cabo el monitoreo de parámetros químicos, de deformación y visuales en tan importante volcán.

RN-14

## EL ATLAS DE RIESGO DE LA CIUDAD DE MÉXICO: UNA HERRAMIENTA PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES

Novelo Casanova David Alberto[1], Suárez Reynoso Gerardo[1], Cabral Cano Enrique[2], Fernández Torres Enrique A.[3], Fuentes Mariles Oscar A.[4], Havazli Emre[5], Jaimes Miguel A.[6], López Espinoza Erika D.[7], Martin del Pozzo Ana Lilian[8], Morales Barrera Wendy V.[9], Morales Rodríguez Hipólito L.[4], Nieto Torres Amiel[8], Rodríguez Elizarrarás Sergio[9], Solano Rojas Darío[10] y Velasco Herrera Victor M.[11]

[1]*Departamento de Sismología, Instituto de Geofísica, UNAM*

[2]*Departamento de Geomagnetismo y Exploración, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México*

[3]*Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM*

[4]*Coordinación de Hidráulica, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México*

[5]*University of Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, 4600 Rickenbacker Cswy, Miami, FL 33149, USA*

[6]*Coordinación de Ingeniería Estructural, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México*

[7]*Departamento de Ciencias Atmosféricas, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México*

[8]*Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, UNAM*

[9]*Departamento de Dinámica Terrestre Superficial, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México*

[10]*Facultad de Ingeniería, UNAM*

[11]*Instituto de Geofísica, UNAM*

dnovelo@geofisica.unam.mx

En esta investigación, el Atlas de Riesgos de la Ciudad de México (CDMX) fue desarrollado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el propósito de generar una herramienta para apoyar acciones preventivas que mitiguen el impacto de los desastres por fenómenos extremos de origen natural. En esta etapa del proyecto se estimó el riesgo social prevalente para los siguientes peligros: sismos, erupciones volcánicas, inundaciones, inestabilidad de laderas, incendios forestales, y subsidencia. Un total de 274 mapas en formato "shape" fueron generados. El peligro sísmico fue estimado para períodos de retorno (PR) de 20, 125, 250 y 475 años. Investigaciones previas demuestran que tres zonas en la región central y noroeste de la CDMX ubicadas a lo largo del Jóven Campo Volcánico Monogenético Chichinautzin tienen alta probabilidad de que se se forme un nuevo volcán. La subsidencia del subsuelo se encuentra concentrada hacia el este y sureste de la CDMX con tasas de excendencia entre las más altas del mundo. Eventos de inundación fueron estimados para PR de 2, 5, 10, 50 y 100 años y la mayoría de ellos se localizan en el centro y norte de la ciudad. Durante la estación seca (diciembre-abril), el sur de la CDMX tiene una alta probabilidad de ocurrencia de incendios forestales. Por otro lado, existe susceptibilidad de deslizamientos al oeste y suroeste de la ciudad. La distribución espacial de la vulnerabilidad social fue estimada utilizando 13 indicadores del Censo de Población y Vivienda 2010 incluyendo densidad poblacional, nivel de educación, y disponibilidad de servicios básicos, entre otros. El "riesgo" social fué expresado sobreponiendo la capa SIG de la distribución espacial de la vulnerabilidad social sobre las capas de los diferentes peligros analizados. Nuestros resultados indican que el noreste y este de la CDMX tienen niveles de "riesgo" social entre moderado y alto debido a la subsidencia. Por otro lado, el "riesgo" social debido a sismos varía entre moderado y alto en las regiones este y noreste de la ciudad. Las metas del atlas son: 1) Mejorar el conocimiento del potencial impacto de los peligros locales; 2) Proveer elementos para la prevención, mitigación, preparación y respuesta ante los desastres; 3) Apoyar la toma de decisiones para la reducción del riesgo; 4) Proporcionar información para la planeación del uso del suelo; y 5) Apoyar investigaciones futuras para reducir el impacto de los desastres en la CDMX. La Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTEI) de la Ciudad de México financió esta investigación (Convenio SECITI/112/2017).

RN-15

## LOS DRONES Y SU UTILIDAD PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Hernández Bello María Guadalupe[1] y Novelo Casanova David Alberto[2]

[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*

[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*

bluestar_06@hotmail.com

En el presente estudio se analizó la vulnerabilidad estructural del Municipio de Unión Juárez, localizada en el estado de Chiapas, ante los efectos provocados por la caída de ceniza que pudiera generar una erupción del volcán Tacaná. Este estudio se realizó utilizando como herramientas un dron, el programa Pix4D y Sistemas de Información Geográfica. Se realizaron 11 vuelos con un dron sobre la cabecera del municipio de estudio. Se obtuvieron 1850 fotografías y una ortofoto (con un error RMS de 0.027). Se contabilizaron un total de 1640 estructuras a las cuales se midieron las dimensiones (ancho y largo) y geometría de sus techos que fueron identificados con el software ArcGIS. Posteriormente, se realizó un recorrido con Google Maps para determinar los materiales de la vivienda, el número de pisos y el estado de conservación. Con esta información se realizó una clasificación de las viviendas considerando el material de construcción, estado de conservación y la separación entre los soportes estructurales. Con las estructuras clasificadas, se estimó la respuesta estructural de los techos para cuatro escenarios de caída de ceniza (1, 10, 100 y 1000 kg/m3). Las estructuras de tipología con techos ligeros a moderados son las de mayor daño. Esto se debe principalmente a la baja resistencia que tienen las láminas aunado a otras características como son la separación de apoyos, niveles, y estado conservación de la vivienda. Las viviendas con techo pesado, como teja, presentan una mayor resistencia a la carga de ceniza y, por último, tenemos las estructuras más resistentes que son las de techo de losa. Sin embargo, para la caída de ceniza el nivel de peligro es variable dependiendo del espesor acumulado. Los resultados indican que después de una acumulación de ceniza volcánica de 40 cm, todas las estructuras presentarían un daño muy alto. El uso de los vuelos de dron permitió recolectar la información de manera rápida y expedita lo que significó un menor costo que otras técnicas para la obtención de datos como lo son el levantamiento de encuestas en campo. Por esta razón, consideramos que el uso de los drones para el cálculo de la vulnerabilidad estructural es de gran utilidad.

RN-16

## MAPEO DE TERRAZAS ALUVIALES CON DRONES DE BAJO COSTO Y SU RELACIÓN CON PROBLEMÁTICAS SOCIOAMBIENTALES EN RÍOS URBANOS

Yépez Rincón Fabiola D.

*Universidad Autónoma de Nuevo León*

fabiola.yepez@gmail.com

Las terrazas aluviales o terrazas de los ríos constituyen pequeñas plataformas sedimentarias o mesas construidas en un valle fluvial. Sus principales características geomórficas revelan las condiciones tectónicas, climáticas y otros factores que influyeron directa o indirectamente en la historia evolutiva de un río. Las terrazas aluviales son superficies de bajo relieve ubicadas sobre el cauce de los ríos y formadas por la deposición de sedimentos y erosión del valle o erosión del lecho rocoso. En el caso de los ríos urbanos, las terrazas aluviales se han convertido en áreas altamente vulnerables, debido a la presión del desarrollo. Recientemente, se han introducido metodologías que utilizan teledetección de tercera generación drones de bajo costo y fotogrametría aérea. En este trabajo, mapeamos las terrazas fluviales de los ríos urbanos de la Zona Metropolitana de Monterrey y ubicamos los asentamientos dentro de las planicies de inundación. Fusionando los modelos digitales resultantes de la fotogrametría con una base de datos LIDAR (Light Detection and Ranging) que cubre toda la ciudad pudimos extender el alcance y construimos un modelo de superficie utilizando ortomosaicos con una resolución de 0.04 m. La mayoría de las terrazas fluviales detectadas fueron confirmadas utilizando Google Earth y observaciones de campo. Los resultados fueron cruzados y analizados con una base de datos que ubica problemas socioambientales en los ríos urbanos y el censo poblacional 2020.

RN-17 CARTEL

## CONSTRUCCIÓN E INSTRUMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ANALÓGICO PARA EL ESTUDIO DE SUBSIDECIA Y FRACTURAMIENTOS UTILIZANDO EL SISTEMA ARDUINO

Luna-Villavicencio Hugo y Pacheco-Martínez Jesús

*Universidad Autónoma de Aguascalientes*

hugo_0071@hotmail.com

El proceso de subsidencia se ha presentado en varias ciudades de México y el mundo. Además de este fenómeno ocurre la generación de discontinuidades que ha ocasionado grandes pérdidas económicas y daños en infraestructura. Estos agrietamientos pueden ser fallas o fracturas; si existe desplazamiento horizontal y vertical se conocen como fallas, si únicamente existe desplazamiento horizontal son

fracturas. La generación de discontinuidades es un problema que limita la planeación y crecimiento de las zonas urbanas, ya que no existe manera de determinar si en un sitio se presentará alguna discontinuidad o no. En la literatura se han reportado modelos conceptuales de agrietamientos de los cuales se han podido establecer las variables principales involucradas en la generación de discontinuidades. Estas variables son: a) topografía del lecho rocoso, b) propiedades mecánicas de los materiales, c) configuración estratigráfica de los materiales y d) abatimiento del nivel freático. A pesar de que se han desarrollado modelos numéricos que describen este comportamiento, aun no se ha podido establecer un modelo matemático de tipo determinístico que explique este fenómeno. Con el fin de conocer mejor la formación de discontinuidades en esta investigación se propone un prototipo analógico que permita realizar diversas pruebas monitoreando las variables principales. Este prototipo está construido a base de acrílico transparente de 60 cm de largo, 20 cm de ancho y 30 cm de alto. Para realizar el monitoreo de las variables se utilizó una placa arduino conectada a una seria de sensores en los cuales se puede monitorear la deformación y los niveles piezométricos. Los materiales utilizados son arenas mezcladas con grenetina, con el fin de obtener deformaciones que pueden ser detectadas con los sensores utilizando. Para probar y calibrar el prototipo se realizó un experimento que consistió en realizar un drenado y llenado del prototipo con agua para registrar las deformaciones y las variaciones del nivel de agua. En el modelo se puedo apreciar la deformación estratigráfica y la deformación superficial. También fue posible notar como la formación de discontinuidades aumentó en el segundo drenado. El prototipo mostró resultados congruentes con los modelos conceptuales de agrietamientos. Esto quiero decir que pude ser utilizado para realizar más experimentos con diferentes condiciones y poder analizar los datos para plantear un modelo determinístico a partir de estos resultados.

RN-18 CARTEL

## ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD POR FENÓMENOS DE INUNDACIÓN EN EL ÁREA DE PERIBAN DE RAMOS, MICHOACÁN A PARTIR DE MODELOS PARAMÉTRICOS

Flores Aparicio Andrés Iván[1], Vázquez Morales Rosario[2] y López Quiroz Penélope[3]
[1]*Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM*
[2]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Juriquilla, UNAM*
[3]*Centro de Geociencias, UNAM*
andres.t@ciencias.unam.mx

Las inundaciones son fenómenos naturales que, cada vez más, representan un peligro para las poblaciones. Lo anterior se debe, entre otras variables, a las propias actividades humanas y el crecimiento urbano, los cuales han desestabilizado las condiciones naturales del medio ambiente. Este trabajo presenta el caso del evento de inundación súbita, ocurrido en septiembre de 2018, en la localidad de Peribán de Ramos, Michoacán, una región conocida por ser productora de aguacates. Dicha población se vio afectada por el desbordamiento del Río Cutio, provocando la muerte de 9 personas y afectando a decenas de familias e infraestructura civil. Con el objeto de contribuir al entendimiento de lo ocurrido, se llevó a cabo un análisis de vulnerabilidad a escala urbana, de la zona aledaña al Río Cutio, en la localidad de Peribán de Ramos; a partir de la adaptación de modelos paramétricos (Hernández-Uribe, 2017; Balica, 2007), la conceptualización de factores de vulnerabilidad (físicos, económicos, ambientales y sociales) y el uso de Sistemas de Información Geográfica. Los resultados de este análisis han permitido clasificar el grado de vulnerabilidad al que están sujetos tres transectos urbanos a lo largo del Río Cutio, exponiendo así los puntos débiles de la planeación territorial de la localidad, así como otros factores económicos y medioambientales que han incidido en la alteración de las condiciones naturales de drenaje. Cabe destacar que este es el primer estudio de vulnerabilidad en la zona, por lo que se espera que los resultados obtenidos con esta investigación sirvan para integrar un mapa de amenaza que ayude a gestionar adecuadamente el crecimiento urbano de la zona y posibles obras de prevención y/o mitigación de riesgos.

RN-19 CARTEL

## PROPUESTA DE UNA GUIA METODOLOGICA PARA DESARROLLAR UN PRODUCTO ECOTURISTICO DE SENDEROS INTERPRETATIVOS EN EL CERRO DEL TOPO CHICO

Castro Torres Jonathan[1], Ferriño Fierro Adrián Leonardo[2], Yépez Rincón Fabiola D.[2], Guerra Cobián Víctor Hugo[2] y Bruster Flores José Luis[2]
[1]*Universidad Autónoma de Nuevo León*
[2]*UANL*
jonncastower@gmail.com

La ladera oriental de la Reserva Natural Estatal Cerro de Topo Chico localizada en el municipio de General Escobedo, Nuevo León, representa el principal espacio natural del municipio, y se encuentra amenazada ante el crecimiento acelerado del área urbana del Área Metropolitana de Monterrey (AMM) a pesar de su nombramiento como zona estatal protegida (según decreto de ANP Estatal con el carácter de zonas sujetas a conservación ecológica del Estado de Nuevo León 21-11-2000). Esta falta de atención no solo ha creado un problema ecológico-ambiental, sino que también, ha generado una grave problemática de inseguridad en los asentamientos que se encuentran en las zonas de las antiguas industrias al no tener acceso las fuerzas de seguridad municipal y estatal a la zona, etiquetando negativamente a esta reserva natural. México ha avanzado en las políticas de conservación de las reservas naturales y representan un caso único en el mundo, donde cientos de comunidades están manejando bosques de propiedad común para el aprovechamiento ecoturístico, demostrando que las comunidades locales pueden dominar procesos turísticos, trayendo ventajas al mercado nacional con modos locales únicos de organización con base en un recurso de propiedad común. Esto también se presenta como un modelo global para las comunidades locales que intentan organizarse para crear turismo sustentable en el estado, generando conciencia por preservar las zonas naturales que quedaban en zonas cercanas a las grandes urbes, surgiendo así grandes parques y reservas naturales dedicados a la conservación de los ecosistemas de la zona, delimitando el área urbana de las reservas y parques naturales. Tomando como base lo anterior, en el presente proyecto de investigación se establecerá el desarrollo de una propuesta ecoturística, desarrollando una solución integral que revitalice no solo el área circundante del cerro de Topo Chico, sino que logre crear un punto turístico de referencia para todo el AMM, delimitando el área urbana de la reserva natural, así como innovar creando un espacio ecoturístico propicio a la convivencia y el respeto del medio ambiente. La propuesta abordará la problemática del crecimiento urbano, el aspecto hidrológico, topográfico, económico y social, así como la relación que existe entre el turismo ecológico y la protección de zonas naturales.

RN-20 CARTEL

## AVANCES EN LA DETERMINACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL TERRENO ANTE LA GENERACIÓN Y/O REACTIVACIÓN DE FRACTURAMIENTOS ASOCIADOS A SUBSIDENCIA DEBIDA A LA EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

Rubio-Alfaro María del Socorro y Pacheco-Martínez Jesús
*Universidad Autónoma de Aguascalientes*
rubio.socorro@hotmail.com

La subsidencia del terreno debida a la extracción de agua subterránea es un problema de origen antropogénico por el desequilibrio producido en los acuíferos granulares. La magnitud de la subsidencia y sus efectos dependientes principalmente de las propiedades mecánicas de los materiales y del espesor de los diferentes estratos que forman el acuífero, de la forma del piso rocoso que subyace a los rellenos, de las estructuras geológicas prexistentes a la extracción del agua subterránea, y del régimen de extracción de agua subterránea a que se someta el acuífero. La combinación de estos factores y sus magnitudes particulares hacen que un terreno sea en menor o mayor medida susceptible a presentar subsidencia, y definir el tipo de efectos que se presentarán.

RN-21 CARTEL

## VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN EN LA ZONA METROPOLITANA DE PUERTO VALLARTA POR EL MÉTODO MULTICRITERIO SIG

Fernández Rodríguez Alberto y Carrillo González Fatima Maciel
*Universidad de Guadalajara*
alberto12231@gmail.com

La zona metropolitana de Puerto Vallarta pertenece a los Estados de Jalisco y Nayarit, es una zona turística de tamaño mediano, que se localiza en la costa del Pacífico de México. Por su ubicación geográfica se encuentra expuesto a la afectación de diversos fenómenos naturales y Antropogénicos que ponen en riesgo la integridad física de sus pobladores. Uno de los problemas más graves a los que está expuesto la zona metropolitana es a la inundación en zonas habitacionales que crecen desmesuradamente en lugares cercanos a ríos y arroyos. El objetivo principal de este trabajo es implementar una técnica para valorar los niveles de vulnerabilidad de inundación utilizando los datos que están disponibles para la mayoría de las ciudades. Se realiza una evaluación de la vulnerabilidad ante inundaciones mediante la implementación de un modelo de Evaluación Multicriterio basado en un Sistema de Información Geográfica SIG. El uso de las técnicas multicriterios basadas en SIG en la evaluación de vulnerabilidad por inundaciones permite precisar las zonas donde los criterios que influyen tiene gran importancia a la inundación. El mapa de vulnerabilidad ante inundaciones de la zona Metropolitana de Puerto Vallarta se realizó utilizando un conjunto de criterios físicos, es decir, pendiente, elevación, uso de suelo, valores de precipitación, tipos de suelos, características demográficas, densidad de drenaje, densidad de población y acumulación de flujo. Se llevará a cabo la integración de los criterios establecidos mediante la implementación del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para asignar un peso a cada criterio de acuerdo con su contribución a la vulnerabilidad ante inundaciones. Los mapas temáticos se integrarán utilizando un SIG de acuerdo con los pesos ya normalizados. Así se clasificará la vulnerabilidad por inundaciones de la zona metropolitana de Puerto Vallarta en diferentes niveles de vulnerabilidad.

RN-22 CARTEL

## MAPEO GEOESPACIAL DE SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO AHP Y GIS: CUENCA DE LA PAZ, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Hirales Rochin Joel
*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Paz*
joel.hr@lapaz.tecnm.mx

La investigación presenta el enfoque de análisis multicriterio (MCA) para describir el uso efectivo de técnicas geoespaciales para reducir el riesgo geohidrológico y su relación con el desarrollo territorial urbano a nivel local, en el caso de la Cuenca de La Paz, Baja California Sur., México. Las ciudades de hoy se caracterizan por una urbanización rápida y mal planificada que, junto con el cambio climático, ha exacerbado el riesgo de inundaciones en áreas urbanas y rurales a nivel mundial, lo que ha provocado una devastadora pérdida de vidas humanas y propiedades. A nivel nacional, regional y local donde se ubica el área de estudio, las inundaciones son uno de los peligros geohidrológicos más susceptibles. La metodología se basó en el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y una caracterización de las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la cuenca de la ciudad de La Paz; México., en la cual destacan un volumen de escorrentía (11 Mm3 / año, producto de un volumen precipitado de 351 Mm3 / año) por los arroyos que conforman la Cuenca de La Paz, México se extienden y atraviesan el casco urbano a bajas velocidades y donde, durante las décadas de los 70's-80's, ocurrieron eventos de inundaciones periódicas debido al desborde de los arroyos El Cajoncito y El Piojillo, durante la ocurrencia de huracanes. Por ello se plantean esta investigación con la finalidad de prevenir inundaciones catastróficas y la implementación de métodos apropiados que pueden proporcionar eficiencia geomorfológica, magnitud y frecuencia. Además, a través de estos análisis, la gestión de desastres puede ser más sencilla.

RN-23 CARTEL

## DEGRADACIÓN DEL SANTUARIO DE LA MARIPOSA MONARCA, UN ANÁLISIS AL PERIODO 2000-2020 MEDIANTE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA

Coba Báez Alfredo Yael, González Guevara José Luis, Delgado Ayala Daniela, Martínez Mirón Yleana Claudia, González Hernández Julio César, Ventura Marroquín Julia Isabel, Téllez de la Cruz Óscar Alexis, Rosas Rosales Perla Sagrario, Mejía Pérez José Alfredo y Castillo Pensado Juan Luis
*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
a.yael.cb@gmail.com

El Santuario de la Mariposa Monarca es uno de los puntos más característicos del estado de Michoacán. Famoso por albergar en sus bosques principalmente a la Mariposa Monarca durante el invierno, y siendo parte vital del proceso de este ser vivo y de las demás especies que dependen de este ecosistema. En los últimos años la zona se ha visto amenazada por diversos factores, tales como tala ilegal, contaminación y el crecimiento de la industria aguacatera, entre otros; es por esto, que presentamos un análisis geoespacial por medio de diversos procesamientos a imágenes Landsat, para comparar cómo ha evolucionado la zona respecto a estas amenazas. Un primer análisis parece confirmar que la deforestación, al menos en esta zona, no ha sido evidente como se esperaba, al contrario, se nota un gran mejoría en lo que al crecimiento de vegetación se refiere; sin embargo, en la distribución de vegetación, el valor de "otro" sí puede hacer referencia a plantíos de aguacate la interpretación queda abierta.

RN-24 CARTEL

## ESTUDIO SOBRE LOS BENEFICIOS INTEGRALES DE CONTROL E INGENIERÍA DE UNA PRESA DE CAUCHO EN EL RÍO PESQUERÍA, A LA ALTURA DEL MUNICIPIO DE GENERAL ESCOBEDO, N.L.

Trejo Emilio
*Facultad de Ingeniería Civil, UANL*
atrc981@gmail.com

Los ríos urbanos de la Zona Metropolitana de Monterrey presentan problemáticas socioambientales que afectan la calidad del agua y ponen en riesgo su sustentabilidad a largo plazo. Durante los últimos 5 años el CA Ciencias del Agua ha documentado los conflictos socioambientales del río Pesquería, el cual cruza los municipios de García, Escobedo, Monterrey, Apodaca, San Nicolás y Pesquería, presentando problemas de calidad de agua en estas zonas urbanizadas, como producto de descargas de aguas industriales o municipales o por un uso inadecuado por parte de la población aledaña al río. En este proyecto se estudiarán los beneficios del control integral e ingeniería de una presa de caucho (Rubber Dam) de bajo costo, en un tramo del río Pesquería estratégicamente seleccionado, para observar los cambios que se producen en la calidad del agua, en las secciones aguas arriba a la presa inflable y aguas abajo. La presa creará un microsistema lagunar, al estar diseñada para captar el flujo sobre el cauce natural y retenerlo por un periodo corto de tiempo en el cual el agua es tratada por un proceso de floculación, mejorando así la calidad del agua en las secciones aguas debajo de la zona en estudio. La recreación virtual del sistema será posible mediante el modelamiento matemático en HEC-RAS (Hydrological Engineering Center – River Analysis System) que incluirá la reconstrucción geomorfológica del cauce, el diseño e ingeniería de la presa y, la ubicación de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación hacia el río que como ya se mencionó, que ya fueron previamente localizadas. La previsualización matemática permite observar gráficamente los resultados en imágenes bidimensionales e incluso exportar los en formas de tablas, para facilitar la interpretación y para conocer la eficiencia del sistema implementado en el río Pesquería de forma virtual. Este aporte permitirá la asesoría oportuna a las autoridades para la toma decisiones, para el beneficio de la población y al medio ambiente.

Sesión regular

# SEDIMENTOLOGÍA Y ESTRATIGRAFÍA

Organizador:
Isabel Israde Alcántara

SED-1

## COMPARACION LITOESTRATIGRÁFICA ENTRE LAS SECUENCIAS PRECÁMBRICAS DE GROENLANDIA Y MÉXICO

Bazán Barrón Sergio y Bazán Perkins Sergio Dale
*Industria Minera Indio, S. A. de C. V., IMI*
bazanba@hotmail.com

La secuencia más antigua de Isua-Amitsoq, de Groenlandia suroccidental, aflora escasamente como parte basal de cuatro dominios litoestratigráficos y tectónicos. Consisten de rocas verdes vulcanosedimentarias, datadas entre 3850-3700 Ma, de tipo volcánico máfico y ultramáfico, como sedimentarias metamorfoseadas con algunos restos fósiles, asignadas al Arqueano. Esta secuencia basal comprende estructuras deformadas y rocas metamórficas, para un cinturón supracortical muy fallado, que agrupan basaltos y lavas almohadilladas ricas en magnesio y de brechas, intrusionadas por tonalitas con vetas de cuarzo. El resto de la secuencia precámbrica corresponde al Proterozoico (2700-570 Ma) consistente de paragneis de rocas clásticas y seguida de formaciones de hierro tipo BIF, microbandeado con cuarzo, así como de sedimentarias derivadas de basaltos. Los cuerpos ultramáficos son flujos volcánicos komatíticos, similares a las basálticas de Barberton, Sudáfrica, datadas hace 3500 Ma, equivalentes al eón Arqueano, generadas en zonas de subducción. Las rocas sedimentarias más comunes son formaciones de hierro y cuarzo microbandeado. Los conjuntos de basalto-komatiita-sílice datan 3.5 Ga. en Isua, emparentados con los gneis de tonalita-trondhjemita-granodiorita de Amitsoq. La sucesión litológica de Groenlandia es análoga y correlacionable con la secuencia de los supergrupos Pápalo del Arqueano que implican a las rocas komatíticas basales, identificadas en la parte oriental de México. En tanto que las rocas sedimentarias clásticas, corresponden al Grupo El Trapiche, parte basal del Supergrupo Zimatlán, del Paleoproterozoico. Por tanto, el hierro y cuarzo microbandeado, tipo Superior BIF, son correlacionados con los iron formation del Grupo Valdeflores, parte superior del Supergrupo Zimatlán. Se concluye que la secuencia precámbrica de México es más antigua que la de Groenlandia, con el potente Grupo Los Alisos basal, consistente de cuarcitas bandeadas, producto de las primeras lluvias ácidas, para formar la primigenia plataforma costera marinas entre 4150-3800 Ma, con vertiente al Gran Rift tipo MORB, de la Faja Estructural Cananeana del occidente de México y del Continente Americano. Palabra clave: Isua-Amitsoq, Groenlandia, Supergrupo Pápalo, Grupo Valdeflores, Grupo Los Alisos

SED-2

## APORTACIONES DE LA GEOQUÍMICA A LOS ESTUDIOS PALEOAMBIENTALES EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Torrescano-Valle Nuria
*El Colegio de la Frontera Sur, ECOSUR*
ntorresca@ecosur.mx

Los registros paleoambientales en la Península de Yucatán (PY) representan un reto por la influencia humana milenaria. Los registros costeros permiten establecer marcos de referencia sobre los eventos climáticos con menor influencia de actividad humana, por ello han sido nuestro objeto de estudio en la última década. Los registros han permitido reconstruir la historia de la vegetación y clima, para los últimos 5000 años, con alta resolución temporal. Los datos obtenidos en la geoquímica elemental han reforzado y complementado la interpretación paleoambiental de las costas de la PY.

SED-3

## ESTRATIGRAFIA DEL DEPOCENTRO DEL LAGO DE CUITZEO Y TECNICAS GEOFISICAS PARA ENTENDER LA CONFIGURACION DEL VASO LACUSTRE (RESULTADOS PRELIMINARES)

Israde-Alcántara Isabel[1], Ávila García Jesús[1], Vázquez Rosas Ricardo[2], Gutierrez Carmona Dulce María[1], Muñiz Jauregui Jesus Arturo[2], García Hernández Oscar[1] y Jiménez Haro Adrián[1]
[1]*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
[2]*UMSNH*
isabel.israde@umich.mx

Se extrajo un núcleo del depocentro del graben asimétrico de Cuitzeo, que aloja el lago de Cuitzeo, Este lago se ha desplazado desde el Mioceno tardío hacia el Norte, en su posición actual. Un núcleo continuo de 27 metros, además del lago en sequia estacional, permitió conocer la configuración y espesor del relleno sedimentario Cuaternario y los eventos sísmicos en una zona tectónicamente activa. El registro del relleno lacustre se realizó a través de 3 perfiles sísmicos continuos en dirección N-S paralelos al núcleo. Se realizaron análisis de MT, y de sísmica pasiva para determinar la estructura de velocidades de propagación de ondas de Vs. Se interpretaron las primeras llegadas de onda P y se generaron modelos de refracción sísmica y modelos de inversión tomográfica. Los resultados muestran más de 500 metros de relleno. En el modelo de inversión tomográfica se observan fallas con buzamiento aparente tanto norte como sur. Los cambios laterales hacia el norte están asociados con los sistemas de fallas principales del graben, mientras que los que vergen hacia el sur pudieran estar asociados a fallas antitéticas producto de la compensación de cargas y que son comunes en estos ambientes Hacia el norte los perfiles muestran que la velocidad de onda P de las capas disminuye, y las velocidades obtenidas se asocian al aumento de espesor de los sedimentos lacustres consolidados hacia el centro del lago. Se observa que el relleno del lago está directamente relacionado a la sedimentación autigénica y alogénica. La taza de sedimentación se incrementa por la reactivación de los sistemas de fallas que limitan al lago así como por los depósitos de volcanes del entorno.

SED-4

## REPARTICIÓN DE RECURSOS Y EL HÁBITAT DE DOS ESPECIES DE ÉQUIDOS DE LA CUENCA DE CUITZEO DURANTE EL PLIOCENO-PLEISTOCENO

Marín Leyva Alejandro Hiram[1], Hernández Serrano Leonardo[2] y García Zepeda Maria Luisa[1]
[1]*Laboratorio de Paleontología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
[2]*Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
alejandro.marin@umich.mx

En México los análisis paleoecológicos (la dieta y el tipo de hábitat) hechos con restos de mamíferos se enfocan en el estudio de fauna del Pleistoceno tardío (Rancholabreano), por lo cual se necesitan hacer más estudios de este tipo en diferentes temporalidades (por ejemplo: Plioceno-Pleistoceno o Blancano), esto con la finalidad de conocer la repartición de recursos, el hábitat y los cambios ambientales en nuestro país en diferentes épocas geológicas. Las localidades del Blancano en México se localizan en diez estados (Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Jalisco, Querétaro, Guanajuato, Hidalgo, Nayarit, Zacatecas y Michoacán). En Michoacán específicamente en la cuenca de Cuitzeo se tiene registro de cuatro sitios (La Goleta, El Pirul, Uruétaro y Misión del Valle) que pertenecen al Blancano con presencia de roedores, carnívoros, équidos, cérvidos, camélidos, tayasuidos y proboscidios. En el presente trabajo se pretende conocer la dieta, así como la posible repartición de recursos y el hábitat de dos équidos (Nannippus cf. N. peninsulatus y Equus cf. E. simplicidens) de la cuenca de Cuitzeo durante el Plioceno-Pleistoceno a través de sus elementos dentales mediante la técnica de mesodesgaste dental la cual muestra un promedio la abrasión y atrición a largo plazo. Los resultados muestran patrones de mesodesgaste dental de relieve oclusal bajo, cúspides redondeadas y romas para Nannippus cf. N. peninsulatus similar al de algunos pacedores estrictos actuales, mientras que Equus cf. E. simplicidens presenta una firma de mesodesgaste principalmente con relieve oclusal bajo y cúspides redondeadas similar al de algunas especies actuales con dieta mixta y dieta pacedora. Lo anterior indicaría que a pesar de que ambas especies se pueden clasificar como pacedoras existen diferencias en los patrones de mesodesgaste que nos podría mostrar una ligera variación en la alimentación y por la tanto repartición de recursos, además la variación individual de la firma de mesodesgaste apuntaría que en esta localidad existían elementos de vegetación ligeramente abrasivos (árboles y arbusto) y altamente abrasivos (herbáceas) señalando un ambiente heterogéneo, el cual es corroborado por análisis previos de microdesgaste e isótopos estables realizados a estas poblaciones. Palabras clave: Dieta, ambiente, mesodesgaste, Equidae, Blancano

SED-5 CARTEL

## LAS FORMACIONES TARAY Y RODEO DE LA REGIÓN SEPTENTRIONAL DEL ESTADO DE ZACATECAS: AMBIENTE DE DEPÓSITO Y EDAD

Jaime Rodríguez Diego[1] y Barboza Gudiño José Rafael[2]
[1]*Universidad Autónoma de San Luis Potosí*
[2]*Instituto de Geología, UASLP*
jrcko_05@hotmail.com

La evolución tectónica de México durante el Paleozoico Superior y el Mesozoico Inferior ha sido objeto de una gran cantidad de estudios, debido a que durante este periodo de tiempo se desarrollaron distintos regímenes tectónicos. Hacia finales del Paleozoico durante el Pérmico inicia el desarrollo del Arco Permo-Triásico en el paleomargen occidental de Pangea, en donde se ubicaba parte de lo que formaría México posteriormente. Antes del inicio de la actividad de este arco el margen continental era pasivo, y es en este margen donde pudieron formarse los depósitos de la Formación Taray, que posteriormente fueron intensamente deformados. Esta formación aflora en la Sierra de Teyra, en la parte norte del estado de Zacatecas. Sus depósitos se caracterizan por una matriz de lutita pizarrosa y arenisca conteniendo bloques a megabloques nativos y exóticos de calizas, areniscas, andesitas, pedernal y rocas metamórficas de protolitos máficos y ultramáficos. Unos kilómetros hacia el norte, en la localidad de El Rodeo se observan los depósitos de la Formación Rodeo, que se compone de un paquete grueso de rocas andesíticas. Al poniente de la localidad de Rodeo, esta sucesión volcánica descansa sobre sedimentos siliciclásticos en los que se pueden reconocer fragmentos líticos de origen volcánico, aunque estos sedimentos en gran medida son pelíticos o de areniscas muy finas. Se ha propuesto que los sedimentos en la base de la Formación Rodeo sean incluidos dentro de la Formación Taray y las andesitas, como parte de la Formación Nazas. El presente trabajo tiene como objetivo definir la edad y ambiente de las formaciones Taray y Rodeo, para completar la interpretación tectónica para la región. Todo esto se hará utilizando geocronología de circones, realización de secciones

a detalle donde afloren estas formaciones y petrografía, abarcando los alrededores del Pico de Teyra y las localidades de Caopas y Rodeo de la parte septentrional del estado de Zacatecas. Las edades determinadas para estas formaciones colocan a la Formación Taray en el Pérmico y a los sedimentos de la base de la Formación Rodeo en el Jurásico Inferior. Estas edades basadas en geocronología de circones detríticos junto con las características litológicas han permitido sugerir que la Formación Taray se depositó en un talud continental, debido a la estructura de bloques en matriz y con alto grado de deformación que presenta, con edad pérmica. Mientras tanto la Formación Rodeo formaría parte de la actividad del Arco Nazas del Jurásico Temprano a Medio y los sedimentos que la subyacen al poniente de la localidad de Rodeo, no serían de edad correlacionable con la Formación Taray, aunque no se descarta su depósito en el mismo margen de Pangea durante una etapa muy posterior en el Jurásico Temprano a Medio.

SED-6 CARTEL

## SANDSTONE COMPOSITION AND CLAST U-PB AGES OF THE EOCENE CHICONTEPEC FORMATION: EVIDENCE FOR RECYCLING IN THE CENTRAL MEXICAN FOLD-THRUST BELT

Juárez Arriaga Edgar[1], Lawton Timothy F.[2], Stockli Daniel F.[3], González Díaz Guadalupe[4] y Cossey Stephen[5]
[1]*Instituto de Geología, UNAM*
[2]*Bureau of Economic Geology, Jackson School of Geosciences, The University of Texas at Austin, TX, 78758, USA*
[3]*Department of Geological Sciences, Jackson School of Geosciences, The University of Texas at Austin, TX 78712-0254, USA*
[4]*Centro de Geociencias, UNAM*
[5]*Cossey and Associates Inc., P.O. Box 1510, Durango, CO 81302, USA*
ejarriaga@geociencias.unam.mx

Most sediment that fills the Late Cretaceous-Eocene Mexican foreland basin (MFB) generally has been considered to be derived directly from a contemporary magmatic arc. Nevertheless, new petrographic data and detrital zircon U-Pb ages from the central part of the Mexican fold-thrust belt (MFTB) reveal detrital modes dominated by carbonate extrabasinal grains (CE) and U-Pb age components present in the youngest strata and clasts of the foreland basin. The Chicontepec Formation is a Paleocene-early Eocene succession exposed in the Tampico-Misantla basin, which is located at the front of the MFTB. A section 75 m thick of early Eocene age which crops out near the village of Acatepec consists of debrites, conglomerates and turbidites in a canyon-fill succession. Two sandstone clasts were collected from a debrite 3 m thick composed of well-rounded clasts of limestone (67%), sandstone (32%), and quartz (1%). Both clasts have U-Pb age components dominated by ages ranging ~96-60 Ma and ~135-112 Ma, as well as subordinate age groups in the ranges of ~183-178 Ma, ~1.12-0.89 Ga, and ~1.25-1.13 Ga. Early Cretaceous grains are attributed to sources in magmatic rocks of the Guerrero terrane, whereas Late Cretaceous grains came from a continental arc adjacent to the MFB. Cretaceous grains are distinctive and distinguish the deposits of the MFB from older strata. Potential original sources of Proterozoic grains lie in basement rocks of the Oaxacan and Acatlán complexes in southern Mexico and even Amazonian terranes, but all of the above groups of grains occur abundantly in sedimentary strata of the Mineral de Pozos sandstone and Soyatal Formation exposed in the western part of the MFTB. Feldspatho-quartzo-lithic and quartzo-lithic sandstones were encountered in the Acatepec section; these sandstones are dominated by CE grains, that were probably derived from Lower Cretaceous carbonate rocks exposed directly west of the basin, as indicated by paleocurrents in the Chicontepec strata. Petrographic data of the Chicontepec Formation sandstones and the dominance of zircon grains derived from the Cretaceous Cordilleran arcs, well as the persistence of subordinate Proterozoic grains in debrite clasts indicate the recycling detritus from sedimentary strata of the interior MFTB.

Sesión regular

# SISMOLOGÍA

Organizadores:
Ericka Alinne Solano Hernández
Miguel Ángel Rodríguez Domínguez

SIS-1

## CÁLCULO DE ACELERACIONES MÁXIMAS PARA EL GOLFO Y LA PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA SUR DE MANERA SEMI-EMPÍRICA

Gutiérrez Reyes Edahi Antonio y Huesca Pérez Eduardo
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
edahigure@gmail.com

En este trabajo nos proponemos examinar el formalismo básico del cálculo de aceleraciones máximas de manera probabilista, metodología tambien conocida como cálculo de peligro sísmico probabilista, y comparar los resultados del cálculo de aceleraciones máximas por el metodo probabilista, con una metodología de naturaleza semi-empírica basada en la funciones de Green, y un modelo de fuente tipo Brune, para hacer mapas de aceleración máxima registrada en el golfo y peninsula de Baja California Sur por dos metodologias distintas y comparar las metodologías.

SIS-2

## ESTIMACIÓN DE MODELOS DE VP Y VS EN LA CALDERA LA REFORMA, BCS, MÉXICO, MEDIANTE COCIENTES H/V

Ávila Barrientos Lenin[1], Yegres Herrera Luis A.[2], Flores Estrella Hortencia[3] y González-Fernández Antonio[2]
[1]*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnologia - Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, División de Ciencias de la Tierra, Departamento de Sismología*
[2]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
[3]*Technological University Berlin, Department of Applied Geophysics*
lenavila@cicese.mx

El método de cocientes espectrales H/V, también llamado método de Nakamura, es usado principalmente para la evaluación de efectos de sitio y para la obtención de frecuencias fundamentales en áreas con sedimentos. Recientemente su uso se ha expandido en la evaluación de las condiciones del subsuelo, asumiendo la Teoría de la Elipticidad de Ondas Rayleigh. En este trabajo usamos el método de cocientes espectrales H/V para definir la estructura de velocidades del subsuelo, para una región con sedimentos volcánicos en la Caldera La Reforma, localizada dentro del complejo volcánico las Tres Vírgenes, Baja California Sur, México. A partir de registros de ruido sísmico de diez estaciones, localizadas sobre toda la extensión de la caldera, obtenemos modelos de velocidades 1D para las ondas S y P para cada estación mediante la inversión de la curva de elipticidad. Los resultados encontrados muestran una buena correlación entre las velocidades sísmicas y la litología de la Caldera La Reforma. Los valores de los cocientes VP/VS sugieren que el material se encuentra saturado y definen un posible canal de agua central en la Caldera La Reforma. La metodología empleada demuestra ser una buena herramienta para determinar las características del subsuelo en campos volcánicos.

SIS-3

## ANÁLISIS NO-LINEAL DE TREMORES DEL VOLCÁN DE COLIMA

Pérez Solano Alejandro Isaac[1], Quiroz Pérez Norma Elizabeth[1], Vargas Bracamontes Dulce M.[2] y Terrero Escalante César A.[3]
[1]*Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara*
[2]*CONACYT-Universidad de Colima*
[3]*Universidad de Colima*
isaac.perez@alumnos.udg.mx

Recientemente algunos tremores en diferentes volcanes del mundo han sido estudiados mediante la dinámica no-lineal, mostrando que dichas señales son sistemas caóticos y que la fuente que los origina es de carácter no-lineal. El presente trabajo se enfoca en el análisis de algunos tremores del Volcán de Colima en el periodo comprendido entre los meses marzo-abril del 2015, estos eventos forman parte de la sismicidad que precedió a la erupción del 10-11 de julio del 2015, considerada la más intensa desde 1913. El análisis consiste en realizar una caracterización de estos tremores mediante técnicas de la dinámica no-lineal, las cuales incluyen la información mutua promedio (AMI), el método de los falsos vecinos cercanos (FNN) y el análisis de L. Cao. Estas técnicas son necesarias para determinar los parámetros que permitirán reconstruir el espacio-fase de cada señal sísmica. Incluimos en esta caracterización, el espectro de potencias, autocorrelación e histogramas para lograr una visión más amplia del comportamiento de los datos. Finalmente, se realiza el cálculo del exponente de Lyapunov para determinar si las señales sísmicas son o no caóticas. Mediante los resultados obtenidos se evaluará si un modelo de generación no-lineal del tremor como el sugerido por Julian (1994) pudiera ser adecuado para explicar el origen de los tremores estudiados del Volcán de Colima.

SIS-4

## INVERSIÓN CONJUNTA BAYESIANA DE ONDAS SUPERFICIALES Y FASES TELESÍSMICAS CONVERTIDAS

Granados Ivan[1], Calò Marco[1], Figueroa Soto Angel[2] y Bodin Thomas[3]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*UMSNH*
[3]*ENS de Lyon, Francia*
igranadosc@igeofisica.unam.mx

La inversion conjunta de ondas superficiales y fases telesísmicas convertidas, usadas comúnmente para estudios de Funciones Receptoras, es empleada para estimar la estructura sísmica debajo de una estación sísmica. Actualmente este tipo de metodologías se emplean para estudios del manto y de la corteza inferior; sin embargo, para estudios de la corteza superior (<20 km), existe un reto importante para el uso de fases convertidas a frecuencias mayores a 1 Hz. Nosotros exploramos la factibilidad de usar un esquema de inversion trans-dimensional Bayesiana, empleando el método de muestreo de Monte Carlo con cadenas de Markov, para resolver la estructura somera de la corteza. Para las ondas superficiales, usaremos curvas de dispersion de velocidad de fase y grupo, para ondas de Love y Rayleigh, entre 0.5 y 9 s; y para las fases convertidas, los registros correspondientes a distancias epicentrales de entre 30 y 95 grados. En este trabajo presentamos pruebas sintéticas para la parametrización y validación del método, y algunos resultados preliminaries de datos experimentales, obtenidos por la Red Sísmica temporal instalada en el campo geotérmico super-caliente de Los Humeros, Puebla. Este trabajo fue desarrollado dentro del marco del consorcio México - Unión Europea GEMex (Cooperation in geothermal energy research Europe-Mexico, PT5.2 N: 267084, financiado por CONACYT-SENER: S0019, 2015-04).

SIS-5

## RESULTADOS PRELIMINARES DEL ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA SISMICIDAD EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO LOS HUMEROS (LHVC)

Cueto Angulo Jair Alfredo[1], Quinteros Cartaya Claudia Beatriz M.[1], Figueroa-Soto Angel[2] y Calò Marco[3]
[1]*Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de Guadalajara*
[2]*CONACYT–Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
jair.cueto8187@alumnos.udg.mx

El Complejo Volcánico Los Humeros (LHVC) está ubicado en el estado de Puebla, en la zona este del joven y activo Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (TMVB), un lugar propicio para la explotación de energía geotérmica. Actualmente, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) opera el campo con una capacidad de 94 MW, lo que convierte a este sitio en uno de los más grandes explotados en México. LHVC se ha construido sobre un basamento pre-volcánico y una extensa secuencia volcánica andesítica, su evolución se puede dividir en tres etapas principales según el tipo de actividad volcánica y estilos eruptivos: 1) etapa pre-caldera; 2) una etapa de caldera, dividida en tres eventos eruptivos; y 3) una etapa post-caldera, que se subdivide en una fase de resurgimiento y una fase de fractura en anillo y bimodal. En este trabajo se presenta los resultados preliminares de las propiedades estadísticas así como de su distribución por agrupamiento (clustering) de los microsismos registrados por una red temporal de 25 sensores de banda ancha de tres componentes (Trillium Compact 120 s) y 20 de período corto de tres componentes (Mark L-4C-3D) que registraron datos sísmicos continuos, con frecuencia de muestreo de 200 y 100 Hz, respectivamente, durante el periodo de septiembre de 2017 a septiembre de 2018 por parte del Paquete de Trabajo 5.2 “Sismica” de GEMex conjuntamente con GFZ-Potsdam, con el objetivo de contribuir a la identificación de estructuras que permitan comprender de mejor manera el comportamiento del sistema geotérmico local actualmente en explotación, y para mejorar la precisión de la interpretación de zonas sismogénicas asociadas a fuentes tectónicas – volcánicas. Este trabajo se realizó en el marco del PT5.2 del proyecto GEMex, Convocatoria CONACyT-SENER S0019, 2015-04 proyecto N: 267084 y Horizon2020, grant agreement No. 727550 de la Unión Europea

SIS-6

## INFLUENCIA DE LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EN LAS LECTURAS DE ESTACIONES SÍSMICAS SUBMARINAS: TEMPORADA DE HURACANES DE 2018 EN LA BRECHA DE GUERRERO

Gordillo Rodríguez Laura Jazmín y Domínguez Ramírez Luis Antonio
*Universidad Nacional Autónoma de México*
jazminnhalaura@gmail.com

El estudio de la Brecha de Guerrero es de especial relevancia debido a su enigmático comportamiento y el potencial sísmico que engloba. Debido a esto, ha sido prioridad el estudio a fondo de sus propiedades sísmicas y propiedades tectónicas, llevando a la innovación de los métodos de detección utilizados para la estimación de sus parámetros. En 2017 se instaló una red anfibia sismogeodésica con el objetivo de mejorar la comprensión que se tiene de esta región y generar escenarios

plausibles de sismos y tsunamis para la mitigación de riesgos (Cruz-Atienza, 2018). La innovación de esta red anfibia contempla la inclusión de 7 sismómetros de fondo oceánico (OBS), instrumentación que ha permitido una mejora en la resolución considerando las implicaciones prácticas de situar instrumentos de medición en el suelo oceánico. Sin embargo, las condiciones únicas del empleo de este tipo de instrumentación conllevan aspectos adicionales a considerar en el análisis de estos registros. Al encontrarse en el suelo oceánico, es posible registrar su interacción con las ondas superficiales oceánicas que generan los llamados microsismos oceánicos (Pelaez, 2021). Por lo tanto, al ser los huracanes y tormentas ciclónicas ondas no estacionarias a gran escala de este tipo, se conoce que estas interacciones pueden producir fuentes sísmicas con magnitudes equivalentes mayores a 3.5 Mw (Fan, 2019). Este fenómeno se conoce como "stormquakes" o "tormentamotos", y pueden influir en el registro de las ondas sísmicas obtenido por medio de estaciones submarinas. El análisis de los registros sísmicos recopilados por los sismómetros de fondo oceánico de esta red anfibia encontró picos en la ocurrencia diaria de sismos durante el periodo comprendido entre noviembre de 2017 y noviembre de 2018, coincidentes con la aparición de las tormentas tropicales Ileana, Tara, Vicente y el huracán Willa. A pesar de que inicialmente se consideró que los picos podrían deberse a enjambres sísmicos o réplicas de eventos de mayor magnitud, el análisis de las formas de onda indica que estas lecturas pueden deberse a perturbaciones en el suelo oceánico producto de estos eventos meteorológicos.

SIS-7

## ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA SISMICIDAD EN EL MARGEN CONTINENTAL DE LA REGIÓN GUERRERO-OAXACA EN EL PERIODO ABRIL 2008-AGOSTO 2008

González Acevedo Vicente[1], Zamora Camacho Araceli[1] y Espíndola Castro Juan Manuel[2]
[1]*Universidad de Guadalajara*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
vicente.gonzalez8190@alumnos.udg.mx

Algunos aspectos de los procesos de subducción entre las placas tectónicas pueden diferir por las diferencias en la estructura de la corteza geológica y el entorno tectónico, así como de los sistemas de fallas asociados a ellas. Datos obtenidos de cinco estaciones sísmicas ubicadas región de Guerrero-Oaxaca con un periodo de abril a agosto del 2008 fueron utilizados para hacer un análisis de la sismicidad. De estudios previos sabemos que dentro del área tenemos una muy peculiar geometría donde contamos con dos diferentes regímenes tectónicos aparentes, donde en una porción la sismicidad es más dispersa, en la otra porción la sismicidad se concentra mayormente a lo largo de la costa, nos muestran la alta complejidad tectónica. El objetivo de este trabajo es hacer un análisis sísmico y clasificar los eventos generados en el área y específicamente en estas subdivisiones son generados debido al límite de subducción entre la placa de cocos y la placa norteamericana o si son generados debido a un sistema de fallas, y a su vez conocer el papel que juega el rift de Tehuantepec en la generación de estos eventos. Las observaciones realizadas a lo largo de este trabajo serán de gran importancia para conocer los mecanismos que hacen de esta región una de las zonas con mayor nivel de sismicidad en México y Latinoamérica.

SIS-8

## ANÁLISIS DEL PECULIAR SISMO DEL 20 DE MARZO DE 2021

Iglesias Arturo[1], Singh Shri Krishna[1], Castro Oscar Alberto[2], Suárez Gerardo[1], Santoyo Miguel Angel[1], Franco Sara Ivonne[1] y Mendez Miguel Ángel[3]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*
[3]*Servicio Sismológico Nacional*
arturo@igeofisica.unam.mx

El 20 de marzo del 2021 el Servicio Sismológico Nacional reportó un sismo de magnitud 5.7 a unos 12 km al sur de Copala, Guerrero. Si bien la sismicidad de esta magnitud en esta región es inusual, lo realmente peculiar es su mecanismo focal y la profundidad a la que ocurrió. En este trabajo llevamos a cabo la relocalización del sismo con datos cercanos y determinamos su localización en: latitud: 16.44 N y longitud: 98.98W a una profundidad de 20km. El mecanismo focal que obtuvimos con la inversión de la forma de onda de registros a distancias regionales muestra una falla de corrimiento de rumbo cuyos planos posibles son: rumbo: 318° ó 53°, echado: 75° ó 73° y rake: 162° ó 115°. Se obtuvieron también el mecanismo focal de dos réplicas con características similares. La posición relativa del hipocentro y las réplicas sugiere que el plano más probable es el que tiene un rumbo de 53° (NW-SE). Por otro lado, la profundidad determinada lo ubica dentro de la placa de Cocos subducida. En la literatura se ha reportado una zona de fractura conocida como "O'Gorman" localizada en la región de ocurrencia del sismo. En trabajos previos se ha determinado que la tasa de convergencia de la placa de Cocos, con respecto de la de Norteamérica, podría variar ligeramente en ambos lados de la zona de fractura causando un déficit de ~ .4cm/año. Esta tasa diferencial podría causar, en tiempos de recurrencia largos, los esfuerzos de cizalla que podría explicar la presencia de este tipo de sismos.

SIS-9

## APILADO DE FUNCIONES DE AUTO-CORRELACIÓN DE RUIDO SÍSMICO PARA OBTENER LA PROFUNDIDAD DEL MOHO

Castro Artola Oscar Alberto[1], Iglesias Mendoza Arturo[2], Schimmel Martin[3] y Córdoba Montiel Francisco[4]
[1]*Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Geociencias Barcelona, CSIC*
[4]*Centro de Ciencias de la Tierra, UV*
oscar.castro@unicach.mx

Actualmente las aplicaciones del uso del ruido sísmico van desde el monitoreo local de campos geotérmicos y volcánicos, hasta tomografías a gran escala. Una de las aplicaciones es la determinación de los tiempos de arribo asociados a las reflexiones justo debajo de la estación con cada discontinuidad en el medio. Para esto es necesario calcular la función de auto-correlación (FAC) de series de tiempo de ruido sísmico de larga duración y apilarlas. De esta manera se logra resaltar señales coherentes contenidas en el ruido que son interpretadas como las reflexiones en los diferentes estratos. En este trabajo se presenta una metodología para determinar el tiempo de estas reflexiones. El método consiste en definir un espectro de frecuencias de interés, que estará en función de la discontinuidad que se quiera encontrar. Después se debe discretizar el espectro en un número finito de frecuencias centrales con un ancho de banda. Para cada frecuencia central se deben filtrar los datos de ruido sísmico. Teniendo esto se calculan las FAC y se apilan en series de 1 día. El siguiente paso es realizar correlogramas para cada filtro y todos los días en busca de la reflexión de interés y seleccionar aquellas frecuencias centrales donde es visible, así como los días donde los datos tienen resolución. Por último se toman las FAC de las frecuencias y días de interés y se hace un apilado por día de todas las frecuencias y al final un apilado de todos los días. El resultado es una FAC que muestra la reflexión buscada. Para probar el método, se diseñó una estrategia para modelar el ruido registrado en una estación sobre un modelo de velocidades 1D. Dado que se conoce el modelo es posible determinar el tiempo de arribo para las diferentes discontinuidades, de manera que al aplicar el método descrito los tiempos de arribo coincidían. Finalmente, aplicamos la misma metodología al arreglo de estaciones MASE y contrastamos los resultados con los obtenidos por otros autores.

SIS-10

## REMOTE TRIGGERING OF EARTHQUAKES AND TREMOR BY THE 2017 M8.2 TEHUANTEPEC, MEXICO EARTHQUAKE

González Huizar Héctor[1], Velasco Aaron A.[2] y Husker Allen[3]
[1]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
[2]*University of Texas at El Paso, UTEP*
[3]*California Institute of Technology, Caltech*
hectorg@miners.utep.edu

After a large magnitude earthquake occurs some areas near its epicenter experience an increase in seismic activity. However, increases in seismicity have also been observed in places very distant from large earthquakes the moments after they occur. This phenomenon is known as dynamical or remote triggering of seismicity. This is explained as the result of physical changes caused by the passing of the seismic waves that bring faults closer to failure. In this work, we present new observations of dynamic triggering of earthquakes and tectonic tremor in Mexico and the USA caused by the Mw=8.2, 2017 Tehuantepec, Mexico Earthquake. Furthermore, we explore how this earthquake might have influenced the occurrence of other remote large magnitude earthquakes in Mexico.

SIS-11

## SEISMIC SIGNATURE OF THE LANDSLIDE OF 7 FEBRUARY, 2021 IN UTTARAKHAND STATE, INDIA

Singh Shri Krishna[1], Iglesias Arturo[1], Pérez-Campos Xyoli[1], Srinagesh Davuluri[2], Srinivas Dakuri[2] y Tiwari Virendra M.[2]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*CSIR-National Geophysical Research Institute*
krishnamex@yahoo.com

We analyze broadband seismograms of the landslide of 7 February 2021 in NW Himalaya that created a devastating flood downstream in the Chamoli District of Uttarakhand State, India, causing severe damage to hydroelectric power projects as well as deaths. Multiple events can be identified in the seismograms, beginning with a small detachment event at 04:51:09 GMT. The impact of the main bulk of mass began at 0:4:51:59; the process of the impact and disintegration lasted ~ 80 s. It was followed by at least four additional, small impacts that can be traced at most stations. These impacts are seen on the seismograms as "Lamb" pulses which propagate at a speed of 3 km/s. The rock-fall episode lasted for at least 10 minutes. The seismograms reveal deficient high-frequency radiation, a feature in common with other landslides, and tsunami and glacial earthquakes. It is manifested in the disparity between rock-fall magnitudes, Mrf, computed from peak ground displacement measured on broadband seismogram (Mrf 4.0) and from

the short-period seismograms (Mrf 3.1). This disparity may be exploited for quick detection and the possible development of an early landslide alert. Estimate of radiated seismic energy is ~ 4.3E+7 J. Since the potential gravitational energy change during the landslide was ~ 8.2E+14 J, only an extremely small fraction of this energy, ~ 5.2E-8, was converted into radiated seismic energy, the rest was lost in nonlinear processes such as friction, cracking, and plastic deformation on impact.

SIS-12

## ENERGÍA SÍSMICA RADIADA POR SISMOS CERCANOS AL ÁREA DE RUPTURA DEL TERREMOTO DE SONORA DE 1887 (MW 7.5)

Castro Escamilla Raúl Ramón[1] y Villalobos Escobar Gina Paola[2]
[1]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
[2]*Facultad de Ingeniería 'Arturo Narro Siller', Universidad Autónoma de Tamaulipas, México*
raul@cicese.mx

Encontramos que sismos localizados en el extremo sur de la falla que rompió en 1887, entre los segmentos de falla Teras y Otates, radiaron más energía (Es/Mo) que otros eventos cercanos al área de ruptura. En esta zona el sistema de fallas cambia su azimut de aproximadamente norte-sur a noroeste-sureste, lo que puede generar acumulación de esfuerzo tectónico. Es posible que el esfuerzo tectónico también se acumuló en esta zona después que la falla Pitaycachi rompió en 1887. El esfuerzo aparente es heterogéneo y no muestra una clara correlación con el momento sísmico (Mo) o con la profundidad focal. Determinamos las funciones de la fuente de sismos registrados por la red local RESNES (Red Sísmica del Noreste de Sonora), que operó de 2003 a 2011, mediante una técnica de inversión espectral. Calculamos la energía sísmica integrando el cuadrado del espectro de velocidad de la fuente de 47 sismos cercanos a los segmentos de falla que rompieron durante el 3 de mayo de 1887 con el sismo de Sonora (Mw 7.5) localizado en la Provincia de Cuencas y Cordilleras de México. Estimamos que en promedio log(Es/Mo) = -5.76 y encontramos que la mayoría de los sismos analizados tienen un esfuerzo aparente bajo, que varía entre 0.5 x10-3 y 1.85 MPa con un valor promedio de 0.0521 MPa. También encontramos que la atenuación sísmica cerca de la superficie (Ko) es mayor en los segmentos de falla localizados al norte de la dislocación de 1887. La alta atenuación cerca de la superficie es probablemente el resultado del daño generado en las rocas durante el proceso de ruptura de la falla.

SIS-13

## SEISMIC STUDY AT THE SURROUNDINGS OF DOMO DE SAN PEDRO NAYARIT, MEXICO

Muñoz Francisco[1], Calò Marco[2], Lupi Matteo[1] y Reyes Violeta[3]
[1]*Université de Genève, UNIGE*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de Mexico*
[3]*Empresa Grupo Dragon*
francisco.munozburbano@unige.ch

The Domo de San Pedro is part of a silicic volcanic complex located in the westernmost part of the trans-Mexican volcanic belt. The dome features a hydrothermal system suggested to be driven by magmatic bodies at depth. The Domo San Pedro geothermal system capitalizes on such a vigorous fluid circulation exploiting geothermal energy from several wells. Early studies have recorded seismic events promoted by the ongoing crustal deformation of the region. To further investigate this activity a joint project carried on by the University of Geneva UNIGE, Universidad Autónoma de México UNAM, Grupo Dragón, and co-financed by the Swiss agency REPIC*, deployed a seismic network in the vicinity of the Domo de San Pedro in the state of Nayarit, Mexico in march 2021. The network consists of 20 broadband seismological stations covering approximately 400km2 with a detection capacity of earthquakes from a coda magnitude of 0.5. The noise spectra of most of the stations do fit the standard models for periods lower than 10s suggesting the high quality of the data for local studies. We present an earthquakes catalog and advances in obtaining a new 1D velocity model for local earthquakes location derived by simultaneous hypocenter-velocity inversion. We show six months of data characterized by events with coda magnitude ranging from 0 to 1.1 occurring between March and July 2021. We recognized three main types of events that feature different waveforms and frequency contents. Type-1 local events showing S-P < 3s. Type-2 regional events showing S-P > 3s likely associated with the regional fault systems trending NW-SE, and Type-3: high-frequency events with frequencies ranging from 10 to 20 Hz, in some cases turning to monochromatic with a dominant frequency of 15 Hz. The Type-3 events may be produced by the maintenance and/or operation of the wells of the Domo de San Pedro power plant. We aim to complete at least one year of data acquisition to focus our investigation on the effective use of affordable passive seismic methods for geothermal exploration and monitoring in two ways. First, to characterize the seismic behavior of the region and second, to derive tomographic images from ambient noise up to 5km depth to shed light on the 3D velocity structure of the Domo de San Pedro that in combination with the currently available information lead to refining the conceptual model of the geothermal field.

SIS-14

## APLICACIÓN DE LA TRANSFORMADA CONTINUA DE ONDELETAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE SEÑALES SÍSMICAS DEL VOLCÁN DE COLIMA

García Sandoval Cristian Alexis[1], López Vega Jesús Eduardo[1], Vargas Bracamontes Dulce M.[2] y Arámbula Mendoza Raúl[1]
[1]*Universidad de Colima*
[2]*CONACYT-Universidad de Colima*
cgarcia38@ucol.mx

El análisis espectral es una parte importante en la interpretación de las señales sísmicas de origen volcánico. La interpretación de estas señales ha sido fundamental dentro del monitoreo volcánico, análisis que comúnmente es realizado por medio de la tradicional transformada seccional de Fourier. Sin embargo, el uso de ventanas de longitud fija ocasiona una serie de limitantes en el análisis en tiempo-frecuencia. La transformada de ondeletas por su parte posee propiedades que se adecuan a las necesidades de las señales volcánicas en un amplio rango espectral. En el presente trabajo se examina la aplicación de la transformada continua de ondeletas y sus parámetros involucrados en las señales sísmicas del Volcán de Colima, para lo cual se realizó un catálogo de eventos del periodo 2015-2019 entre los que se seleccionaron eventos de bajas frecuencias (LPs), sismos volcanotectónicos (VTs), tremor, explosiones, derrumbes, corrientes de densidad piroclástica, lahares y eventos con picos en el espectro (tremor armónico, tornillos y sismos de espectro bandeado). Las señales volcánicas fueron analizadas con la ondeleta compleja de Morlet, cuyo parámetro clave es el número de ciclos (#0), el cual controla la compensación de la resolución en tiempo-frecuencia. La modificación de distintos valores de #0, fuera del valor convencional utilizado (6) permite caracterizar con mejor detalle eventos por separado que se encuentran en distintos rangos de frecuencia. Valores altos (> 9) del parámetro #0 son adecuados para eventos con picos en el espectro, valores pequeños (< 4) son adecuados cuando se busca resolución temporal, por ejemplo, la identificación de inicios de explosión en el escalograma; por otra parte, valores promedio (6-8) no tienen un efecto notorio en las señales con amplio contenido espectral. Adicionalmente, se evalúan los efectos de tomar de forma conjunta un rango variable del número de ciclos en los escalogramas de las diversas señales sísmicas, en lugar de seleccionar por separado valores específicos de #0. A su vez, se emplea la transformada continua de ondeletas para la búsqueda de eventos de muy bajas frecuencias (VLPs), enfocándonos principalmente en las explosiones de intensidad moderada a grande de enero-febrero del 2017.

SIS-15

## EFECTOS DE LA CONFIGURACIÓN 3D DE CARGAS SUPERFICIALES DE AGUA EN PRESAS, EN LOS CAMBIOS DE ESFUERZOS PARA SISMICIDAD INDUCIDA

Santoyo Miguel Angel
*Instituto de Geofísica, UNAM*
santoyo@igeofisica.unam.mx

La sismicidad inducida por cargas de agua en presas (RTS por sus siglas en inglés) es un fenómeno complejo, especialmente al tratar de comprender los mecanismos físicos que lo generan. Entre los aspectos clave a tener en cuenta para el análisis adecuado de RTS está la realización detallada de modelos de la distribución espacio-temporal de las cargas de agua, con base en Modelos Digitales de Elevación (MDE) para la batimetría, y la evolución temporal de los niveles de agua; desafortunadamente, en algunos casos resulta complicado el disponer de MDE de la topografía, suficientemente detallados y previos al llenado de presas, especialmente para presas antiguas. En este trabajo se estudia la evolución temporal de los cambios de esfuerzos en el subsuelo, en función de la configuración 3D de la batimetría y los cambios en el nivel del agua en presas, mediante MDE reales y teóricos compuestos. Por una parte, las cargas superficiales se modelan mediante configuraciones teóricas en 3D con base en la relación de aspecto del lago. La batimetría teórica se modela asumiendo modelos semi-elipsoidales truncados con diversas relaciones de aspecto 3D, modificados en los bordes mediante una ventana cosenoidal bidimensional. Estos modelos simples pueden combinarse a fin de generar configuraciones complejas del lago. Con base en estos, se comparan los cambios de esfuerzos producidos mediante los modelos teóricos, con los producidos mediante el MDE real de la presa de Aguamilpa, Nayarit, México. Aguamilpa es una de las presas de gravedad con mayor altura de la cortina del país, y la quinta en capacidad de almacenamiento (6,950 hm3). La evolución espacio-temporal de las cargas superficiales, se calcula empleando el MDE obtenido antes del llenado, utilizando los niveles de agua observados durante ocho años. Los cambios de esfuerzos del subsuelo son calculados de forma tensorial (2do orden) en 3D, y resueltos para diferentes mecanismos focales; posteriormente estos son comparados con la serie sísmica ocurrida después del inicio del llenado de la presa. Los resultados muestran que para diferentes configuraciones 3D y para diferentes profundidades de observación, los cambios de esfuerzos en ambos casos son congruentes con el Principio de Saint-Venant para medios elásticos. Así mismo, los modelos teóricos reproducen adecuadamente los efectos principales de las cargas superficiales a profundidades relativamente someras, mostrando cómo estos pueden ser altamente útiles en el análisis de la sismicidad somera inducida.

SIS-16

## ANÁLISIS DE FASES CONVERTIDAS Y DEL MOVIMIENTO INTENSO DEL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE 2017 (MW 71), PUEBLA-MORELOS, MÉXICO

Rodríguez Ramírez Karina de los Ángeles, Aquino Sandoval Gilberto Crispin y Cárdenas Soto Martín
*Facultad de Ingeniería, UNAM*
angkary2.hg@gmail.com

El sismo del 19 de septiembre de 2017 (Mw 7.1) causo# daños principalmente en la denominada zona de transición. Diversos trabajos señalan que, alrededor de 1.5 s de periodo, el movimiento intenso del terreno alcanzó aceleraciones dos veces mayores a las producidas por el sismo de septiembre de 1985. Una característica peculiar en los registros del sismo de 2017 de la red acelerométrica de la Ciudad de México fue la impulsiva onda directa P (debido a la cercanía de la fuente), y una serie de fases de ondas de cuerpo perfectamente identificables en todas las estaciones. En este trabajo analizamos los tiempos de arribo de dos fases con respecto a la llegada de la onda P, y sus respectivas amplitudes en el componente vertical de 68 registros de aceleración. Los retrasos de tiempo muestran anomalías que no se correlacionan con la zonificación sísmica de la ciudad, pero las amplitudes coinciden con la zona de mayores daños a estructuras. Un análisis de polarización de la parte intensa de los registros, muestra que no es posible definir cabalmente el predominio de ondas superficiales a periodos cercanos en los cuales se alcanzaron las aceleraciones máximas. Por otro lado, el análisis f-k, para identificar la dirección del campo de ondas tampoco muestra resultados plausibles en ese rango de periodos debido a la presencia de los efectos de sitio. Así, un componente importante a considerar es la radiación de energía hacia arriba desde la fuente producida por este sismo, la cual pudo provocar una serie de ondas convertidas en la corteza que interactuaron fuertemente con el movimiento intenso llegando a ser más destructivo.

SIS-17

## SOURCE PROPERTIES OF SHALLOW TREMORS IN THE GUERRERO SEISMIC GAP

Plata-Martínez Raymundo[1], Ito Yoshihiro[1], Ohta Kazuaki[2] y Ide Satoshi[3]
[1]*Kyoto University*
[2]*National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention*
[3]*Tokyo University*
plata.omar.48e@st.kyoto-u.ac.jp

The Guerrero seismic gap, in the Mexican subduction zone, is an example of a region absent of all types of offshore observations to monitor seismic activity. The seismic gap has been characterized as a low coupled region with presence of large slow slip events and tremors located at the plate interface at a depth around 40-60 km, nevertheless, with no offshore observations shallow slow earthquakes had not been observed in the gap. After the recent deployment of an offshore seismic network, shallow slow earthquakes have been reported in the Guerrero seismic gap for the first time. We used data from ocean bottom stations (OBS) to analyze the new catalog of shallow tremors and describe their source. We calculated focal mechanisms of shallow tremors using S wave polarization and found that slip azimuth of shallow tremors tends to follow subduction plate motion. These suggest that they rupture at the plate interface within the seismic gap. We then estimated radiate seismic energy. For this we first calculated attenuation models for the Guerrero offshore region and site effect for our OBS stations. We corrected shallow tremors spectrums for attenuation and site effects to estimate their radiated seismic energy. We found a heterogeneous energy release of shallow tremors along strike that can explain the different mechanical properties, inside and outside the Guerrero seismic gap, and help to characterize the seismogenic zone at the shallow plate interface.

SIS-18

## PREDICTION OF FOURIER AMPLITUDE SPECTRUM OF GROUND MOTION AT CU, MEXICO CITY FROM COASTAL INTERPLATE THRUST EARTHQUAKES

Arroyo Danny[1], Ordaz Mario[2] y Singh Shri Krishna[3]
[1]*Departamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana*
[2]*Instituto de Ingeniería, UNAM*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
aresda@azc.uam.mx

Ground motion prediction equation (GMPE) for Fourier amplitude spectrum (FAS) at CU, Mexico City from coastal interplate thrust earthquakes plays an important role in the estimation of the motions in the entire city from postulated events. This is accomplished through the FAS along with known (nearly invariant) spectral amplification at many sites with respect to CU, and the application of random vibration theory. The quantity of available, useful recordings has doubled and the quality has improved since 1994 when the GMPE for FAS was first constructed. This motivates us to revisit this issue. Similar to the 1994 study, we follow the Bayesian approach in our regression analysis which allows for the inclusion of knowledge not directly derived from the observed data. Analysis based on the new dataset (recordings of 40 earthquakes, 5 # Mw # 8, distance range 250 - 500 km) results in an important reduction of aleatory variability of the GMPE with respect to the previous one in the frequency range 0.1 - 10 Hz. Based on the observed residuals, we modify the model to allow for the variation of attenuation along different paths. We find that this simple modification leads to further reduction in the aleatory variability of the GMPE, especially at frequencies greater than 1 Hz. The new GMPE should yield more reliable FAS at CU.

SIS-19

## MODELOS GENERATIVOS DE APRENDIZAJE PROFUNDO EN UN ESPACIO LATENTE DE AUTOCODIFICADOR VARIACIONAL: APLICACIONES A LA INTERPRETACIÓN SISMOLÓGICA Y DE FALLAS

Ortega Roberto
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
ortega@cicese.mx

Hacer dibujos geocientíficos requiere muchas horas de diseño y pruebas. Además de muchos intentos de prueba y error. Presentamos, un enfoque de aprendizaje profundo para crear dibujos geocientíficos a partir de secciones utilizando un espacio latente. El espacio latente es una distribución de hiperparámetros donde se forma cualquier conjunto de figuras, imágenes, palabras, audio o cualquier otro objeto digital. El objetivo principal es crear artificialmente cualquier objeto que sea prácticamente idéntico al original, pero que pueda variar en forma. La mayoría de las veces, estos nuevos objetos son difíciles de reconocer si fueron obtenidos artificialmente por una computadora o si son reales. Tradicionalmente, la elaboración de mapas geológicos y secciones transversales es un proceso muy costoso que requiere muchas horas de trabajo, además, se cree que una sección geológica es estática y no cambia con el tiempo. Sin embargo, existe la necesidad de cambiar mediante el uso de algoritmos novedosos que puedan resolver problemas de visualización en poco tiempo. Por esta razón, estamos interesados en cambiar los esquemas gráficos para acelerar el tiempo requerido para hacer mapas geológicos a mano. Es importante señalar que nuestro trabajo se centra en la creación de mapas en lugar de en un modelo matemático formal que comprenda relaciones físicas, por ejemplo, el plegado con el estado inicial y las leyes físicas, sin embargo en casos especiales como los cambios geodésicos por fallas rectangulares, son buenos ejemplos para aplicar estos modelos en regiones sísmicas. Nuestro modelo de IA se basa en la Red Generativa Jerárquica para Gráficos, adaptando parámetros y objetivos de entrenamiento con restricciones geológicas. El primer paso es dibujar el mapa o perfil. El formato SVG es un lenguaje de marcado extendido XML, que está estructurado jerárquicamente. El dibujo de ANN se realiza utilizando una transformación de vector de incrustación. Este proceso permite aprender diferentes tareas utilizando los comandos, argumentos y secuencia de órdenesUna vez que se construye el vector de incrustación, se utiliza como entrada para la red generativa jerárquica. La arquitectura de la red se basa en un autocodificador variacional (VAE). Este tipo de redes están diseñadas para imponer una estructura probabilística en las capas ocultas. Para el caso de datos de valor real, el espacio latente se centra en una distribución gaussiana. La arquitectura modela las variables ocultas se ordenan de forma estocástica y el espacio latente permite generar muestras a partir de la distribución de datos subyacente utilizando solo la parte del decodificador.

SIS-20 CARTEL

## CAMPOS DE MOVIMIENTO DEL TERRENO A PARTIR DE UN SISMO EN LA COSTA DE JALISCO

Robles Garibaldi Luis Alfonso y Escudero Christian R.
*Universidad de Guadalajara*
luis.robles2978@alumnos.udg.mx

Un componente de la evaluación del riesgo sísmico, es la amenaza, Jalisco se encuentra ubicada en una zona de alta sismicidad por lo que existe la posibilidad que un evento telúrico de magnitud considerable ocurra en la región. Se generaron campos de movimiento a partir de un sismo, modelado por medio del software OpenQuake Engine. Para este trabajo se contempla el modelado de la ruptura como una falla geométrica simple, de la cual se considera de manera básica el mecanismo focal generado por el sismo del 19 de junio de 1932. Al modelar la ruptura se puede determinar la intensidad con que se manifiesta la agitación del terreno, por lo que la distribución de esta intensidad en el espacio se conoce como campo de movimiento del terreno delimitada por coordenadas geográficas. Se utilizaron tres ecuaciones de movimiento del terreno(GMPE) de las cuales los parámetros mínimos de la ruptura considerado son: la magnitud en Mw y la distancia entre la ruptura y el sitio, las ecuaciones correspondientes a la región tectónica delimitada entre la placa de rivera y la placa norteamericana que es de subducción. El presente trabajo pretende dar como resultado las aceleraciones pico del terreno producto de un sismo hipotético, magnitud 8.0 con ubicación en la costa de Jalisco.

SIS-21 CARTEL

## ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FOCALES DE LA SISMICIDAD EN EL ESTADO DE HIDALGO

Néquiz Guillén Brenda Abril[1] y Quintanar Robles Luis[2]
[1]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
brenda.nequiz@ciencias.unam.mx

Mediante el análisis de la sismicidad acaecida en el estado de Hidalgo entre diciembre de 2010 y mayo de 2019 y tras la obtención de sus respectivos mecanismos focales, se caracterizaron 18 fallas tectónicas, correspondientes a diferentes sectores sísmicos del estado . Estos mecanismos focales se obtuvieron a partir del método de polaridades de primeros arribos de ondas P, el cual se fundamenta en la teoría de la elasticidad de los medios continuos, y están directamente relacionados con los esfuerzos tectónicos generados en la corteza. Así, se observa que el estado de Hidalgo presenta al menos cinco zonas principales de sismicidad en donde se ubican fallas tectónicas activas que generan actividad sísmica cortical de baja magnitud y profundidad, por lo cual es indispensable llevar a cabo un mayor monitoreo de dicha actividad y una mayor investigación del área; esto con el fin de establecer el potencial sísmico de los diferentes sectores y el peligro sísmico asociado a las poblaciones cercanas.

SIS-22 CARTEL

## ESTUDIO DE LA SISMICIDAD DE OAXACA CON UNA RED TEMPORAL EN LA COSTA

Calò Marco[1], Solano Hernández Erika Alinne[2], Iglesias Mendoza Arturo[1] y Pérez-Campos Xyoli[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Instituto de Industrias de la Universidad del Mar campus Puerto Ángel, Oaxaca*
calo@geofisica.unam.mx

El estado de Oaxaca, al igual que la mayoría de los estados de la costa del Pacífico, está caracterizado por una intensa sismicidad asociada con el proceso de subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Norteamericana. Aunque en esta porción del país han ocurrido sismos de magnitud muy elevada (y a veces devastadores) y se sabe que la tasa de sismicidad es muy elevada, la red sísmica de monitoreo permanente actualmente en operación, no permite una descripción adecuada de la sismicidad con magnitud inferior que 4-4.5 limitando fuertemente la posibilidad de llevar a cabo estudios exhaustivos del fenómeno sísmico de la región. Incrementar la densidad de la red sísmica, si bien con pocas estaciones, es entonces una necesidad fundamental para mejorar la calidad del monitoreo sísmico de esta región. En este trabajo se presentan los resultados preliminares de una red temporal de cinco estaciones instaladas en la costa de Oaxaca y sus alrededores, mostrando que la integración de los datos registrados por el Servicio Sismológico Nacional con los de la red temporal permitirán reducir el umbral de magnitud para la detección y localización, incrementar la calidad de las estimaciones hipocentrales y permitir estudios más detallados de las fuentes sísmicas, de la corteza y del manto superior en esta parte del país. Proyecto apoyado por el Programa de Apoyos para la Superación del Personal Académico de la UNAM (PASPA).

SIS-23 CARTEL

## LA SÍSMICA DE REFRACCIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA ROCA BASÁLTICA DENTRO DEL ITSVC

Hernández Ortega Astrid, Vázquez Ramírez Edgar Abraham, Ventura Romero Isai, González Juárez Diego Armando y Guzmán García Rosalinda
*Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, ITSVC*
astrid.hernandez@itsvc.edu.mx

La sísmica de reflexión es un método geofísico que tiene como función, la caracterización geológica del terreno y conocer la profundidad de las rocas mediante la medición del tiempo del arribo de las ondas primarias o de compresión (P) de una fuente sísmica producida de manera artificial, con respecto a la distancia se encuentran distribuidos los geófonos a lo largo de todo el perfil horizontal. Este es un método que se encarga de estudiar la propagación de las ondas a través de distintos medios por el subsuelo; mediante una serie de geófonos alineados a lo largo de un perfil horizontal implementando cada uno de los puntos de tiro a diferentes posiciones en lo largo del perfil con el fin de comprender y analizar el tiempo de llegada de la señal refractada a lo largo del perfil horizontal, esto para saber la profundidad y la geometría de las capas refractadas que se registraron en el Software Geometrics Seismodule Controller. Sis, Venustiano Carranza, Puebla, México. El Tendido de los geófonos, se realizó a lo largo de dos perfiles horizontales, donde la separación fue a una distancia de 2 m. Esta separación de geófonos dependerá siempre de la profundidad de prospección deseada. Con el apoyo de un gps Garmin se tomará el primer y último punto de los geófonos de los dos perfiles que se realizaron, esto para poder ubicarlos por medios de una imagen satelital. Para realizar el procesado de los datos obtenidos, la generación de modelos y curvas de tiempo distancia, se ocuparon los software (Pickwin y,Plotrefa). Se tomó en cuenta la geología del lugar y se conoce que en gran parte del área de estudio se encuentra compuesta por roca basáltica, sin embargo la presencia de las rocas sedimentarias como los son areniscas y lutitas en esta zona de estudio mantiene un espesor el cual oculta la profundidad de la roca firme, la razón por la cual se realizaron los tendidos de refracción sísmica con el objetivo de poder determinar a qué profundidad se encuentra y saber qué áreas podrían ser favorables para futuras construcciones. Para lo cual se empleó el método sísmico de refracción.

SIS-24 CARTEL

## POLARIZACIÓN DE ONDAS DE CUERPO DE SISMOS LOCALES Y REGIONALES USANDO UN ARREGLO DE APERTURA CORTA

Juárez Ruiz María Guadalupe[1], Santoyo-García Galiano Miguel Ángel[2] y Domínguez Ramírez Luis Antonio[1]
[1]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
lupitaruiz693@gmail.com

En este estudio se hace una evaluación de al menos dos metodologías para el cálculo de la polarización de las ondas de cuerpo de eventos sísmicos locales y regionales con magnitudes 3.0 < M # 5.2. Para ello, se utilizó una red de apertura corta con el fin de calibrar las metodologías y elegir la más adecuada para esta configuración y región. La red se encuentra instalada al este de Zihuatanejo, Guerrero, en la zona de amortiguamiento ecológico del Aeropuerto de Ixtapa-Zihuatanejo. Esta red se compone de tres sismómetros temporales y una estación permanente del Servicio Sismológico Nacional (SSN), separados entre sí aproximadamente 100 m. Se generó una base de datos de sismos localizados por el SSN que fungió como guía para seleccionar los sismogramas de toda la red. A partir de esta base de datos se usaron códigos computacionales propios y recientemente publicados para la localización de los eventos. Se analizó que las metodologías empleadas tuvieran la precisión suficiente para que los datos obtenidos fuesen comparables con los registrados por el SSN, y así poder generar localizaciones confiables de sismos de M > 3.0 no localizados por SSN. Finalmente se compararon las metodologías con base en los resultados obtenidos.

Sesión regular

# VULCANOLOGÍA

Organizador:
Pablo Dávila Harris

VUL-1

## MODELO CONCEPTUAL DE LA MANIFESTACION GEOTERMICA EN PAJACUARAN, MICH

Martínez Reyes José[1], Piña Garrido Brandon[2], Moreno Nava Ignacio[1], Vera Romero Iván[1], Estrada Jaramillo Melitón[1] y Ortiz Soriano Agustina[1]
[1]*Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo*
[2]*Instituto Politécnico Nacional*
jmartinez@ucienegam.edu.mx

El área de la Ciénega de Chapala se encuentra al este del rift Cítala, que alberga un sistema geológico que da lugar a la actividad hidrotermal regional, principalmente las fallas Ixtlán y Pajacuaran. La actividad geotérmica regional se compone de un hidrotermalismo superficial que consiste en manantiales y pozos de agua caliente con temperaturas entre 48 y 94 C en Ixtlan de los Hervores y San Juan Cósala, así como volcanes de lodo en Los Negritos. Las aguas y gases de estas manifestaciones hidrotermales tienen características físico-químicas que indican la presencia de fluidos geotérmicos. En el presente trabajo se propone un modelo teórico-conceptual de la manifestación geotérmica estudiada localmente (falla Pajacuaran) en la población de Pajacuaran, Michoacán, en el punto de coordenadas 20° 7' 38,8" N y -102° 32' 57,0" O. Con base al estudio con un georadar GPR GSSI SIR2000 con antena de 200 MHz variable dieléctrica 4 y de medición de temperaturas de emanación de gases a través de la falla (CO2) con un analizador de gases BACHARACH PCA 3 y un termógrafo Fluke Ti 32 IF FUSION. Lo cual permite estimar estimar como modelo teórico conceptual, el ascenso de fluidos geotérmicos (CO2) a través de la fractura de la falla Pajacuaran desde una cámara magmática a profundidad (5 Km) dando lugar a una manifestación geotérmica local.

VUL-2

## MÉTODO DE INVENTARIO DE CLORUROS PARA MONITOREO VOLCÁNICO EN EL CHICHÓN, CHIAPAS, MÉXICO

Jácome Paz Mariana Patricia[1], Campion Robin[1], Armienta María Aurora[1], De la Fuente Rivera Juan Ramón[2], Macnaught Jimenez Néstor Guillermo[3], López Valdés Néstor[4] y Rodríguez Méndez Yajaira[3]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM*
[3]*Protección Civil de Tabasco*
[4]*Facultad de Ciencias, UNAM*
jacome@igeofisica.unam.mx

Desde diciembre de 2020 hasta abril de 2021, el Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó una serie de eventos sísmicos con epicentros cerca de Pichucalco, Chiapas (SSN, 2021). Debido a su proximidad al volcán El Chichón, un grupo de vulcanólogos y sismólogos de diversas instituciones mexicanas ha estado trabajando en varios aspectos del enjambre sísmico para comprender el origen y posible relación con el volcán. En este trabajo presentamos los resultados y la evolución temporal de las concentraciones de cloruro como parte fundamental del monitoreo geoquímico de dicho sistema hidrotermal. Se presentarán parámetros fisicoquímicos y composición química general de los diversos manantiales y tributarios termales, así como los flujos totales de Cl, de SO4 y cationes, con el objetivo de discutir si hay suficiente evidencia para indicar si el sistema hidrotermal derivará en un cambio de actividad volcánica, y analizar el comportamiento temporal en el entorno geoquímico para proponer posibles umbrales indicativos de modificaciones en este sistema hidrotermal. Agradecimientos: Por el apoyo técnico en campo a Protección Civil de Tabasco, Protección Civil de Chiapas, especialmente a los colegas de los municipios de Chapultenango, Ostuacán y Pichucalco. A los colegas Alejandra Aguayo , Olivia Cruz y Omar Neri por el apoyo técnico en laboratorio.

VUL-3

## CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE MANIFESTACIONES GEOTERMALES EN ATOTONILCO, COMAPA Y APAZAPAN, VERACRUZ, MÉXICO

Jácome Paz Mariana Patricia[1], Pérez Zarate Daniel[2], Elizalde Vázquez Karla Jimena[3], Baizabal Gómez Emma Daira[3], Espinasa Pereña Ramón[4], De la Fuente Rivera Juan Ramón[3] y Prol Ledesma Rosa María[1]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Instituto de Energías Renovables, UNAM*
[3]*Facultad de Geografía, Universidad Veracruzana, UV*
[4]*Instituto de Geología, UNAM*
jacome@igeofisica.unam.mx

México es un país rico en fuentes de energía renovables, especialmente de energía geotérmica, recurso que ofrece amplias oportunidades para ser explotado y enfrentar los desafíos del calentamiento global y del uso de combustibles fósiles. El interés para el desarrollo potencial de los recursos geotérmicos en México debe ser promovido mediante la exploración de nuevas zonas geotérmicas, el desarrollo de técnicas innovadoras para la evaluación de riesgo energético, la visibilización de los recursos energéticos y la apropiación social en dichas temáticas. En los alrededores de la zona del volcanismo intraplaca oriental de la Faja volcánica Transmexicana con centro aproximado en la ciudad de Xalapa, Veracruz, se han identificado manifestaciones hidrotermales que llegan a tener temperaturas máximas de 40°C. Los resultados de la exploración geoquímica superficial en campo muestran que la composición química de los manantiales corresponde a tipos de agua neutra mezclada con preponderancia de aguas carbonatadas y sulfatadas. En algunos manantiales se presentan características químicas que permiten la aplicación de geotermómetros que indican una temperatura adecuada para usos directos. Con base en esos resultados se propone la utilización de los recursos geotérmicos de la zona en aplicaciones directas adecuadas a sus condiciones de temperatura y la química de los fluidos. También se presenta el impacto positivo en las comunidades locales que se puede alcanzar con el aprovechamiento de estos recursos.

VUL-4

## BATIMETRÍA DEL LAGO DEL VOLCÁN EL CHICHÓN Y SU CORRELACIÓN CON FLUJOS DIFUSOS DE CO2

Ortiz Ruiz Maricela[1], Jácome Paz Mariana Patricia[2], Ramírez Serrato Nelly Lucero[2], Campion Robin[2] y Espinasa Pereña Ramón[3]
[1]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Instituto de Geología, UNAM*
maricela.ort.rz@gmail.com

La batimetría es una técnica que puede complementar el monitoreo de volcanes activos para detectar cambios posibles en aquellos cráteres que albergan cuerpos de agua, como lagos cráticos. En el caso de algún cambio en su actividad el realizar campañas de batimetría frecuentes ayuda a detectar tempranamente algún proceso de expansión, contracción o deformación del cráter. En este trabajo se reportan resultados de tres campañas de batimetría en el lago del volcán El Chichón, Chiapas, utilizando un sonar portátil Fish Finder de bajo costo. Las batimetrías fueron obtenidas en Abril 2014, Enero y Junio de 2021 con alrededor de 101, 170 y 195 puntos, respectivamente. Adicionalmente se presenta una correlación espacial con flujos difusos de CO2, medidos con técnica de acumulación dinámica a través de mediciones con flujómetro West System implementado con espectrómetro infrarrojo LICOR, LI-820. Los resultados que serán detallados en este trabajo son las profundidades del lago máximas alcanzadas de 2014 a 2021, aproximadamente de 15 metros, y una posible expansión del fondo del lago cráterico con una tasa de crecimiento del orden de 0.28 a 0.40 en el periodo comprendido entre 2014-2021. Así como las estructuras espaciales de emisiones difusas y su correlación con las profundidades máximas del lago. Además de caracterizar los cambios batimétricos en el cráter del volcán El Chichón, este trabajo resalta la importancia del uso de instrumentos de bajo costo, portátiles y de fácil transportación como complemento al monitoreo volcánico en sistemas que pudieran presentar esfuerzos de deformación.

VUL-5

## CRONOLOGÍA ERUPTIVA DEL CLUSTER DE DOMOS LA NIEVE, CAMPO VOLCÁNICO MICHOACÁN-GUANAJUATO (MÉXICO)

Avellán Denis Ramón[1], Macías José Luis[2], Gómez-Vasconcelos Martha Gabriela[3], Sosa-Ceballos Giovanni[2], Cardona-Melchor Silvestre[2], Cisneros Máximo Guillermo[2] y Perton Mathieu[4]
[1]*CONACYT - Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*CONACYT - INICIT, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
[4]*Instituto de Ingeniería, UNAM*
denisavellan@gmail.com

Con base en un mapa geológico detallado y una estratigrafía soportada de nuevas edades radiométricas 40Ar/39Ar y 14C, y el análisis químico de roca total, establecimos la cronología eruptiva de los volcanes monogenéticos que conforman el cluster de domos la Nieve. El registro geológico de este cluster de domos establece que al menos 20 volcanes monogenéticos se formaron durante los últimos 4 Ma al suroeste de la cuenca de Cuitzeo, región centro-oriental del campo volcánico Michoacán-Guanajuato. Este cluster monogenético incluye al menos 13 domos de lava, seis flujos de lava y un cono de escoria. Estos volcanes se construyeron sobre un basamento superficial de vulcanismo regional constituido por la ignimbrita Atecuaro del Mioceno temprano (16.8 Ma). La actividad ocurrida en el Plioceno medio entre ~4 y 3.8 Ma consistió en la construcción del edificio volcánico principal la Nieve. Este edificio volcánico presenta todas las características de un paleo volcán con morfología en escudo pequeño que emitió probablemente un volumen mínimo expuesto de magma de hasta 3.6 km3. Tiempo después, ocurrieron al menos 18 erupciones a pequeña escala, dominantemente efusivas y dispersas en los flancos del volcán en un periodo entre 2.6 Ma hasta hace recientemente 28.2 ka. Por lo que el volumen total emitido fue de 17 km3 y llego a cubrir un área mínima expuesta de 326 km2. Resultando en una tasa de erupción de magma equivalente a 0.004 km3/ka. Todas las rocas asociados a la construcción del cluster la Nieve abarcan un rango en composición relativamente restringido, desde andesitas enriquecidas en sílice hasta andesita basáltica que varían entre 64.2 a 53.9 % en peso de sílice. Con base en toda la información del registro geológico de la región, hemos atribuido el estilo eruptivo dominante y la ubicación espacio-temporal, a una posible extensión heterogénea en campo volcánico Michoacán-Guanajuato, provocada a lo largo de la zona de falla Huiramba perteneciente al sistema de falla Morelia-Acambay.

VUL-6

## VULCANISMO TIPO SHOSHONÍTICO EN EL CAMPO VOLCÁNICO MICHOACÁN - GUANAJUATO, GRABEN DEL CAHULOTE DE SANTA ANA - PEDERNALES, MÉXICO

Gómez Calderón Daniel Alberto[1] y Corona Chávez Pedro[2]
[1]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, UNAM*
[2]*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
dagcbeto@gmail.com

El origen de la coexistencia del vulcanismo tipo calcoalcalino con alcalino y shoshonítlco en cinturones volcánicos de tipo orogénico son actualmente motivo de debate. El Graben Cahulote de Santa Ana - Pedernales (GCSAP) localizada en el extremo suroriental del Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato y en el frente del Cinturón Volcánico Transmexicano. Aquí coexisten vulcanismo Cuaternario tipo calcialcalino y shoshonítico. En este trabajo presentamos un análisis morfoestructural, complementado con datos geoquímicos-petrológicos y se analiza su relación con las estructuras tectónicas regionales. El GCSAP representa una cuenca vulcanotectónica orientada NE-SO, se compone por un graben en su sector sur y un semigraben en su porción norte. La geometría de la cuenca se asocia al desarrollo del sistema de fallas de Mil Cumbres. Se identificaron 79 edificios volcánicos, predominando los de tipo spatter y en menor medida conos cineríticos, escudos pequeños y domos. Se calculó un volumen total de 14 km3 de magma emplazado. Los lineamientos, la elongación de los edificios, así como las características de los dominios morfoestructurales se asocian con cuatro sistemas de deformación, predominando las orientaciones NE-SO, seguidas por las NO-SE, NNO-SSE y E-O que sugieren la rotación temporal de diferentes direcciones del máximo de extensión horizontal en los últimos 2 Ma. El vulcanismo es predominantemente de tipo basalto andesítico y andesítico, con asociaciones minerales de Ol+Cpx+Plg+Vidrio±Opx±Amp±Cr-Spl. Los productos shoshoníticos con asociaciones de Cpx+Phl+Ol+Vidrio±Cr-Spl±Lc. Presentan una afinidad calcialcalina medio potásica y en menor medida alcalinas alto potásicas-shoshoníticas con variaciones de SiO2 entre 50 y 61%wt y contenidos de MgO de 2 a 10%wt. Las rocas tipo shoshoníticas están enriquecidas en P2O (0.3-1%wt), LREE, LILEs y elementos inmóviles como Nb o Ta. Las shoshonitas se muestran saturadas en sílice con Ol-Hy-Dp normativos y únicamente el C. Chato presenta subsaturado con Ol-Dy-Nph-Pv normativos, mientras que las de tipo calcialcalino son sobresaturadas con Dp-Hy-Qz normativos. El vulcanismo tipo shoshonítico y los productos alto magnésicos (>6%wt) se emplazaron en bajos y altos estructurales respectivamente, a través de edificios prevalentemente tipo spatter, los cuales se ubican predominantemente en la intersección de dos o más fracturas regionales. Consideramos que los spatters pueden ser indicadores morfotectónicos que reflejan magmas potásicos y/o poco evolucionados. Las edades reportadas para esta zona y la distribución del vulcanismo en la GCSAP, sugieren que los diversos edificios volcánicos y sus productos se emplazaron en al menos 6 pulsos magmáticos durante los últimos 2 millones de años. La coexistencia de las series magmáticas se asocia con altas tasas de extensión litosférica que dieron origen a sistemas extensivos-transtensivos, los cuales facilitaron el ascenso adiabático y el intercrecimiento intermitente de pulsos magmáticos procedentes de diferentes reservorios con fuentes mantélicas heterogéneas y parcialmente metazomatizadas. Los cambios en la geometría y cinemática de los sistemas de deformación se relacionan con la fragmentación de la placa de Cocos durante el último millón de años.

VUL-7

## BRECHAS LÍTICAS CO-IGNIMBRÍTICAS EN LAS FORMACIONES LA BUFA Y CALDERONES DE LA CALDERA DE GUANAJUATO: CUANTIFICACIÓN DE ABUNDANCIA RELATIVA Y GRANULOMETRÍA

Ubach-Cózatl María Eugenia[1], Aguirre-Diaz Gerardo de Jesús[2] y Vázquez-Morales Rosario[3]
[1]*Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UNAM*
[2]*Centro de Geociencias, UNAM*
[3]*Ciencias de la Tierra, ENES, UNAM-Juriquilla*
meubachc@ciencias.unam.mx

La caldera tipo graben de Guanajuato está ubicada en la Sierra de Guanajuato y forma parte de la Sierra Madre Occidental. En esta caldera se observan en varios puntos brechas líticas co-ignimbríticas, particularmente en las formaciones La Bufa y Calderones. En este trabajo, se presenta una metodología con la que se determinaron algunas características físicas de estas brechas empleando principalmente el análisis de imágenes de los afloramientos y utilizando varias herramientas del Sistema de Información Geográfico QGIS. Las características que se analizaron fueron tamaño, textura y volumen relativo de los líticos respecto a la matriz que los contiene. Con fines comparativos, se empleó además el método de Rosiwal con estas mismas herramientas para cuantificar tamaños y volúmenes relativos de los líticos mediante mediciones diagonales en las mismas imágenes. La metodología digital empleada en este estudio representa una técnica eficaz para el análisis textural y granulométrico en depósitos volcaniclásticos utilizando fotografías de los depósitos.

VUL-8

## DIFERENCIACIÓN DE IGNIMBRITAS DEL SECTOR CENTRAL DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL, EN UNIDADES ERUPTIVAS CON BASE EN SU ESTRATIGRAFÍA, MINERALOGÍA Y GEOQUÍMICA: IMPLICACIONES PETROGENÉTICAS

Herrera Contreras Daniel, Dávila Harris Pablo y Martin Aaron
*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
daniel.herrera@ipicyt.edu.mx

La Sierra Madre Occidental (SMOc) ha sido ampliamente descrita y es catalogada como una de las provincias silícicas más grandes del mundo, con un volumen aproximado de 400,000 km3 y una extensión de 1200 km. En el Sector Central de la SMO, estos depósitos son producto de dos pulsos volcánicos principales o 'flare-ups' ignimbríticos con edades de 32-28 M.a. y 24-23 M.a., agrupados en distintas secuencias tales como la Secuencia Ignimbrítica Durango y la Secuencia El Salto-Espinazo. Éstas, se subdividen en grupos y formaciones de acuerdo con su estratigrafía y posible origen eruptivo. Sin embargo, las unidades volcánicas que conforman dichas secuencias presentan suficientes variaciones composicionales y mineralógicas para su diferenciación estratigráfica y petrogenética, en conjunto con nuevos fechamientos. Este proyecto tiene por objeto la diferenciación de unidades eruptivas (sensu stricto) en la región central de la SMO para establecer una interpretación volcánica más detallada que aporte a los modelos de emplazamiento actuales. Se trabajó en cuatro secciones –'Las Cebollas', 'Río Chico', 'Canoas' y 'Picachos'–, en un transecto identificado aquí como Durango-Picachos. Se levantó estratigrafía volcánica, y muestreo para petrografía y geoquímica de roca total por fluorescencia de rayos X (FRX), e identificación de fases minerales por difracción de rayos X (DRX). La caracterización geoquímica se realizó con un enfoque en elementos traza inmóviles para mitigar los posibles efectos de la alteración. La sección Las Cebollas (12 km al SW de la Cd. de Durango) corresponde parcialmente a unidades descritas por Swanson y Keizer (1978) de manera general, conformada por depósitos de caída y tobas masivas poco soldadas. La sección Río Chico (20 km al occidente de la Cd. de Durango) corresponde a unidades pertenecientes al Grupo Río Chico Superior, de acuerdo con Córdoba (1988), compuesta por depósitos de flujo y de caída con estratificación paralela, seguidos de tobas masivas poco soldadas. La mineralogía para ambas secciones se compone por cuarzo (cristobalita o tridimita), ortoclasa, anortoclasa, sanidino y albita, y destaca la presencia abundante de zeolitas (heulandita). Pertenecen a la Secuencia Ignimbrítica Durango, cuyo origen se atribuye a los eventos eruptivos de la Caldera Chupaderos. Presentan firmas geoquímicas distintas y algunas de estas unidades no han sido caracterizadas. La sección Canoas (25 km al NW de El Salto), está constituida por tobas masivas de gran espesor, delimitadas por paleosuelos y depósitos de caída, presenta una firma geoquímica muy similar a la secuencia Picachos y la ya conocida Secuencia El Salto-Espinazo, con anomalías negativas de Ba, Sr, Eu y Ti muy marcadas. La mineralogía para estas secuencias se constituye principalmente de cuarzo, moscovita y albita, con variaciones locales de feldespatos potásicos, tales como ortoclasa, microclina y sanidino. Una disección cuidadosa de los grandes grupos eruptivos previamente descritos en la región puede permitir, con base en datos geológico-analíticos, establecer condiciones eruptivas, procesos que tuvieron lugar durante su emplazamiento, posibles fuentes de origen, correlación y cálculo de volúmenes más certeros para esta gran provincia, que aún presenta muchos retos para su entendimiento.

VUL-9 CARTEL

## TUBOS DE LAVA Y SU INFLUENCIA EN EL ACUÍFERO DEL RÍO ACTOPAN, VERACRUZ, MÉXICO

Rivera Ballesteros Isaac[1], Espinasa Pereña Ramón[2] y Jácome Paz Mariana Patricia[3]
[1]*Instituto Politécnico Nacional*
[2]*Instituto de Geología, UNAM*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
isaacballesteros03@gmail.com

Los acuíferos en lavas basálticas jóvenes de tipo pahoehoe, emplazadas mediante tubos de lava, suelen ser fracturados, discontinuos y heterogéneos, no están confinados y tienen una transmisibilidad alta. Usualmente los tubos de lava no juegan un papel importante en el funcionamiento del acuífero, ya que el agua de lluvia se infiltra por fracturas y atraviesa el espesor del derrame de lava, para circular a lo largo del contacto con las rocas infrayacentes. El agua que llega a entrar a un tubo de lava se infiltra rápidamente por las grietas en el piso del tubo. La cuenca alta del Río Actopan consiste en barrancas excavadas en brechas volcánicas terciarias, que han sido ocupadas por derrames basálticos holocénicos generados por volcanes monogenéticos del Campo Volcánico Xalapa, en ambos márgenes y en el fondo del graben de Actopan. El más reciente y extenso se origina en el Volcancillo. Sus lavas ocupan casi todo el fondo del graben de Actopan, y fueron emplazadas mediante un gran tubo de lava maestro, cuyos restos forman varias extensas cuevas. Otro derrame de lava emplazado mediante tubos de lava se inicia en el volcán El Puente, identificado por primera vez en este trabajo, cuyo derrame se extiende por 7 kilómetros hasta que es cubierto por el derrame del Volcancillo. El río Huichila es capturado por el tubo de lava del Puente, y puede seguirse por varios tramos subterráneos de hasta 1.5 km de longitud. En temporada de secas, el agua desaparece en estos tubos, pero durante lluvias muy intensas el arroyo

desborda del tubo de lava y fluye en superficie hasta encontrar el colapso de entrada de una de las cuevas del tubo maestro del derrame del Volcancillo, la cual recorre por cerca de 3.5 km. La parte final de esta cueva muestra abundantes sedimentos finos que evidencian que se inunda totalmente. Luego de un recorrido de 30 km, el agua resurge en el Descabezadero, en el frente del derrame del Volcancillo, dando nacimiento al Río Actopan. En las cercanías de las poblaciones, las entradas a los tubos lávicos son usadas como tiraderos de basura, que es movilizada durante lluvias intensas. Esta basura incluye restos plásticos, botellas de PET, fertilizantes químicos y hasta implementos médicos. Este es un fenómeno reciente, resultado del crecimiento de la población. En este trabajo se presentará por primera vez un esquema de este complejo sistema geohidrológico, así como los resultados de análisis de química total y calidad del agua realizados en el río Huichila en diversas estaciones de muestreo antes y después de su tránsito subterráneo, así como de sus afluentes. Los estudios demuestran la capacidad hidráulica de este sistema, así como el flujo de contaminantes presentes en la zona de estudio.

VUL-10 CARTEL

## RELACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL SISTEMA HIDROTERMAL ACTUAL CON LA ESTRUCTURA INTERNA DEL VOLCÁN MAZATEPEC, JALISCO

De León España José
*Universidad de Guadalajara*
jose.deleon8191@alumnos.udg.mx

El Volcán Mazatepec se localiza al Suroeste de la ZMG y al Oeste del Graben de Chapala. Esta zona del Bloque Jalisco está influenciada por los pulsos magmáticos de la Faja Volcánica Transmexicana y de la Sierra Madre Occidental, siendo actualmente una zona de inestabilidad tectónica, producto de la formación de una junta triple tectónica originada por la subducción de la Placa de Rivera por debajo de la Placa de Norteamérica. Se propone que el volcán Mazatepec se emplaza debido al ascenso de un tipo de magma intraplaca emplazado en esta zona del Bloque Jalisco, por lo cual al reconocer los procesos físicos y geológicos que le dieron origen nos permitirá identificar el tipo de magmatismo y reconstruir el ambiente tectónico en que se desarrolló. La temporalidad de los eventos acaecidos en esta zona del Bloque Jalisco prevén una fase volcánica importante la cual pudo haber sido modelada por el tipo de magmatismo observado; dichos eventos pueden ser observados mediante diferentes técnicas geofísicas a escala regional. A partir de la caracterización de las estructuras geológicas del área de estudio, mediante métodos fotogeológicos, se establecen las zonas de debilidad estructural preferenciales durante del ascenso del material magmático. A partir de la interpretación de los datos aeromagnéticos y contrastarlos con datos gravimétricos a escala regional se puede determinar las características de la estructura interna actual del volcán de Mazatepec. La adquisición de datos geofísicos en campo mediante métodos eléctricos y magnéticos, así como su posterior procesamiento e interpretación, nos permite caracterizar al sistema hidrotermal. Con el análisis de estos datos se contará con una visión regional de la estructura interna del área en que se levanta el volcán de Mazatepec.

VUL-11 CARTEL

## CERRO GRANDE (LA GAVIA) NE DEL CAMPO VOLCÁNICO MICHOACÁN-GUANAJUATO: GEOQUÍMICA Y PETROGRAFÍA

Ibarra Mendoza Jessica[1], Kshirsagar Pooja Vinod[1],
Puy-Alquiza María Jesús[1] y Ayaz Alam Mohammad[2]
[1]*Universidad de Guanajuato*
[2]*Universidad de Atacama*
jessicaib226@gmail.com

El Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) es la provincia con mayor actividad volcánica en el territorio mexicano desde el Mioceno medio, su estudio ha sido abordado por diferentes disciplinas con el objetivo de comprender su comportamiento y evolución a través de los años. El Campo Volcánico Michoacán-Guanajuato (CVMG) es uno de los campos volcánicos monogenéticos latentemente activos que se encuentran dentro del CVTM abarcando un área de aproximadamente 40,000 km2; la última erupción reportada dentro del campo volcánico corresponde al volcán Paricutín en 1943 con una duración de 9 años. Cerro Grande (La Gavia) se localiza en el sector NE del CVMG en el estado de Guanajuato, su estructura está compuesta por flujos de lava (pahoehoe y aa), depósitos piroclásticos en la cumbre y conos de escoria profundos distales. Cerro Grande ha sido estudiado con anterioridad de acuerdo a su morfología por otros autores, sin embargo, carece de un estudio geoquímico y petrográfico. En este trabajo se propone la existencia de diferentes composiciones minerales debido a un cambio químico en la cámara magmática por la actividad volcánica que existe en el CVTM. Se recolectaron 28 muestras a las cuales se les realizaron estudios de geoquímica de elementos mayores y elementos trazas por medio de fluorescencia de rayos X, y un estudio petrográfico a 26 de las muestras obtenidas. Los resultados incluyen los estudios de petrografía y geoquímica, además de una interpretación de la evolución de Cerro Grande, los fluidos hidrotermales que afectan el área de estudio y su relación con el vulcanismo monogenético del CVMG.

VUL-12 CARTEL

## ESTUDIO DEL TREMOR DEL VOLCÁN DE COLIMA DURANTE EL PERIODO DICIEMBRE 2014 A JULIO 2015

Quiroz Rodríguez J. Jesús[1], Martínez Álvarez Rebeca[1],
Vargas Bracamontes Dulce M.[2] y Arámbula Mendoza Raúl[3]
[1]*Centro Universitario del Sur, Universidad de Guadalajara*
[2]*CONACYT-Universidad de Colima*
[3]*Universidad de Colima*
jjesus.quiroz@alumnos.udg.mx

Durante el 10 y 11 de julio del 2015, el Volcán de Colima experimentó la fase eruptiva más intensa después de la explosión Sub-Pliniana ocurrida en 1913. En esta fase se generaron corrientes de densidad piroclástica que llegaron hasta los 10.3 km al sur del volcán. A partir de enero del 2015, se registró un aumento significativo en la ocurrencia de señales de tremor del Volcán de Colima, entre los que se distinguieron: armónicos, de LP, monocromáticos, espasmódicos, de amplio espectro, por explosión y bandeados. En este trabajo realizamos una cuantificación de los diferentes tipos de tremor para conocer su ocurrencia a través de las diferentes fases eruptivas dentro del periodo diciembre del 2014 a julio del 2015. A su vez, caracterizamos espectralmente la evolución de dichos tremores, determinando sus frecuencias fundamentales, sobretonos, rango espectral, amplitudes y deslizamientos (gliding). Esto, nos permite un mayor entendimiento de los cambios presentados en la sismicidad precursora y su relación con los procesos volcánicos involucrados. Finalmente, realizamos una evaluación de los posibles modelos que podrían explicar la generación de las señales de tremor registradas en el periodo de estudio.

VUL-13 CARTEL

## SISTEMA DE PRONÓSTICO DE DISPERSIÓN Y TRANSPORTE DE PRODUCTOS DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL HACIA LA CIUDAD DE MÉXICO

Delgado Granados Hugo[1], Téllez Ugalde Eric[1], García Reynoso José Agustín[2],
Magaldi Hermosillo Adolfo V.[2], Galguera Rosas Gerardo[1] y Zavala-Hidalgo Jorge[2]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
hugo@geofisica.unam.mx

El volcán Popocatépetl es uno de los mayores emisores de gases en el mundo y durante los eventos explosivos, también emite partículas sólidas. Ambas emisiones constituyen una fuente natural de contaminación para la CDMX que afecta a la salud de los seres vivos, a la infraestructura y aeronavegación. Por ello, se requiere un sistema integral de detección que permita pronosticar y monitorear la dispersión y transporte de los productos para prevenir riesgos. No existe un estudio que indique qué tan importante es la contaminación proveniente del volcán Popocatépetl hacia la CDMX, aunque se ha detectado la presencia de emisiones del volcán en la CDMX (a 36-70 km de distancia del cráter del volcán). Las cenizas del volcán han alcanzado a la ciudad en varias ocasiones y en algunas de ellas, provocado la suspensión de operaciones aeronáuticas en tierra y aire, con las consecuencias económicas y sociales que esto implica. El mayor problema para el sector de protección civil de la CDMX, es conocer hacia donde se propaga la nube volcánica, cuando ocurre un evento explosivo, ya que los vientos predominantes que transportan las cenizas soplan en dirección a la ciudad durante la época de lluvias y la situación es aún peor durante la noche, porque en estas situaciones no hay visibilidad. Aquí reportamos la descripción del sistema de medición de concentración de partículas por medio de un radar de banda X instalado a 11 km al norte del cráter y a ~4,000 msnm, que permitiría, en condiciones nocturnas y posiblemente nubladas, la identificación de cenizas en el ambiente durante los eventos explosivos del volcán. Esto, acompañado de un sistema de pronóstico de dispersión y transporte de los productos del volcán Popocatépetl. La instalación del radar se terminó en mayo del 2020 y comenzó a operar de manera regular en julio de 2020, en este momento se tiene una base de datos desde julio hasta diciembre de 2020. El 31 de diciembre de 2020 ocurrió un incendio en el sitio de observación y las operaciones se suspendieron hasta realizar un diagnóstico y las reparaciones necesarias. En mayo de 2021 se hicieron las reparaciones y desde entonces el radar opera nuevamente a un 90% pues se siguen presentando fallas derivadas del incendio. El sistema de pronóstico sin embargo, se encuentra implementado y operativo al 100%.

VUL-14 CARTEL

## ESTUDIOS GEOQUÍMICOS DE MUESTRAS DE NÚCLEOS DE POZOS EN CAMPO GEOTÉRMICO LAS TRES VÍRGENES, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Jaramillo Durazo Ivy Miranda[1], Kshirsagar Pooja V.[1], Gómez Arias Efraín[2] y Alam M. Ayaz[3]
[1]*Universidad de Guanajuato*
[2]*CICESE*
[3]*Universidad de Atacama*
ivy-miranda@hotmail.com

El campo geotérmico Las Tres Vírgenes se encuentra en el Complejo Volcánico de Tres Vírgenes (CVTV) ubicado en la porción norte del estado de Baja California

Sur, al suroeste de la caldera El Aguajito y al oeste de la caldera La Reforma. Este complejo volcánico se encuentra conformado por 3 estructuras volcánicas tipo estratovolcán del pleistoceno tardío; El Viejo (245 ± 39 ka), El Azufre (153.93 ± 32.5 ka) y La Virgen (22 ±2.5 ka) compuestas de derrames dacíticos-andesíticos, conos de ceniza y domos los cuales han sido alimentados por fisuras provenientes de la falla lateral izquierda Cimarrón. Este complejo se ha construido sobre el basamento peninsular del cretácico (~99 Ma), la formación Santa Lucía - San Francisco (21.6 Ma), Basalto Esperanza (7.6 Ma) y la Ignimbrita Riolítica Aguajito (1.17 Ma) (Avellán et al., 2019). Debido al potencial geotérmico actual de esta zona y la actividad del Campo Geotérmico Las Tres Vírgenes (CFE), se realizaron 5 perforaciones de pozos de profundidad aproximada a 55m con barrena tricónica para su exploración y sondeo con apoyo de CeMIEGeo en noviembre del 2018. En este estudio se analiza la composición geoquímica y petrográfica de las muestras recolectadas de estas perforaciones, de las cuales podemos encontrar basalto porfídico vesicular, 3 tobas de cenizas de diferentes densidades y 2 muestras distintas de andesitas afaníticas con alteración termal y olivinos oxidados. Los estudios de estas muestras se realizaron por medio de Fluorescencia de Rayos X (FRX) y láminas vistas bajo microscopio petrográfico con el fin de identificar con mayor precisión mediante óxidos mayores la litología que se perforó en estos pozos, correlacionar los resultados a investigaciones anteriores y ser de apoyo en el desarrollo del Campo Geotérmico Las Tres Vírgenes (CGLTV) el cual actualmente tiene una capacidad de generar 10 MW de electricidad, no obstante, exploraciones futuras podrían incrementar dicha capacidad.

VUL-15 CARTEL

## ASIGNACIÓN DE GRADO DE SOLDAMIENTO DE LA IGNIMBRITA DE ATÉCUARO CON BASE EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES

Correa Gómez José Guadalupe[1], Gómez Vasconcelos Martha Gabriela[1], Pola Antonio[2], Avellan Denis Ramón[3] y Cisneros Máximo Guillermo[3]
[1]*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
[2]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, UNAM*
[3]*Instituto de Geofísica, UNAM*
nickjgcg@gmail.com

De los fenómenos volcánicos existentes, los flujos piroclásticos se consideran como uno de los más destructivos, debido a que se emplazan a una alta velocidad y temperatura. Se sabe que la temperatura (600 – 750 °C), el volumen emitido y el contenido de vidrio está estrechamente relacionada con el grado de soldamiento, y se puede determinar cualitativamente con base en la caracterización de algunas propiedades como la densidad, la porosidad, la resistencia y propiedades geométricas de algunos elementos como los fragmentos de pómez. La zona de estudio forma parte de lo que se ha denominado como Caldera de Atécuaro, una de las estructuras volcánicas más grandes de la Sierra de Mil Cumbres, localizada hacia el sur de la Ciudad de Morelia. Consta de un colapso circular con fallas anulares de 6 km de diámetro y paredes de 150 a 300 m de alto. El depósito principal es la ignimbrita de Atécuaro, emplazada al momento del colapso hace 16.3 Ma, con un volumen aproximado de ~18 km3. En términos generales, la ignimbrita de Atécuaro es de textura piroclástica, con pómez de textura vítrea y consta de al menos cuatro facies y diferentes grados de soldamiento, debido a cambios impulsados por las propiedades reológicas del vidrio y por procesos laterales y verticales al momento de su emplazamiento. La dinámica eruptiva y distribución preliminar de los depósitos se ha realizado con base en la correlación espacio temporal de las litofacies, mientras que el grado de soldamiento se ha asignado con base en la implementación de una serie de pruebas de laboratorio. Como se pudiera esperar, la resistencia y la densidad de cada litofacie aumenta con el grado de soldamiento, mientras que la porosidad (e.g. conectada, abierta, total) disminuye. Por su parte, los estudios texturales indican que el aplastamiento de los fragmentos de pómez (fiammes), en particular la relación de los ejes (e.g. grado I = <0.59) aumenta con el grado de soldamiento.

VUL-16 CARTEL

## ESTRATIGRAFÍA, LITOFACIES Y EVOLUCIÓN HIDROVOLCÁNICA DEL MAAR JOYA DE LOS CONTRERAS (GRUPO SANTO DOMINGO, SAN LUIS POTOSÍ)

Venegas Rodríguez Gastón, Dávila Harris Pablo y Yutsis Vsevolod
*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
gaston_venegas@hotmail.com

Los cráteres freatomagmáticos, conocidos como maares o anillos de tobas, son de las geoformas volcánicas más comunes. Estudiar su génesis, dinámica y evolución eruptiva aporta un mejor conocimiento del proceso hidrovolcánico. Se originan de interacción del magma en ascenso (regularmente de baja viscosidad) con agua subsuperficial como acuíferos o alguna otra fuente externa, resultando en freatomagmátismo produciendo poderosas explosiones termohidráulicas. En México existen gran cantidad de maares (más de 30), en regiones del NW (Chihuahua, Durango, Baja California), región centro y sur (Valle de Santiago, Guanajuato), Cuenca de Serdán-Oriental (Puebla), Los Tuxtlas (Veracruz), entre otros. Los de San Luis Potosí, se agrupan en dos Campos Volcánicos asociados a magmatismo intraplaca (Plio-Pleistoceno); Ventura-Espíritu Santo y Santo Domingo, que contienen xenolitos del manto y base cortical, específicamente en Santo Domingo existe presencia de megacristales de Kaersutita, xenolitos de hornblendita y piroxenitas con hornblenda (Aranda-Gómez et al., 1993; 2005). El Campo Volcánico Santo Domingo incluye cuatro estructuras de origen freatomagmático: Santo Domingo, El Banco, Joya Los Contreras y Joya Prieta. Estudios previos han centrado su interés en análisis petrológicos de xenolitos y rocas máficas (Luhr et al., 1989; Dávalos et al., 2016), pero poco se ha estudiado la estratigrafía volcánica a detalle para hacer la interpretación precisa de los depósitos piroclásticos que conforman el cráter, y con ello establecer la evolución eruptiva. El cráter Joya Los Contreras tiene 1,420 m diámetro (eje mayor) y es semi-elipsoidal, con una altura máxima de la base a la cima de 130 m. La base del cráter esta 20 m por debajo del nivel más bajo del área circundante y en algunas secciones internas, expone calizas (Formación El Abra; Mesozoico) conformando el basamento local, extendiéndose como un anticlinal de orientación NNE/SSW. La edad reportada del volcanismo en Los Contreras es 0.45 Ma (K-Ar en matriz, Aranda-Gómez & Luhr, 1996), llevándose a cabo hoy en día un fechamiento Ar40-Ar39 en matriz para establecer una edad más precisa. Con objeto de definir su estratigrafía, se han levantado catorce secciones, acompañadas de muestreo sistemático (99 muestras) y mapeo de litofacies en el anillo de tobas, identificando tres grupos: 1) Unidades pre-maar, conformadas por una lava basáltica alcalina, depósitos aglomeráticos palagonitizados y frescos; 2) Unidad formadora del maar, correspondiente a depósitos piroclásticos con alternancia de facies masivas y estratificadas características del freatomagmatismo, e incluye dos paquetes que en conjunto suman más de 100 metros de tobas masivas con clastos juveniles (basalto alcalino, pómez y escoria), líticos (caliza) y xenolitos de olivino, granulitas feldespáticas y esporádicos megacristales de kaersutita. La granulometría incluye lapilli y bloques, soportados en matriz de ceniza y hacia la parte superior aparente soporte clasto a clasto. La parte superior de la secuencia corresponde a facies estratificadas (paralela, cruzada y difusa); 3) Unidad post-maar: Conformada por lava basáltica, seguida de aglomerados con gran porcentaje de bloques basálticos y peridotitas. Este estudio busca explorar la historia eruptiva y condiciones que llevaron a la evolución del magmatismo al freatomagmatismo.

Sesión especial

# LIMNOLOGÍA FÍSICA

Organizadores:
Tzitlali Gasca
Diego Pantoja
Jorge Montes

SE01-1

## ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE DIFUSIÓN EN EL LAGO DE ZIRAHUÉN, MÉXICO

Gasca Tzitlali[1], Domínguez-Mota Francisco[1] y Pantoja Diego[2]
[1]*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
[2]*Universidad de Guadalajara*
tzitlali.gasca@umich.mx

El Lago de Zirahuén es uno de los cuerpos de agua mejor preservados en México, es un lago de alta montaña de tipo monomíctico y oligo-mesotrófico. Desafortunadamente el lago al igual que otros cuerpos de agua alrededor del mundo se ha visto afectado por la explotación irracional de recursos, además de las fuentes de contaminación de los asentamientos locales, el pastoreo de animales y el cambio de uso de suelo, entre otros. En este trabajo se presentan resultados de la estimación de los coeficientes de difusión horizontal al resolver el problema inverso de la ecuación de transporte bajo ciertas condiciones de forzamiento. La estimación de la concentración y el campo de velocidad se basa en imágenes obtenidas de un experimento de trazador, donde se aplican técnicas de procesamiento de imágenes y se resuelve un problema inverso mediante mínimos cuadrados no lineales para la estimación de parámetros.

SE01-2

## MODELACIÓN NUMÉRICA DEL LAGO DE ZIRAHUÉN, MÉXICO

Pantoja Diego Armando[1], Gasca Tzitlali[2] y Filonov Anatoliy[1]
[1]*Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, UdeG*
[2]*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
diego.pantoja@academicos.udg.mx

El Lago de Zirahuén es un lago de alta montaña del tipo monomíctico, oligotrófico y endorreico. Se presentan las primeras simulaciones numéricas de los procesos físicos que tienen lugar en el lago. Se validan a partir de observaciones tomadas de febrero 2018 a Agosto 2018, a través de una cadena de termistores localizada en la parte más profunda del lago (~ 40 m), además de un ADCP anclado cerca de la misma cadena y transectos de un CTD ondulante. Las observaciones y la visualización mediante la modelación numérica muestran que el lago Zirahuén está sujeto a un viento diurno constante debido a la presencia de una brisa valle-montaña que desencadena oscilaciones de variabilidad semidiurnas y de 3 a 8 h, siendo la última entre las frecuencias naturales del lago, mientras que la primera y principal forzamiento está en resonancia cercana con el segundo modo vertical. La variabilidad termodinámica fue mayor en el metalimnion donde el análisis de las funciones propias muestra que los modos más altos (> 2) son importantes a profundidades por debajo de la termoclina.

SE01-3

## OBSERVACIONES Y MODELACIÓN DE SEICHES EN EL LAGO DE CHAPALA

Avalos Cueva David, Monzón César Octavio, Filonov Anatoliy y Tereshchenko Iryna
*Universidad de Guadalajara*
david_avalos_cueva@hotmail.com

Se presentan los resultados de las frecuencias y modos de vibración de la estructura de los seiches superficiales del lago de Chapala. Se analizaron los registros de dos campañas realizadas en al año 2003. Además, se realizaron simulaciones numéricas con el modelo HAMSOM, el modelo se ejecutó utilizando el campo de viento obtenido de la red de estaciones meteorológicas que cubren el lago. El Lago de Chapala presenta marcadas variaciones en su nivel de almacenamiento a lo largo del año, estas pueden alcanzar hasta 1 metro en época de secas, derivado de esto es que las simulaciones se llevaron a cabo para diferentes niveles de almacenamiento. Los resultados muestran cinco modos seiche, caracterizados por períodos de 5.9, 3, 2, 1.5 y 1.2 h. Las elevaciones de agua a nivel del lago generadas por el modelo mostraron dos líneas nodales transversales para el primer modo, con alturas máximas a lo largo de las costas este y oeste que alcanzan 17 y 14 mm, respectivamente. El segundo modo correspondiente al período de 2.7 h mostró dos líneas nodales en la parte central del lago (transversal y longitudinal). El primero cruza completamente el lago de norte a sur, mientras que el segundo se encuentra en un área más pequeña del centro sur del lago. Finalmente, podemos concluir que el modelo HAMSOM es una aproximación útil para estudiar seiches en el lago Chapala.

SE01-4

## METODOLOGÍA PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO NUMÉRICO DELFT3D UTILIZADO PARA LA SIMULACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL LAGO EL SOL, EN EL NEVADO DE TOLUCA, MÉXICO

Barba López María del Refugio[1], Filonov Anatoliy[2], Pantoja González Diego Armando[2], Tereshchenko Iryna[2], Alcocer Durand Javier[1] y Monzón César Octavio[2]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Universidad de Guadalajara*
marybarba90312@gmail.com

Los sistemas acuáticos epicontinentales juegan un papel muy importante en el desarrollo económico y el bienestar de nuestras sociedades. Asegurar el uso responsable y sostenible de los recursos que nos ofrecen estos sistemas naturales se ha convertido en una necesidad de primer orden, por lo que es preciso planear programas bien estructurados para su monitoreo. Tradicionalmente el monitoreo de los lagos se ha llevado a cabo mediante campañas para la obtención de observaciones in situ, lo que por su naturaleza suele ser costoso desde la perspectiva económica, de recursos humanos y uso de tiempo. Este tipo de mediciones son indispensables para el crecimiento del conocimiento limnológico y no pueden ser sustituidas por ningún otro tipo de datos. Sin embargo, existen otros métodos para la obtención de información que va de la mano y es un complemento invaluable para los registros tomados in situ. Uno de estos métodos es el uso de los modelos numéricos, herramienta que permite evaluar adecuadamente variaciones espaciotemporales de pequeña escala en los procesos que rigen el funcionamiento de los cuerpos lacustres. Un modelo matemático del cual ha sido que ha sido documentada su eficacia en trabajos donde el dominio es un lago es modelo numérico Delft3D. En este trabajo se presenta una metodología inicial para calibrar el modelo utilizando como datos de entrada y de validación registros tomados en campo. Dichos datos corresponden a mediciones de temperatura en el lago El Sol para las profundidades de 0m, 3m, 6m, 9m y 12m; además de algunos parámetros meteorológicos (temperatura ambiental, dirección y velocidad de viento, humedad relativa, y radiación solar) registrados en el cráter del volcán Nevado de Toluca. Se realizaron 8 experimentos numéricos para evaluar la respuesta del modelo principalmente al diseño de la malla, cambios en el esquema de flujo de calor, valores iniciales del viento, variaciones en las condiciones iniciales de temperatura de la columna de agua y ajustes en los coeficientes de viscosidad/ difusión turbulenta horizontal, así como de los coeficientes de viscosidad/difusión turbulenta vertical. Para esta metodología se utiliza como parámetro de regulación la temperatura del lago en diferentes profundidades. Las pruebas iniciales de calibración indican que: La resolución espacial horizontal juega un papel importante en el ajuste de la batimetría para el modelo; utilizar los valores promedio del viento limita la reproducción de resultados adecuados en las capas superficiales cuando los valores de temperatura en el lago descienden o aumentan bruscamente; en ciertas configuraciones resulta más eficiente el esquema de flujo de calor absoluto; las condiciones iniciales promedio dan mejores resultados en las capas superficiales y además reproducen cambios de temperatura abruptos cuando la configuración es acompañada por los datos de velocidad y dirección de viento reales. Además, se encontró que realizar variaciones a los coeficientes de viscosidad/ difusión turbulenta horizontal, y del coeficiente de viscosidad de difusión vertical, acerca los resultados de las simulaciones a los valores observados cuando se trata de las capas más profundas.

SE01-5

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESPUESTA REFLECTIVA DE DOS CUERPOS DE AGUA REMANENTES EN LA CUENCA DE MÉXICO UTILIZANDO DATOS IN SITU E HIPERESPECTRALES

Aguirre Gómez Raúl
*Universidad Nacional Autónoma de México*
raguirre@igg.unam.mx

Los cuerpos de agua de Tecocomulco y Xochimilco son relictos de los antiguos lagos que ocupaban la cuenca de México y están ubicados diametralmente opuestos en ella. En este trabajo se presenta un análisis hiperespectral comparativo de ambos embalses utilizando un espectroradiometro (GER-1500) datos colectados in situ en febrero y septiembre de 2017. Las curvas espectrales muestran el efecto combinado de fitoplancton, vegetación acuática sumergida y sedimento en suspensión, variable en cada embalse. Los picos espectrales derivados están relacionados con la presencia de clorofila_a y el sedimento en suspensión. Las curvas espectrales integradas presentaron una buena correlación con la concentración de clorofila a medida in situ. Los índices de estado trófico indican condiciones eutróficas e hipertróficas en ambos lagos. La coloración del agua y la profundidad influyen en la integral de las curvas espectrales. Esto es evidente en las aguas de Xochimilco, donde diferentes ambientes dan lugar a diferentes tonalidades: verdosos (eutrofización) y negros (efectos antropogénicos) en diferentes sitios de los canales. El uso de sensores remotos hiperespectrales ofrece la posibilidad de un análisis detallado del comportamiento espectral de estos cuerpos de agua. La información complementaria permitiría inferir los aspectos antropogénicos y naturales de estos cuerpos de agua.

SE01-6

## ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AGUA EN EL LAGO DE CHAPALA MÉXICO MEDIANTE EL MODELO AIR2WATER

Montes Aréchiga Jorge Manuel, Filonov Anatoliy y Pantoja González Diego Armando
*Universidad de Guadalajara*
jorge.montes@academicos.udg.mx

Se presentan los resultados de la modelación de la temperatura del agua en el Lago de Chapala con el modelo air2water, un modelo híbrido físico-estadístico que puede proporcionar una comprensión sólida y predictiva de la dinámica de la temperatura de la superficie del lago conociendo solo la temperatura del aire. El modelo se calibró con datos de temperatura superficial diarios de la base de datos ARC-Lake correspondientes al periodo 1994-2004 y datos de temperatura del aire del mismo periodo obtenidos de la estación climatológica de la base de datos del sistema CLICOM localizada en Chapala. Una vez calibrado el modelo, se realizó una simulación utilizando datos de temperatura de GLOBO-Lake y datos de temperatura de la misma estación climatológica para el periodo 2004-2014. El modelo reproduce adecuadamente la variación anual e interanual con un error absoluto medio de ~1°C con respecto a los datos utilizados para la validación.

SE01-7 PLÁTICA INVITADA

## LIMNOLOGÍA FÍSICA DE EMBALSES TROPICALES ANDINOS

Gómez-Giraldo Andres, Román-Botero Ricardo y Posada-Bedoya Andrés
*Universidad Nacional de Colombia, UN*
eagomezgi@unal.edu.co

Debido a las diferencias en los forzantes hidro-meterorológicos, los patrones de la estructura térmica y de los procesos de transporte en embalses tropicales andinos presentan diferencias significativas con respecto a lo que se conoce en la literatura clásica basada en estudios en lagos de zonas templadas. La radiación de onda corta tiene muy poca variabilidad a lo largo del año, así que no influye significativamente en el ciclo anual de la estructura térmica, el cual tiene su principal forzante en los aportes de los tributarios, que aportan calor y energía mecánica que soporta los procesos advectivos y alimenta los procesos de mezcla. Como consecuencia, la diferencia de temperatura entre el fondo y la superficie es de unos pocos grados y se mantiene a lo largo del año, se presenta una termoclina somera con una diferencia de temperatura pequeña pero persistente y una estratificación en la que se dificulta hacer la distinción de una estructura clásica de tres capas. La calidad del agua también es directamente influenciada por el transporte de oxígeno disuelto y otras sustancias que realizan las plumas de los afluentes. Las ondas internas también son influenciadas por las plumas, debido a que influencian la estratificación y, con ello, el periodo de oscilación, y a que las plumas generadas por grandes crecientes inhiben los movimientos coherentes.

SE01-8

## NEW RESULTS OF THE STUDY OF THE THERMAL REGIME AND WATER BALANCE OF THE HIGH-MOUNTAIN LAKES IN THE CRATER OF THE NEVADO DE TOLUCA VOLCANO, MEXICO

Filonov Anatoliy[1], Barba López María del Refugio[2], Ladah Lydia Betty[3], Pantoja González Diego Armando[1], Villarreal Olavarrieta Carlos[1], Alcocer Durand Javier[2], Mireles Loera Omar[1], Orozco Estrada Arturo[1], Manrique Cantillo Andrea[1], Escalera Hernández Yannick[1], Solano Farias Feliciano[1] y Toral Salinas Eliseo[1]
[1]*Universidad de Guadalajara*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[3]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
fian1942@gmail.com

We herein present an analysis of a complex hydrometeorological data set covering more two years (2017-2019) recorded in two high-mountain lakes, El Sol and La Luna, inside the crater of the Nevado de Toluca volcano, Mexico. These lakes at 4207 m above sea level are separated 600 m from each other by a central lava dome. The aim of this study was to explore how the present day climate variability of air currents affects temporal changes in water temperature, lake levels, and fluctuations in lake water balance. The results obtained significantly supplement the recently published (Barba-Lopez, et al., 2021) data on the study of the hydroclimate of these lakes. Buoys with chains of thermographs from surface to bottom were placed in each lake. In the center of Lake El Sol, a floating weather station was installed to accurately record the speed and direction of the wind, and temperature fluctuations near the water surface and at the height of 2 m. The data obtained allowed for the analysis of the variability of meteorological parameters in the near-surface layer of the atmosphere above the lake, avoiding any effects of the lava dome, which has significantly hinder previous measurements taken on the volcano slope. Also, annual measurements of the level and water temperature at the bottom of the lake inside the sediment were made. The high-precision instrument TDR-2050 RBR (the temperature channel of the TDR-2050 was calibrated to an accuracy of ± 0.002 °C, the depth channel is calibrated to an accuracy of measurements of 2.5 mm) was buried to a depth of 15 cm in the sediment in Lake El Sol and allowed for the measurements of the thermal interaction of bottom sediments with the bottom layers of water and helped further the understanding of the unexpected increase in temperature at the bottom in the cold season. Finally, calculations of the annual variability of the water balance of lakes were performed for the first time. Since there are practically no publications related to the variability of the hydrometeorological regime of high-mountain lakes, our results significantly improve the knowledge about these unique lakes and will be useful for limnologists.

SE01-9

## CLIMA LOCAL Y RÉGIMEN METEOROLÓGICO EN LA ZONA DEL LAGO ALCHICICA, PUEBLA

Tereshchenko Iryna[1], Filonov Anatoliy[1], Barba López María del Refugio[2], Alcocer Durand Javier[2] y Avalos Cueva David[1]
[1]*Universidad de Guadalajara, CUCEI*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
itereshc@cucei.udg.mx

Se presentan los resultados de la variabilidad de los parámetros meteorológicos en el Lago Alchichica, un lago cráter salino tipo maar de aproximadamente 60 metros de profundidad. Este cuerpo de agua se localiza en se encuentra en la porción centro-septentrional de la Cuenca Serdán-Oriental, en el estado de Puebla. Se analizaron registros de la estación meteorológica 21052-ALCHICHICA-PUE (97.4W, 19.4 N, Elev: 2343.0m) obtenidos a través de la base de datos CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) a través de su plataforma web por parte del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) (http://clicom-mex.cicese.mx). El periodo de análisis corresponde a los años 1965-2015, en donde se observa que las menores temperaturas se presentan de noviembre a enero, mientras que las máximas ocurren en los meses de abril a junio. La temperatura promedio en el área de estudio es de 13.52°C, con una temperatura mínima promedio de 5.37°C y temperatura máxima promedio de 21.67°C. La precipitación media anual es de 398.3 mm/año con una tasa de evaporación promedio anual de 1650 mm/año. Se observó que, durante el periodo de análisis, el promedio diario en la región oscila entre 1°C y 21.75°C, con temperaturas máximas entre 4°C y 38°C y mínimas de -15°C a 14°C. La precipitación máxima diaria registrada corresponde a 130 mm, mientras que la evaporación máxima diaria es de 13.89 mm. A menor escala temporal, la variabilidad de las características hidrometeorológicas en la zona del lago puede incluir fluctuaciones con periodos de diez minutos a un día. La fuente de energía primaria que impulsa estos cambios es la variación diaria de las temperaturas causada por un cambio en el flujo de calor a la superficie y la atmósfera de la tierra durante el día. La interacción energética del sistema suelo-lago-atmósfera es compleja. El área alrededor del lago es montañosa, con valles de diferentes orientaciones espaciales. Los patrones de energía térmica son complejos y parecen redistribuirse a través de oscilaciones en un amplio rango de frecuencias.

SE01-10 PLÁTICA INVITADA

## MIXING DYNAMICS: FROM HUTCHINSON TO THE 21ST CENTURY

Macintyre Sally
*UCSB Marine Science Institute*
sallymacintyre@ucsb.edu

The advent of high resolution instrumentation combined with theory, experimentation, and modeling allows us to extend former classifications and understanding of mixing dynamics of lakes. These new approaches remain underutilized but inclusion will enable predictions of mixing and consequences for the fluxes of nutrients, dissolved gases, and plankton. Hutchinson's lake classification schemes considered the duration and timing of events that create or erode stratification on annual time scales. Internal waves occur with stratification. New classification schemes for internal waves predict whether they are seiches or non-linear, and break near-shore or mid-lake. By classifying lakes with these schemes, we will develop improved understanding of the dynamics of dimictic, polymictic and monomictic lakes on shorter time scales, whether communities of organisms are layered or dispersed, and whether nutrient supply to the euphotic zone is due to recycling within it or to abiotic processes inducing fluxes from deeper depths. The mixing of incoming plumes of stormwater with their load of nutrients or pollutants depends on the extent of stratification and resultant internal wave dynamics. Convection, that is circulation driven by cooling at the air-water interface, sediments heating overlying water, or horizontal variability in rates of heating or cooling, is a critical driver of circulation in lakes at all latitudes. Inclusion of these processes enables prediction of whether flows from inshore are concentrated or diluted. Using schemes that contrast time scales of mixing and of advection with time scales of reaction rates will allow us to predict the impacts of changes in land use and climate on species composition, ecosystem productivity, greenhouse gas formation and evasion, and the overall quality of our inland waters.

SE01-11 CARTEL

## HYDROGRAPHY OF CRATER LAKE OF ISABEL ISLAND, NAYARIT, MÉXICO

Palacios Emilio[1], Filonov Anatoliy[1], Sánchez Orietta[1] y Barba López María del Refugio[2]
[1]*Universidad de Guadalajara*
[2]*UNAM*
emilio6x111@gmail.com

An observational campaign was carried out in the hypersaline Crater Lake of Isabel Island to explain the main factors of its hydrodynamics. Wind, temperature and relative humidity time series data were obtained from a weather station installed on the island, sea level atmospheric pressure data were obtained from North American Regional Reanalysis data, the seasonal pattern and diurnal breezes can be observed. CTD (Conductivity, Temperature, Depth device) surveys were conducted to analyze the hydrography, and spectral analysis of temperature time series derived from a chain of thermistors anchored inside the volcanic lake was performed. The results show that the maximum temperature is found not in the first layers of water but at a depth of 1.8 m at 37.9°C; while from 4 m of depth to the bottom, the temperature remains constant at 27°C. The lower-density water from rain flows into the lake, covering the surface layer of the lake and maintaining this temperature profile. The thermal changes in the first three meters of depth are due to the atmospheric influence and diurnal solar radiation and some strong wind events. To confirm this information, a calculation of heat fluxes through the lake surface was performed. Changes at greater depths are a consequence of the variations in the seasonal effects on the water column.

SE01-12 CARTEL

## ESTADO TRÓFICO DEL LAGO DE ZIRAHUÉN, MICHOACÁN, A PARTIR DE MEDICIONES DE CLOROFILA-A E IMÁGENES SATELITALES DEL SENTINEL-2

Pantoja Diego Armando[1] y Gasca Tzitlali[2]
[1]*Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, UdeG*
[2]*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
diego.pantoja@academicos.udg.mx

El lago de Zirahuén se sitúa en la parte central de Michoacán, es un lago monomíctico, de tipo endorreico y con una profundidad máxima alrededor de los 40 m. Se encuentra a 2,075 m S.N.M. y posee una superficie de 10.48 km2. El objetivo de este estudio fue realizar mediciones directas de clorofila-a con un sensor integrado a un CTD y complementado con imágenes del satélite Sentinel-2. Se lograron obtener 2 imágenes de satélite correspondientes a dos campañas, con las cuales se pudo obtener un panorama de la distribución espacial de la clorofila-a en todo el lago. Con lo anterior y con base en la clasificación de la OCDE, se puede catalogar al lago de Zirahuén como un lago con buena calidad en su agua actualmente y con una zona suficientemente amplia que alcanza los 16 metros de profundidad, en la que los peces pueden subsistir.

Sesión especial

# AVANCES RECIENTES EN MODELACIÓN NUMÉRICA, EXPERIMENTAL O ESTADÍSTICA PARA ENERGÍA EÓLICA Y ENERGÍAS RENOVABLES MARINAS

Organizadores:

Markus Gross
Vanesa Magar
Osvaldo Rodríguez Hernández
Alfredo Peña

SE02-1

## EXPERIENCIAS Y APRENDIZAJES SOBRE ENERGÍA DEL GRADIENTE SALINO DESPUÉS DE 4 AÑOS DE LA CREACIÓN DEL CEMIE-OCÉANO

Roldan Carvajal Mateo[1], Enríquez Ortíz Cecilia[1 y 2] y Robles Camacho Javier[1]
[1]*Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Yucatán, México*
[2]*ENES - Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Yucatán, México*
mroldanc@unal.edu.co

El mezclado de dos cuerpos de agua de diferentes concentraciones de sales es un proceso espontáneo, es decir, libera energía. Este tipo de procesos ocurren constantemente en la naturaleza en sistemas costeros como lagunas y estuarios, por tanto, representan una fuente renovable de energía. Lo anterior es lo que se conoce como "energía del gradiente salino" y es la fuente oceánica de energía menos estudiada. En 2017 comenzó actividades el Centro Mexicano de Innovación en energía del océano (CEMIE-océano), el cual reúne 52 instituciones de todo el país con el objetivo determinar potenciales energéticos, desarrollar tecnología y sentar las bases para el aprovechamiento energético del océano en México. Una de las líneas pilares del CEMIE-O se concentró específicamente en el estudio de la energía del gradiente salino. Al inició del proyecto, los estudios en el país sobre energía del gradiente salino eran mínimos y se enfocaban, principalmente, en determinar potenciales energéticos con modelos básicos. Es por ello que desde la línea de gradiente salino se refinaron los modelos para cálculos de energía disponible, se construyó tecnología para la transformación a energía eléctrica y se caracterizaron algunos sitios desde sus condiciones oceanográficas, físicas y biológicas. Este trabajo reúne algunas experiencias y aprendizajes de la línea de gradiente salino del CEMIE-O, con un enfoque en la determinación de energía disponible en la desembocadura del río Jamapa en Veracruz y la laguna costera de Río Lagartos en Yucatán, los avances en el desarrollo de la tecnología de energía del gradiente salino en el país y algunas consideraciones ambientales para un aprovechamiento energético que impacte lo menos posible los sistemas naturales. También se presentan las perspectivas de este tipo de tecnologías, las cuales pueden ser usadas en sistemas de desalinización de agua de mar y producción de hidrógeno. En general, el potencial de aprovechamiento de la energía del gradiente salino en México es alto, principalmente en el Golfo de México, ya que las altas tasas de evaporación debidas a la temperatura y el viento generan sistemas con una densidad de energía de ~ 0.5 kWh.m-3 en el río Jamapa, por ejemplo, y entre 0.1 y 1.5 kWh.m-3 en la laguna costera de Río Lagartos; sin embargo, existe una alta variabilidad temporal y espacial de la energía disponible, y que se debe tener en cuenta para un potencial aprovechamiento. Respecto a la tecnología, se desarrollaron los primeros prototipos del país basados en la técnica de electrodiálisis inversa (RED por sus siglas en inglés), cuyo funcionamiento se basa en membranas de intercambio iónico. Se resalta que el diseño de estos equipos se debe realizar en función de la aplicación y las salinidades con las que vaya a operar, por lo que los retos tecnológicos aún son grandes, no sólo en México, sino en el mundo.

SE02-2

## GRADIENTE TÉRMICO EN BAHÍA DE LA PAZ Y LA ZONA OCEÁNICA ADYACENTE. PERSPECTIVA DE UN POTENCIAL ENERGÉTICO

Obeso-Nieblas Maclovio[1], Gaviño-Rodríguez Juan Heberto[2] y Jiménez-Illescas Ángel Rafael[1]
[1]*Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN*
[2]*Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas, Universidad de Colima*
mniebla@ipn.mx

La energía marina podría convertirse en un aspecto esencial para que el mundo pueda garantizar que el 100 % de la generación se realice con recursos renovables en el futuro. El Gradiente térmico, es una tecnología de energía renovable que utiliza la diferencia de temperatura en los océanos para producir electricidad limpia y confiable, día y noche, durante todo el año. El calor de la superficie cálida del océano y el frío del océano profundo impulsan un ciclo de Rankine, que produce electricidad, esto tiene el potencial de convertirse en una de las principales fuentes de energía renovable. Este sistema podría cubrir las necesidades energéticas de todo el mundo y ofrecer otras aplicaciones. El calor oceánico podría, además utilizarse para producir agua desalada, sistemas de aire acondicionado, desarrollar granjas agrícolas y piscifactorías, extraer minerales o luchar contra el cambio climático. La conversión de energía térmica del océano es constante y permanente, a diferencia de otras energías renovables, como la eólica o la fotovoltaica. Estas instalaciones se basan en la diferencia de temperatura, de al menos 20 grados centígrados, entre la superficie y el fondo de los océanos. Las diferencias de temperatura calculados en el muestreo de verano de 2018 (septiembre), nos muestra que es factible localizar al menos una zona dentro de la Bahía de La Paz, donde se obtenga un valor de 20 °C entre la superficie y el fondo. Esta zona se ubica en la estación 14 en la Cuenca Alfonso, la región más profunda de la bahía. En la zona oceánica adyacente muestreada (estación 6) se registró una diferencia de temperatura de 22.45 °C entre la superficie y la profundidad de 537 m, mientras que en la estación 7 a los 511 m de profundidad la diferencia de temperatura con la superficie fue de 22.56 °C.

SE02-3

## ENERGÍA EÓLICA Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA: ESTADO ACTUAL Y RETOS Y OPORTUNIDADES DESDE LA PERSPECTIVA DEL DESARROLLO SOSTENIBLE Y SOSTENIDO

Magar Vanesa[1], Gross Markus[2], Peña Alfredo[3], Hahmann Andrea N.[3] y García-Hernández Luis S.[1]
[1]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
[2]*CICESE*
[3]*DTU*
vanesamagar@gmail.com

El objetivo de desarrollo sostenible siete (SDG7 por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas establece la necesidad de transitar hacía fuentes de energía asequibles y no contaminantes, a través de la implementación de buenas prácticas en ambientes facilitadores, integrados a políticas y a instituciones tanto regionales como nacionales. Es primordial establecer políticas justas y sustentables para el desarrollo de proyectos de energías renovables, y así, que jueguen el papel que les corresponde en la resolución de otros SDGs como la erradicación de la pobreza (SDG1), la equidad social (SDG10) y la igualdad de género (SDG5), por ejemplo. En este trabajo se presentará el estado actual de la energía eólica en México, así como su nivel de desarrollo y los retos y oportunidades que presenta a nivel mundial. Se utilizarán algunos ejemplos de investigación desarrollada por el GEMlab en diversos proyectos, y se concluirá con los potenciales beneficios a largo plazo de la energía eólica desde la perspectiva del desarrollo sostenible y sostenido.

SE02-4

## MACHINE LEARNING FOR WIND SPEED FORECASTING

Gross Markus[1], Magar Vanesa[1] y Peña Alfredo[2]
[1]*CICESE*
[2]*DTU*
mgross@cicese.mx

Wind speed forecasts are important, both for decisions on potential new sites and operations. High-resolution modeling with standard weather models quickly reaches a point where no further improvements can be made by simply increasing the resolution. The models just get more costly, but do not necessarily generate better data. Under these circumstances, it is possible to apply machine learning techniques to correct model outputs to site-specific characteristics. We present such a model and contrast it to pure weather modeling and persistence. Further development needs and direction of study to broaden the applicability of this model will be discussed.

SE02-5

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE DIFERENTES CONFIGURACIONES DEL MODELO WRF AL SIMULAR SIETE REGIONES DE MÉXICO

Lira Ramón, Saldaña Ricardo y Ortiz Regina
*Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, INEEL*
ramon.lira@ineel.mx

Se presentan aquí los resultados de un análisis comparativo entre diferentes configuraciones del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) para simular 7 regiones de México. Se realizaron unas primeras simulaciones y posteriormente se hicieron modificaciones en la configuración para simular en los mismos lugares y el mismo periodo, con el objetivo de analizar los cambios en los resultados. Las simulaciones se hicieron para un periodo de un año, entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2018, con resoluciones de 1 hora y 1 kilómetro. Se interpolaron las salidas de cada simulación a una altura de 80 metros sobre el nivel del suelo, se extrajeron las series de datos y se compararon con datos observados de 7 estaciones ubicadas en el centro de cada área simulada. Los datos observados son valores de velocidad y dirección del viento medidos a 80 y 78 metros sobre el nivel del suelo, respectivamente, y forman parte de la base de datos medida por la red de estaciones anemométricas del proyecto Atlas Eólico Mexicano (AEM). Para el análisis se utilizaron los estadísticos de desviación media absoluta (MAD), error medio absoluto (MAE) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Este trabajo es la segunda parte de las simulaciones realizadas en 7 sitios de la república mexicana del proyecto Multi-scale and model chain Evaluation of Wind Atlases (MEWA), el cual es dirigido por la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU).

SE02-6

## ESTUDIO DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DEL RECURSO EÓLICO EN MÉXICO PARA DETERMINAR LA COMPLEMENTARIEDAD ENTRE REGIONES

Zamora García Lourdes Guadalupe[1], Rodríguez Hernández Osvaldo[1], Martínez-Alvarado Oscar[2] y Bloomfield Hannah[2]
[1]*Instituto de Energías Renovables, UNAM*
[2]*University of Reading*
zagal@ier.unam.mx

La transición hacia un mundo bajo en carbono requiere implementar fuentes de energía alternas a las convencionales. La energía eólica tiene un enorme potencial para su aprovechamiento en México; sin embargo, aún hay asuntos técnicos a resolver para que su porcentaje en la matriz energética aumente. Dada la naturaleza del viento, este no produce una generación de electricidad constante; la idea que persigue este proyecto es expandir el área de generación e interconectar parques eólicos para mitigar los efectos de la variabilidad del viento en la red, aprovechando las diferencias del recurso a lo largo y ancho del país. En este proyecto se describe la generación de energía eólica de treinta sitios en México, y se analiza su complementariedad para satisfacer la demanda eléctrica. Los datos utilizados son series de tiempo de velocidades de viento obtenidas de torres de medición para los años 2005, 2006, 2007, 2018 y 2019, y del reanálisis ERA5 para el periodo 1979-2019. Para este estudio se requiere comparar series de tiempo del mismo año, por lo que se utilizan los datos de reanálisis, como su desempeño no es uniforme a lo largo del país se les aplica una corrección de sesgo utilizando las velocidades observadas. Posteriormente, se estiman los factores de planta empleando la curva de potencia del aerogenerador Vestas V90-2MW. Los sitios se agrupan por región, las cuales se establecen con base en la división del Sistema Eléctrico Nacional. El estudio de la complementariedad se determina a partir de métodos gráficos y estadísticos. Se observan similitudes en la generación de sitios cercanos, obteniendo coeficientes de correlación de Pearson altos, por ejemplo, los sitios ubicados en el occidente reportan valores de 0.73-0.94; así mismo, se descubren diferencias entre sitios lejanos, obteniendo coeficientes de correlación de Pearson negativos, por ejemplo, entre los sitios de Oaxaca y Tamaulipas, se reportan valores de -0.20. El impacto que tiene interconectar parques eólicos se mide a través del número de horas de generación, el cual aumenta para todos los casos con tan solo conectar dos regiones entre sí. Los resultados obtenidos reflejan áreas de oportunidad de interconexión. Aprovechando la diversidad del recurso eólico se pueden mitigar los efectos de la variabilidad del viento y mejorar la fiabilidad de la energía eólica.

SE02-7

## DETERMINACIÓN DE ZONAS POTENCIALES PARA LA ENERGÍA EÓLICA MARINA EN EL GOLFO DE MÉXICO

Canul Reyes Diego Arturo[1], Rodríguez Hernández Osvaldo[1] y Jarquin Laguna Antonio[2]
[1]*Instituto de Energías Renovables, UNAM*
[2]*Delft University of Technology*
dacr@ier.unam.mx

Las velocidades de viento en mar adentro se caracterizan por ser más estables y tener mayores velocidades a menores alturas, debido a esto, se ha incrementado a nivel mundial la instalación de turbinas eólicas en el mar. Sin embargo, a pesar de la localización geográfica de México entre los océanos Pacífico y Atlántico, no existe desarrollo eólico marino en el país. En este trabajo se realiza la determinación de zonas potenciales y el análisis estacional del recurso eólico marino para su aprovechamiento en el Golfo de México. Para analizar las velocidades de viento se utilizaron los datos disponibles del reanálisis ERA5 durante 39 años, de 1980 a 2018 y se calculó el factor de planta usando la turbina de referencia de 10 MW de DTU. Posteriormente, se delimitaron zonas potenciales considerando los requerimientos de la tecnología, mediante el uso de diversos sistemas de información geográfica (GIS), los cuales incluyen las siguientes restricciones: batimetría, zona económica exclusiva (EEZ), distancia a la costa y zonas naturales protegidas. A partir del análisis de los factores de planta, se encontró que en invierno y primavera se obtienen los mayores valores, arriba del 50%, los cuáles se identificaron principalmente en el este de Tamaulipas y en el noroeste de la Península de Yucatán. En verano y otoño estos valores se encuentran arriba del 20%. Considerando las restricciones mencionadas, en estas mismas zonas se lograron identificar cuatro zonas potenciales: una al este de Tamaulipas y tres alrededor de la Península, ubicados una al norte de Yucatán y dos a los largo de la costa de Campeche. El análisis se realizó considerando la producción de energía de una turbina durante todo el año, sin considerar las pérdidas que pudieran ocurrir por temporadas de mantenimiento, transmisión eléctrica y efectos de estela. Este es el primer trabajo en presentar sitios específicos para la instalación de granjas eólicas marinas en el Golfo de México, así como la estimación del factor de planta para la tecnología seleccionada.

SE02-8

## UN ENFOQUE HÍBRIDO PARA LA MEJOR MODELACIÓN DEL RECURSO EÓLICO EN TERRENO COMPLEJO

Quiroga Novoa Pedro Fernando, Probst Oliver y Cuevas Figueroa Gabriel
*Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ITESM*
pedroquiroga7@gmail.com

Los terrenos complejos a menudo representan condiciones ideales para el desarrollo de parques eólicos, ya que los efectos inducidos por las pendientes del terreno se traducen en velocidades de viento de mayor magnitud. Sin embargo, el uso de modelos de flujo para la modelación de recurso eólico en este tipo de terrenos sigue representando una actividad desafiante, por ejemplo por fenómenos como la recirculación, que todavía los modelos de flujo no son capaces de representar adecuadamente. En esta investigación se estudió un modelo híbrido para reducir los errores en la predicción de la velocidad media del viento y la densidad de potencia. El modelo híbrido propuesto resulta de la combinación del modelo linealizado WAsP y un método de aprendizaje automático denominado regresión de k-vecinos más cercanos (k-NN por sus siglas en inglés). Este último usa características asociadas al terreno, al flujo y a parámetros microclimáticos como predictores para determinar los k sitio(s) de mayor similitud a un sitio objetivo arbitrario y por tanto candidatos a representar con cierto grado de certidumbre el viento de dicho sitio arbitrario. Dentro de las características de similitud se destacan: la distancia entre sitios, el índice de complejidad del terreno, el factor de aceleración por orografía, el cizallamiento del viento y los parámetros de Weibull del viento. El método se probó mediante la realización de predicciones cruzadas utilizando un año de información de cinco torres meteorológicas. En todos los casos el método de aprendizaje automático por sí solo y en combinación con el modelo linealizado (modelo híbrido) dieron mejores resultados en la predicción de la velocidad del viento con errores promedio de 1.29% y 1.13% respectivamente, frente al 5.08% del modelo linealizado. La metodología propuesta resulta ser de fácil implementación e interpretabilidad, por lo que se sugiere usar como una extensión a las técnicas tradicionales de evaluación de recurso eólico.

SE02-9

## EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO A PARTIR DEL MODELO WRF MEDIANTE EL ACOPLAMIENTO CON UN MODELO A LINEARIZADO Y EL ENFOQUE KNN

Cuevas Figueroa Gabriel, Quiroga Novoa Pedro y Probst Oliver
*Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, ITESM*
gabriel.cuevas.f@gmail.com

El modelo Weather Research and Forecasting (WRF) es actualmente muy utilizado para modelar las características del recurso eólico en resoluciones de meso escala, que son aquellas que comprenden dominios del orden de kilómetros hasta centenas de kilómetros. Sin embargo, el acoplamiento con modelos linealizados y de aprendizaje de máquina, brinda una mejora sustancial en estos resultados. Torres virtuales obtenidas mediante simulaciones del modelo WRF con tres mallas anidadas y una resolución de 3 km, sobre una zona con topografía compleja fueron acopladas a tres modelos, siendo uno de estos, el modelo linealizado Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP), otro fue las series de tiempo de viento local (LWCts) y por último el modelo k-vecinos más cercanos (k-NN por sus siglas en inglés), este último aprovecha la similitud entre diferentes ubicaciones en un posible sitio, en términos de un conjunto de clasificadores o características. Dentro del estudio se calcularon valores promedio de velocidad para diez sitios en una zona con una topografía compleja mediante siete combinaciones diferentes, siendo estas: torres virtuales del modelo WRF, resultados del modelo WAsP para vientos geostróficos alimentados por la información de las torres virtuales y validaciones cruzadas mediante el modelo WAsP con una topografía de alta resolución. Así mismo, se analizó la precisión del modelo WAsP considerando un acoplamiento de meso y micro escala a partir de torres virtuales. También se analizaron LWCts alimentadas a partir de torres virtuales del modelo WRF, adicionalmente, se consideró el modelo k-NN alimentado con LWCts a partir de series de tiempo de las torres virtuales del modelo WRF y finalmente, el acoplamiento del modelo WAsP con topografía meso-micro, alimentados con LWCts a partir de series de tiempo de las torres virtuales del modelo WRF. Se calcularon los valores del error porcentual para cada uno de los 10 sitios, con base en los promedios de valores medidos por las estaciones meteorológicas. Los resultados que muestran la evaluación del recurso eólico con un menor error en la velocidad promedio de 2.62 % son mediante el método k-NN alimentado con LWCts a partir de series de tiempo de las torres virtuales del modelo WRF, seguido por el método del acoplamiento del modelo WAsP con topografía meso-micro, alimentados con LWCts a partir de series de tiempo de las torres virtuales del modelo WRF, que presentan un error del 4.38%. Finalmente, el método menos preciso es el modelo de vientos geostróficos con WAsP alimentados por la información de las torres virtuales subestimando el recurso con un 12.72%. De esta manera se valida la importancia de acoplar los resultados del modelo WRF con modelos linealizados y con aprendizaje de máquina, que permitan mejorar la precisión de sus resultados en caso de no contar con mediciones en el sitio.

SE02-10

## HIGH-RESOLUTION MODELING OF TIDAL ENERGY RESOURCES IN THE GULF OF CALIFORNIA

Gross Markus y Magar Vanesa
*CICESE*
mgross@cicese.mx

Tidal energy is a promising form of renewable energy due to its predictable pattern and relatively accessible nature. It does not require high masts, nor complex kinematic convertors. However, it is strongly affected by local bathymetry and coastline. High-resolution coastline data exists, but the required high resolution of the hydrodynamic model used to identify suitable sites and predict tidal energy resources is still a challenge. Here we present results from a variable mesh hydrodynamic model, with high resolution at the coast and a gradual reduction of the resolution towards deep waters, which allows for more economical runtimes. The model is verified with tidal stations around the Gulf of California over a period of one year. Several potential sites will be presented and restrictions, such as vertical levels, forcings, and processes, will be discussed. The computational cost will be illustrated to inform future projects using this model.

SE02-11

## ANÁLISIS DE ELEVACIÓN DEL MAR, CORRIENTES, ESFUERZOS DE REYNOLDS Y ENERGÍA CINÉTICA TURBULENTA A PARTIR DE MEDICIONES IN-SITU EN BAHÍA TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA, DURANTE MARZO Y ABRIL DE 2019

Arias-Esquivel Victor Alejandro, Bermúdez-Romero
Anahí, Magar Vanesa, Godinez Victor M. y Gross Markus
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
ariasv@cicese.mx

La Bahía de Todos Santos es una bahía mesomareal en el Pacífico Nororiental Mexicano. Durante los meses de marzo y abril de 2019 se instaló en la Bahía un perfilador acústico de corrientes, o ADCP por sus siglas en inglés, de cinco haces. Con este ADCP se analizaron tanto los campos medios como los datos instantáneos de oleaje, nivel del mar, y velocidades de corriente. A partir de los datos instantáneos de las velocidades a lo largo de los haces, es posible calcular las fluctuaciones de dichas velocidades, y a su vez determinar las componentes del tensor de esfuerzos, para calcular los esfuerzos de Reynolds, la energía cinética turbulenta, y la anisotropía. Las señales de oleaje y de corrientes medias fueron separadas en una serie de tiempo horaria para el oleaje, una serie de tiempo a intervalos de 10 minutos para las corrientes. Se realizó un análisis espectral de la señal del oleaje, y una descomposición de la elevación del mar y de las corrientes en componentes armónicos principales de marea. La dirección y rapidez medias de las corrientes sobre todo el periodo de medición, fueron de 188 grados SW y 0.08 ms-1, respectivamente. Los resultados del análisis armónico de la elevación de mar mostraron que las componentes semidiurnas M2 y S2 tienen amplitudes de 0.48 m y 0.27 m, respectivamente; y las componentes diurnas K1 y O1 tienen amplitudes de 0.24m y 0.21 m, respectivamente. Los resultados del análisis armónico de corrientes con un forzamiento de aguas someras mostraron que las componentes semidiurnas M2 y S2 tienen amplitudes de 0.03 ms-1 y 0.01 ms-1, respectivamente; y las componentes diurnas K1 y O1 tienen amplitudes de 0.04 ms-1 y 0.01 ms-1, respectivamente. El factor de desigualdad diurna es 0.6 para la elevación de mar y 1.25 para corrientes. Ambos indican que la marea en este lugar se catalogaría como mixta predominantemente semidiurna. Sin embargo, en mareas muertas se observó un dominio claro de la marea diurna. Se analizaron también las componentes armónicas de aguas someras de alta frecuencia como M3, MK3, SK3, M4, MS4, S4, y 2MS6 y de baja frecuencia como MSF. Las velocidades instantáneas se procesaron para obtener series horarias de los niveles de turbulencia aplicando el método de la varianza. Esto permitió obtener las componentes del tensor de esfuerzos de Reynolds, RST, así como la densidad de la energía cinética turbulenta, TKE. Se determinó también la anisotropía y se analizó la estructura vertical de las componentes del RST. Tanto las componentes de RST como la TKE tienden a ser mayores cerca de la superficie, en concordancia con lo que encuentran otros autores; esto puede deberse a la contribución del oleaje en la disipación de energía cerca de la superficie del mar. También se observaron diferencias importantes entre los periodos de mareas muertas y mareas vivas. Falta por analizar si el viento local tiene algún efecto importante, sobre todo cuando es intenso.

SE02-12

## MODELANDO LOS EFECTOS DE LA INSTALACIÓN DE HIDROGENERADORES EN EL CANAL DE COZUMEL

Maslo Aljaz y Mariño Tapia Ismael
*IINGEN UNAM*
aljaz.maslo@gmail.com

La energía renovable marina representa una fuente alternativa prometedora para satisfacer la creciente demanda mundial de energía. La persistencia en la fuerza y dirección de la corriente de Yucatán sugiere que las turbinas impulsadas por el flujo implementadas en esta corriente tienen un gran potencial de explotación energética. Se utilizó un enfoque numérico tridimensional y de alta resolución (anidado) basado en la teoría del disco actuador implementado en el modelo oceánico Regional Oceanic Modeling System (ROMS) para simular la extracción de energía por turbinas marinas en el Canal de Cozumel. Se compararon condiciones previas y posteriores a la instalación de turbinas para identificar sus posibles efectos sobre la alteración del flujo que podrían afectar varios procesos ecológicos y fenómenos oceanográficos.

SE02-13 CARTEL

## GENERATING CANOPY HEIGHT MAPS WITH CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR WIND ENERGY APPLICATIONS

Cano Théotime[1], Sulvaran Alpuche Gibrán Jalil Gibrán[2], Gross Markus[3] y Magar Vanesa[3]
[1]*École nationale supérieure des mines de Saint-Etienne (ENSM-SE)*
[2]*Consejo Quintanarroense de Ciencia y Tecnología*
[3]*CICESE*
theotime.cano@etu.emse.fr

An important input of wind energy computational models is the roughness map, describing the interactions between air flows and earth's surface at low altitude depending on, among others, the type of vegetation and the height of the canopy. Through the Objective Roughness Approach (ORA, Floors et al, 2018), the roughness map can be computed from a canopy height map. The aim of this work is to compute those canopy height maps, using spaceborne LIDAR-based datasets and machine learning techniques, more specifically a Convolutional Neural Network (CNN). Indeed, these datasets are open source and much more accessible than airborne LIDAR-based datasets – which are often constructed from expensive missions – and Neural Networks have now been proven to be effective at finding the mapping function to compute a given target based on a given input, even in highly non-linear cases. The data used as inputs are from ICESAT-2 and Landsat 8. 19 complex products, such as the Normalized Difference Greenness Index for instance, are computed by combining some of the 11 initial bands of Landsat-8, they are then added as inputs. The goal of this work is also to put the emphasis on the ICESAT-2 dataset. Because it is very sparse, a geometrical dilation step is used on this dataset to enhance the importance of this high precision dataset in the final computation. Then the features in the computation of the outputs are analysed and the most important ones are selected. The goal of this step is both to enhance the computational efficiency of the algorithm by working on a lighter input dataset, and to prevent overfitting. The chosen target dataset is the 2019 Global Forest Canopy Height from GLAD using the NASA GEDI satellite. All datasets have a spatial resolution of 30m and the area of interest is the state of Puebla in México, containing pine forests in temperate and cold areas, tropical rainforests, grasslands and dry mountainous areas. The CNN, made of 4 blocks of Separable Depthwise 2D Convolution, Dropout, Batch Normalization and Activation layers (using LeakyReLU and a final Linear function) outputs directly the canopy height maps by bypassing the commonly used final Dense layer from most CNNs architectures. Thus, we have proved the feasibility of combining spaceborne LIDAR dataset and CNNs to compute canopy height maps in a small region in the state of Puebla. The next steps in the study will include a generalization of the algorithm when used in other geographic areas and a comparison to other machine learning techniques such as the Random Forest method. Future extensions of the work may include the use of an airborne LIDAR-based dataset as the target dataset to see the effects of such a change. Another possible extension would be to have a look at temporal changes of a canopy height map, which would evolve through leaf-on and leaf-off seasons, using a LSTM-based architecture for example.

Sesión especial

# CHIHUAHUA: TIERRA DE RETOS Y LEYENDAS MINERAS

Organizadores:
Ignacio Alfonso Reyes Cortés
Miguel Franco Rubio
Angélica Oviedo García

SE03-1

## MAPEO DE ALTERACIONES HIDROTERMALES MEDIANTE EL USO DE COMBINACIONES DE BANDA DE IMÁGENES SATELITALES CON FINES DE PROSPECCIÓN GEOTÉRMICA EN LA ZONA NORTE DEL ESTADO DE CHIHUAHUA, MÉXICO

Mata Toledo Lizbet Lucero[1], Gómez Ávila Marianggy del Carmen[1], Gómez Arias Efraín[2], Pérez Ruiz Elí Rafael[1], Alvarado Soto Sergio[1] y Domínguez Acosta Miguel[1]
[1]*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*
[2]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
al160343@alumnos.uacj.mx

En el estado de Chihuahua diferentes autores han reportado alrededor de 53 manifestaciones hidrotermales, considerando los diversos análisis de flujo de calor y el ambiente tectónico al cual pertenece se presume que dicho estado tenga potencial geoenergético de baja a mediana entalpía con temperaturas entre 30 a 150 °C la cual pudiera utilizarse para distintos usos directos del recurso geotérmico. El objetivo general de este trabajo es el mapeo de zonas de alteración hidrotermal en el norte del estado, comprende un área de alrededor de 20735 Km2, colindando con el sur de Nuevo México, engloba los municipios de Juárez, Ascensión Buenaventura, Nuevo Casas Grandes, Ahumada y Janos con la finalidad de determinar áreas con características que puedan contribuir a la prospección geotérmica de la región, mediante el uso de combinaciones de banda. Se presenta una metodología de procesamiento utilizando Percepción Remota y Sistemas de Información geográfica (SIG) para corregir imágenes multiespectrales del satélite Landsat 7 (ETM) y Landsat 8 (OLI) y, con éstas localizar zonas con presencia de alteración hidrotermal. Se utilizó estadística de bandas mediante variaciones y cálculo de Factor de Índice Óptimo (OIF) para determinar las combinaciones de banda. Los resultados obtenidos nos muestran que el uso de la exploración geológica digital y el uso de SIG para identificar alteraciones de tipo hidrotermal es una herramienta útil, que disminuye las inversiones en la fase inicial de la exploración geotérmica. El área de estudio muestra cuatro zonas definidas con diferentes tipos de alteraciones hidrotermales las cuales fueron definidas con respecto a los minerales de alteración hidrotermal identificados con la metodología empleada. La zona A se encuentra en el noroeste del área de estudio y fue identificada con presencia de alteración hidrotermal cuarzo-sericítica, la zona B se ubicada al noreste y se definió con presencia de alteración argílica, a su vez, la zona C al suroeste se define con alteración argílica avanzada, mientras que la zona D al sureste con alteración argílica intermedia a avanzada. Los resultados obtenidos mediante las combinaciones de bandas son consistentes con los resultados de estudios geoquímicos, geológicos y tectónicos publicados previamente; por lo que se establece que la región oeste del área de estudio es la que cuenta con un mayor potencial para exploración y prospección geotérmica. Palabras clave: SIG, Percepción remota, OIF, Geotermia, Alteraciones hidrotermales, Prospección geológica, Combinación de bandas.

SE03-2

## ANÁLISIS DE DATOS AEROMAGNÉTICOS DE LA REGIÓN SAN FRANCISCO DEL ORO CHIHUAHUA, PARA LA GEOLOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS ASOCIADAS CON LA POSIBLE PRESENCIA DE YACIMIENTOS DE ORO Y PLATA

Rodríguez López Laura Judith[1], Muñoz Máximo Ignacio[1] y Soriano Garibo Isaac Raúl[2]
[1]*Área de Geociencias Aplicadas, Dirección de Innovación y Transferencia de Conocimiento, BUAP*
[2]*Facultad de Ingeniería, BUAP*
laussjordan@gmail.com

En este trabajo de investigación, se muestran los resultados de un estudio geofísico basado en el tratamiento de datos aeromagnéticos de la carta G13-A57 del Servicio Geológico Mexicano, por Reducción al Polo, Continuación Ascendente, Continuación Descendente y Señal Analítica, para poder determinar la ubicación de las estructuras de carácter mayor que pueden estar asociadas a la deposición de minerales de Au y Ag. Los resultados del estudio aeromagnético han sido evaluados en conjunto con los resultados obtenidos del procesamiento por percepción remota de una imagen LANDSAT 8, así como de la caracterización de especímenes colectados en la región (amatista, caliza, calcita) por las técnicas de Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía de Barrido Electrónico (MEB) con Análisis de Energía Dispersiva (EDS). Los resultados preliminares sugieren dos posibles zonas de investigación denominadas SFO A1 y SFO A2, asociadas con dos dominios magnéticos que guardan similitud con los resultados obtenidos en la actual mina que se explota en San Francisco del Oro, Chihuahua.

SE03-3

## ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO Y ESTRUCTURAL DE LA REGIÓN OCCIDENTAL DEL DISTRITO MINERO ESTACIÓN TERRAZAS, CHIHUAHUA, MÉXICO

Rascón-Aguilar Lenin Gerardo y Reyes Ignacio
*Universidad Autónoma de Chihuahua*
a316227@uach.mx

El depósito de Zinc-Cobre de Terrazas (Antes Rio Tinto) este situado en 2 km al este del poblado de Terrazas, municipio de Chihuahua y 40 km al norte-noroeste de la cuidad, capital Chihuahua, Chihuahua al norte de México. Las unidades litológicas expuestas en Terrazas tienen rangos de edad del Cretácico al Cuaternario y estuvieron sujetas a varios grados de deformación, además se observan distintos tipos de rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas. En las relaciones de campo se pueden observar clastos del conglomerado afectados por los eventos metamórficos de tipo skarn con el cual se presenta la monzonita la cual es la base de la mineralización. También hay afloramientos de rocas extrusivas, mayormente de riolita. En el ámbito estructural se muestran estructuras tempranas preservadas en Terrazas son el producto de la orogenia tipo Laramide. Este evento fue el responsable del plegamiento y fallamiento de bajo ángulo y cabalgamientos. La falla Terrazas separa la roca tipo skarn. En Terrazas también ocurren dos sistemas de fallas de ángulo mayor. El sistema más reciente tiene rumbo este-oeste y controla los diques riolíticos y monzoníticos. La mineralización de cobre y zinc en Terrazas se encuentra casi exclusivamente asociada al límite de la caliza eskarnificada y el conglomerado. La mineralización se considera como resultado de la acción de eventos supergénicos. Los minerales supergénicos más frecuentes de cobre son malaquita, crisocola, azurita, tenorita y del zinc son la willemita, hemimorfita, smithsonita y rosasita. Existe una similitud de este depósito de Terrazas con los skarn con reemplazamiento en Chihuahua, como Naica y Santa Eulalia. Por lo tanto esta área es susceptible a exploración por un depósito de reemplazamiento de carbonatos de Ag-Pb-Zn.

SE03-4

## CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS LACUSTRES DE LA PRESA SAN MARCOS, CHIHUAHUA, MÉXICO

Parra Primero Sergio Joaquín y Reyes-Cortés Ignacio-Alfonso
*Universidad Autónoma de Chihuahua*
sparra.bms@gmail.com

En el acuífero de la cuenca de Sacramento ubicado en el Valle de Chihuahua, las concentraciones específicas del uranio en agua subterránea fluctúan de 460 a 1260 ppm. Las aguas de la presa de San Marcos, situada en la parte alta de esta cuenca de Sacramento, son ricas en materia orgánica y hasta un 75% del contenido de uranio puede estar incorporado en forma coloidal o como partículas suspendidas. La presencia de materia orgánica coloidal es un factor importante de retención del uranio. En la región de Majalca se localiza la presa de San Marcos, objetivo de este estudio Se considera que las aguas y los peces de la presa de San Marcos y las aguas de algunos pozos de la región NW del valle de Chihuahua están contaminados con uranio ya que contienen valores superiores a los referidos por la UNSCEAR 2000. Mediante el estudio de las condiciones geológicas y los procesos de alteración en los yacimientos de San Marcos # y Victorino, se determinó que el origen es hidrotermal. A partir de la sierra de Majalca se derivan los abanicos aluviales y sedimentos que rellenan la zona NW del valle de Chihuahua. En la presa de San Marcos cada año se están depositando sedimentos detríticos. Estudios anteriores revelan una serie de detalles estructurales que definieron a esta zona y alrededores como una caldera llamada La Caldera de San Marcos y se ha revelado que la actividad volcánica que afectó a esta zona fue durante diversos colapsos que formaron la caldera, así como derrames y erupciones piroclásticas, y depósitos sedimentarios. La acumulación de rocas y varias fallas provocaron una depresión estructural que permite la preferente ubicación de la Presa San Marcos. Con las técnicas de caracterización mediante granulometría, petrografía, difracción de rayos X se encontró que la composición elemental en las secciones del núcleo es la misma, los elementos que conforman cada sección son principalmente el Silicio, Aluminio, Fierro, Calcio, Potasio, Magnesio y Sodio, correspondientes a la composición característica de los sedimentos lacustres montmorilloníticos. Los análisis previos a la basados en la investigación del área de la Presa San Marcos demuestran el depósito de minerales como el cuarzo, sanidino, limo-arcilla, hematita, minerales arcillosos, etc. El análisis petrográfico y la difracción de rayos-x afirman la composición mineralógica presente en los sedimentos lacustres aluviales. Los depósitos del área de San Marcos, Chihuahua coinciden con la descripción de otros depósitos observados en el mundo que pueden ser clasificados como yacimientos asociados a rocas volcánicas félsicas.

SE03-5

## EVALUACIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA COLONIA NOMBRE DE DIOS, CHIHUAHUA, MÉXICO

Mauricio-Antillón Salma Galilea y Reyes Ignacio
*Universidad Autónoma de Chihuahua*
a317576@uach.mx

Tanto los riesgos geológicos y la vulnerabilidad desencadenan un papel importante dentro del proceso de urbanización, por lo cual, el objetivo principal en esta investigación fue hablar especialmente sobre dos tipos de riesgos geológicos (por deslizamiento y colapso, y erosión), además de la vulnerabilidad presente en la colonia Nombre de Dios, Chihuahua, Chih. Esta zona se escogió porque yo desde un principio se consideraba que formaba parte de un área no apta para uso urbano. Tomando en cuanta bibliografía, tal como, IMPLAN, SEDESOL. (2009). V. Zonificación Básica de Peligros, en donde catalogan están zona como alto riesgo por inestabilidad de laderas, se señaló que en el área existe un afloramiento de terrazas aluviales constituido de conglomerado polimíctico, areniscas y arcillas, además la presencia de un arroyo, el cual erosiona parte de estas terrazas, sobre las cuales existen viviendas que están construidas en las laderas. El enfoqué que se utilizó es retrospectivo. Teniendo en cuenta los datos anteriores, se llevó a cabo dos visitas de inspección en donde se anotaron los puntos de interés, sus características y la evidencia fotográfica; después, se marcaron los puntos en Google Earth que representaban los posibles riesgos (RP1, RP2, RP3) y finalmente, usando los softwares ArcGis y Global Mapper, se creó diferentes mapas, de ubicación, orientación de pendiente, arroyos, curvas de nivel, etc. (generalizados con el CEM de INEGI). Como resultados, se obtuvieron las diferentes orientaciones de pendiente, la primera tiene un rango de 33°- 97°, la segunda, entre 152°- 238° en donde se ubican las viviendas. También se obtuvo el valor de pendiente, 89. 64°. La investigación permitió concluir varios puntos importantes, por ejemplo, existen problemas de cimentación y construcción de dos viviendas, las cuales, aunque estén construidas en la ladera del arroyo, su problema no radica en el deslizamiento, sino con los parámetros de construcción. El factor que influye en estas dos viviendas podría ser la erosión. Así mismo, existen áreas en donde se observa deslizamientos y perdida de material. Finalmente, hace falta un modelo de gestión de riesgos geológicos para los procesos constructivos y de infraestructura en la ciudad de Chihuahua.

SE03-6

## ANÁLISIS DE LA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SUSTENTABLE EN LA CIUDAD DE CHIHUAHUA, MÉXICO

Portillo-Lozano Norma Aracely y Reyes Ignacio
*Universidad Autónoma de Chihuahua*
a199516@uach.mx

El aprovechamiento de aguas pluviales en los centros urbanos es primordial para su sustentabilidad, mejorar su habitabilidad, y mitigar los efectos del cambio climático. Es por eso que nuevos modelos de gestión de aguas en centros urbanos han tomado fuerza, en los cuales el aprovechamiento de las aguas pluviales, mediante infraestructura adecuada y con estrategias y tecnologías apropiadas, es pilar indispensable en la gestión. Estos modelos de gestión de aguas proponen, en lo que respecta a las aguas pluviales, la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sustentable, los cuales permiten la captación, retención y filtración de agua de escorrentía, propiciando la recarga de los acuíferos regionales y la revegetación en zonas urbanas, conservando la calidad del agua e incluso mitigando el calentamiento urbano. Actualmente la ciudad de Chihuahua no cuenta con una adecuada gestión de aguas pluviales que permita su aprovechamiento. Al contrario, se sigue planeado bajo la misma gestión de aguas, que consiste en canalizar y evacuar las aguas pluviales, mezclándolas en este proceso con aguas residuales de menor calidad volviéndolas inaprovechables. Además, al verse el sistema de drenaje saturado se provocan inundaciones, no solo fracasando en lograr su objetivo que es la evacuación rápida y segura para evitar los daños hacia la infraestructura, edificaciones y la población, si no aumentando el riesgo para los mismos. Dentro de los arroyos que transitan por la ciudad existen algunos con mayores caudales, los cuales se proponen para la implementación de SUDS. Entre estos arroyos se encuentran el arroyo El Mimbre, La Cantera y El Chamizal.

SE03-7

## MOVILIDAD DEL URANIO EN ZONAS ÁRIDAS

Reyes-Cortés Ignacio-Alfonso, Franco-Rubio Miguel y Oviedo García Angélica
*Universidad Autónoma de Chihuahua*
ireyes@uach.mx

El U se presenta en dos estados: hexavalente, ion oxidado y soluble (UO2+2) y tetravalente, insoluble (UO2). En los yacimientos, el U forma una mezcla de U(IV) y U(VI) en proporciones variables. Para beneficiarlo se requieren agentes oxidantes y llevarlo al U(VI) para extraerlo. En ambiente reducido predomina la uraninita UO2 insoluble. Se detallan los ambientes de movilidad de los isótopos del uranio con el agua subterránea en las areniscas que proveen el 30% de la producción mundial. Los depósitos de uranio se precipitan cuando las aguas subterráneas que lo transportan atraviesan por un ambiente reducido. La ubicación y tamaño del depósito depende de la reactividad del ambiente reductor. Entonces la cantidad de materia orgánica en los sedimentos por donde están pasando los solutos es responsable de la acumulación de uranio en las areniscas de las zonas áridas. La presencia de gases como H2S, CO2 y CO provocan ambientes reductores. En el caso de El Nopal, Margaritas y Puerto 3, son depósitos en la sierra de Peña Blanca, Chihuahua en donde las acumulaciones de uranio se encuentran en rocas ígneas; allí juega un papel importante la presencia de hidrocarburos en las cercanías de los depósitos, cuyas emanaciones de gases han sido el factor responsable para que las soluciones que circulan en los horizontes clásticos precipiten el uranio en la interfase de óxido-reducción. La movilidad y la precipitación de uranio está controlada por condiciones redox, de tal manera que es posible el transporte en solución acuosa del ion uranilo, al igual que su precipitación por reducción. La formación de trampas de uranio coincide con procesos que combinaron la fuente del uranio, gradientes redox y estructuras favorables para el transporte de fluidos. La movilidad del uranio alojados en areniscas se define como acumulaciones epigenéticas de origen fluvial, lacustre o deltaico. La forma de los depósitos es sensiblemente tabular o del tipo “roll-front” como ocurre en Margaritas y Puerto 3, cada una se relaciona con procesos geoquímicos particulares en donde las aguas subterráneas con baja concentración de uranio infiltran en los horizontes clásticos de la columna estratigráfica de Peña Blanca. La fuente del uranio son las rocas ígneas afectadas por procesos de intemperismo, donde el uranio se disuelve progresivamente y transporta aguas abajo en horizontes clásticos permeables de la misma secuencia ígnea. La precipitación del uranio ocurre cerca del contacto, si existen las condiciones de ambiente reductor, por ejemplo, la presencia de materia orgánica o la emanación de gases reductores. En los últimos 10 años se han revivido estudios relacionados con el uranio. Por un lado, el Servicio Geológico Mexicano reconstruye trabajos realizados por INEN y URAMEX, con buenos resultados, y por otro, grupos de investigadores interesados en la movilidad superficial del uranio en las zonas áridas y el impacto potencial en el ambiente, salud y economía. El propósito de las investigaciones se enfoca en identificar formas de movilidad del uranio (sólida, adsorbida en partículas, soluble), así como condiciones de precipitación en zonas áridas predominantes en Chihuahua.

SE03-8 CARTEL

## ESTUDIO DE ANOMALÍAS GEOTÉRMICAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL SURESTE DEL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA, CHIHUAHUA MÉXICO

García Dena Miriam Paulina[1], Gómez Ávila Marianggy del Carmen[1] y Cervera Gómez Luis Ernesto[2]
[1]*Universidad Autónoma de Ciudad Juárez*
[2]*El Colegio de Chihuahua*
al156099@alumnos.uacj.mx

México se encuentra en una situación geológica y geográfica privilegiada a nivel mundial, donde las condiciones geológicas del territorio favorecen al potencial geotérmico del país. Sin embargo, el desarrollo de este tipo de energía se encuentra con distintos obstáculos, entre ellos la falta de estudios previos de exploración e investigación sobre los recursos geotérmicos en regiones como el estado de Chihuahua, ubicado al norte del país. En este estado las investigaciones previas se limitan al estudio de dos zonas geotérmicas particulares: San Antonio el Bravo (Ojinaga) y la localidad de Maguarichi. Este trabajo pretende contribuir al acervo de información científica sobre el potencial de la geotermia en zonas que aún no han sido exploradas o cuentan con pocas evidencias de exploración, el área de estudio comprende 7,281.3 km2 de una región localizada entre los municipios: Chihuahua, Aquiles Serdán, Aldama, Rosales, Meoqui y Julimes, al este del estado de Chihuahua. El objetivo es estudiar las anomalías geotérmicas presentes en el área de estudio, aprovechando los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y aplicando técnicas de Percepción Remota (PR), considerando la combinación de bandas multiespectrales para la discriminación de elementos químicos e identificación de minerales de alteración hidrotermal, con el propósito de localizar zonas con posible potencial del recurso geotérmico de mediana a baja entalpía; en la metodología de procesamiento se aplicaron herramientas de SIG que permiten realizar una estimación del cálculo de temperaturas superficiales de suelo y realizar una correlación de los datos obtenidos, finalmente, estos resultados preliminares permitirán inferir si el área de estudio presenta características geológicas distintivas de un entorno geotérmico. Palabras clave: Exploración geotérmica, alteración hidrotermal, Sistemas de Información Geográfica, Cálculo de temperatura superficial del suelo

Sesión especial

# OLLIN-IGCP669 CENTRAL MEXICO: AMENAZA SÍSMICA EN EL CINTURÓN VOLCÁNICO TRANSMEXICANO: AVANCES EN NEOTECTÓNICA, PALEOSISMOLOGÍA, SISMICIDAD HISTÓRICA E INSTRUMENTAL

Organizadores:

Pierre Lacan
Rodrigo Alejandro León Loya
María Ortuño
Gerardo Suárez

SE04-1

## EL PROYECTO OLLIN 669-IGCP: FALLAS ACTIVAS PARA LA EVALUACIÓN DE PELIGROS SÍSMICOS EN PAÍSES DE LATINOAMERICA

Lacan Pierre[1], Ortuño María[2], Audin Laurence[3], García-Mayordomo Julián[1], Audemard Franck[1], Prieto Germán[1], Peruzza Laura[1], Zúñiga Ramón[1], Benavente Carlos[1], Moreiras Stella[1], López Myriam C.[1] y Network Ollin[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*RISKNAT group, Geomodels Institute, Universitat de Barcelona*
[3]*ISTerre/IRD, OSUG Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble, France*
placan@geociencias.unam.mx

El proyecto OLLIN tiene como objetivo establecer un nuevo marco de colaboración en América Latina basado en la iniciativa europea Fault2SHA. OLLIN está aprovechando una experiencia de colaboración existente entre especialistas de ambos lados del Atlántico para fines de investigación de peligros sísmicos. Desde 2019, este proyecto estructura y representa una red de 97 colaboradores distribuidos en 15 países. Su principal objetivo, al igual que Fault2SHA, es reunir a los investigadores de terremotos y a los modeladores de peligros con un interés común: nuestras sociedades necesitan mejores estrategias para integrar las fallas y los datos geológicos en las evaluaciones de peligros sísmicos. En los últimos años la investigación geológica de terremotos se ha desarrollado rápidamente en América Latina y la cuestión de la integración de estos datos en el SHA de la región se esta haciendo urgente ya que ciudades altamente pobladas se encuentran cerca de las principales fallas activas. OLLIN (movimiento, en idioma náhuatl) se centra en tres zonas de fallas principales: el cinturón volcánico transmexicano, en México, el límite norte de la placa de América del Sur, que se extiende desde Ecuador hasta Colombia y Venezuela, y el centro y el sur de los Andes, incluiendo los sistemas de fallas de Perú, Argentina y Chile. Para cada una de estas áreas, se han establecido grupos de trabajo regionales y se prevé albergar talleres enfocados en mejorar los métodos de modelado de peligros de fallas. La difusión de los resultados a la sociedad es un aspecto crucial del proyecto, que estará asegurado por la participación de los actores de protección civil, estudios geológicos y otros usuarios finales en reuniones especiales. El proyecto OLLIN está financiado por el Programa Internacional de Geociencias (PICG) de la UNESCO bajo el código IGCP669 "Identificación de fallas sismogénicas en áreas pobladas de América Latina y su incorporación a la evaluación de peligros sísmicos".

SE04-2

## PRIMERAS EVIDENCIAS DE PALEOSISMOLOGÍA EN EL ÁREA EPICENTRAL DEL TERREMOTO DE AMECA, SIGLO XVI, JALISCO

Núñez Meneses Andrés[1], Lacan Pierre[1], Zúñiga Ramón[1], Audin Laurence[2], Ortuño María[3], Rosas Elguera José[4], León-Loya Rodrigo[1] y Márquez Víctor[1]
[1]*Centro de Geociencias, UNAM*
[2]*Institut des Sciences de la Terre, ISTerre, IRD, Université Joseph Fourier, Grenoble I, OSUG, France*
[3]*RISKNAT group, Geomodels Institute, Universitat de Barcelona*
[4]*División de Estudios Científicos y Tecnológicos, Universidad de Guadalajara, México*
andresdavid.n623@gmail.com

Uno de los primeros terremotos históricos descrito en el continente americano es el terremoto de Ameca del siglo XVI. Con una magnitud estimada a 7.3 este evento puede ser el terremoto cortical más grande registrado en el Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM). Haciendo énfasis en el área epicentral de este evento sísmico y con base en algunas fuentes históricas, este terremoto puede estar asociado a la Falla Ameca-Ahuisculco, la cual carece de estudios paleosismológicos que permitan caracterizarla. En este trabajo, se lleva a cabo un estudio donde se describen los diferentes segmentos de falla junto con la geomorfología del escarpe. Luego, se presenta el primer estudio de paleosismología realizado sobre uno de los segmentos de la Falla Ameca-Ahuisculco. Los resultados obtenidos en dos trincheras paleosísmicas realizadas son consistentes, y arrojan evidencias de actividad reciente dentro del registro sedimentario con dos, posiblemente tres eventos sísmicos. Desafortunadamente el evento mas antiguo no se encuentra bien preservado y se interpreta como posible evento que ocurre después de 27,91 ± 0,4 cal ky BP y anterior a 5,67 ± 0,064 cal ky BP. el segundo evento y el mejor registrado ocurre alrededor de 5,67 ± 0,064 cal ky BP, mientras que el tercer evento interpretado ocurre después de 0,985 ± 0,065 cal ky BP. este ultimo evento puede corresponder al registro geológico del terremoto de Ameca del siglo XVI. Con base en las diferentes longitudes de ruptura posibles y el desplazamiento cosísmico estimado en las trincheras, este sistema de fallas podría generar terremotos con magnitudes entre 6.9 y 7.3, lo que lo convierte en una fuente principal de peligro sísmico para la ciudad de Guadalajara.

SE04-3

## CARACTERIZACIÓN DE LAS FALLAS POTENCIALMENTE ACTIVAS EN LA CUENCA DEL LAGO DE CUITZEO

Gómez Vasconcelos Martha Gabriela[1], Avellán Denis Ramón[2], Soria Caballero Diana Cinthia[3], Macías José Luis[4], Israde-Alcántara Isabel[5] y Ávila-Olivera Jorge Alejandro[5]
[1]*CONACYT–Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH*
[2]*CONACYT–Instituto de Geofísica Unidad Michoacán, Universidad Nacional Autónoma de México*
[3]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, UNAM*
[4]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[5]*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
ga8ygomez@yahoo.com

Caracterizar las fallas potencialmente activas y evaluar el peligro y riesgo sísmico en el centro de México es esencial, ya que esta región alberga fallas corticales (intraplaca) importantes que podrían afectar a cerca del 50% de la población nacional. El Cinturón Volcánico Trans-Mexicano es un arco volcánico continental activo que aloja varias cuencas lacustres tectónicas en dirección E-O, paralelas a la dirección del arco (p.ej., Zacoalco, Chapala, Zacapu, Cuitzeo). Estructuras tectónicas (fallas normales) y volcánicas han controlado la evolución de estas cuencas desde el Mioceno hasta el presente. La cuenca del lago de Cuitzeo, en la parte central del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano, es una cuenca tectónicamente activa que comenzó a formarse en el Mioceno medio y continúa activa. Esta cuenca presenta al menos 21 zonas de falla potencialmente activas, implicando un peligro sísmico importante para el centro del país. La mayoría de estas fallas son normales con dirección E-O y pertenecen al Sistema de Fallas Morelia-Acambay. Algunas de estas fallas ya han sido estudiadas; sin embargo, aún faltan muchas por caracterizar. Este estudio caracteriza las fallas principales de esta cuenca con métodos geomorfológicos, paleosismológicos y espaciales, con el fin de evaluar de manera general su morfología en superficie, su segmentación, su tasa de desplazamiento, y sus implicaciones para el peligro sísmico. Nuestros resultados indican que estas fallas tienen una tasa de desplazamiento promedio de 0.17 mm/año para el último Ma, y son capaces de generar sismos de magnitudes Mw entre 6.2 y 7.0. El peor escenario en la región implica rupturas multi-falla, las cuales podrían generar rupturas de hasta 63 km de longitud, capaces de generar sismos de magnitudes Mw entre 7.0 y 7.2.

SE04-4

## FALLA LA COLINA EN LA CIUDAD DE MORELIA: NEOTECTÓNICA O SOBRE EXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS?

Aray Castellano Jelime[1], Lacan Pierre[1], Núñez Meneses Andrés[1], Gómez-Vasconcelos Martha G.[2], Velázquez-Bucio Magda[3], Soria Caballero Diana Cinthia[4], Avellan Denis Ramón[5], Ávila García Jesús[6] y Garduño Monroy Víctor Hugo[7]
[1]*Centro de Geociencias, UNAM*
[2]*CONACYT–Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH*
[3]*Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Italia*
[4]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, UNAM*
[5]*CONACYT–Instituto de Geofísica Unidad Michoacán, Universidad Nacional Autónoma de México*
[6]*Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM*
[7]*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*
jelimearay@gmail.com

La problemática de hundimientos diferenciales y agrietamientos relacionados a la sobreexplotación del acuífero, con tendencia paralela a fallas regionales, se evidenció en la década de los 80 en las principales ciudades del centro de México (CDMX, Celaya, Morelia, Querétaro, etc.). A partir de 1983, los asentamientos diferenciales en la ciudad de Morelia empezaron a provocar daños en las construcciones a lo largo de fallas pertenecientes al sistema de fallas Morelia-Acambay. Este fenómeno ha sido particularmente importante y bien descrito a lo largo de la falla normal La Colina. Esta falla de dirección SW-NE que buza hacia el norte, tiene una longitud superficial de 10 a 15 km y varios estudios se han llevado a cabo para cuantificar y caracterizar su desplazamiento superficial reciente. La reactivación superficial de la falla con el abatimiento del acuífero es bien conocida y descrita pero aún se desconoce si su actividad tectónica persiste durante el Holoceno. Para tratar de contestar a esta interrogante, dos trincheras fueron excavadas en el extremo SW de la falla en la localidad de San Juanito Itzícuaro. Los resultados preliminares indican que la falla La Colina presenta evidencias de dos tipos distintos de actividades. Uno actual, con evidencias de desplazamientos lentos que corresponde a la reactivación superficial por sobreexplotación del acuífero y otro movimiento, más antiguo, asociado a evidencias sedimentológicas de una ruptura instantánea del subsuelo que podría corresponder a un movimiento tectónico. La hipótesis de este movimiento de origen tectónico esta soportado por evidencias morfológicas colectadas en las laderas de los edificios volcánicos de la región y es consistente con las observaciones documentadas para otras fallas del sistema Morelia-Acambay.

SE04-5

## CARACTERIZACIÓN DE LA FALLA CERRITOS (MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO) Y SU IMPLICACIÓN EN EL PELIGRO SÍSMICO

Soria Caballero Diana Cinthia[1], Gómez Vasconcelos Martha Gabriela[2], Avellan Denis Ramón[3], Aray Castellano Jelime[4], Gutiérrez Carmona Dulce[1], Jiménez Haro Adrián[5], Velázquez Bucio María Magdalena[6], Ávila García Jesús[7], García Oscar[5] y Garduño Monroy Víctor Hugo[5]

[1]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, UNAM*

[2]*CONACYT–Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, UMSNH*

[3]*CONACYT–Instituto de Geofísica Unidad Michoacán, Universidad Nacional Autónoma de México*

[4]*Centro de Geociencias, UNAM*

[5]*Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*

[6]*Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia, Università degli Studi dell'Insubria, Italia*

[7]*Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM*

dianscc@hotmail.com

La falla Cerritos se localiza al suroeste de Morelia, en el estado de Michoacán. Esta falla forma parte del Sistema de Fallas Morelia-Acambay, que se caracteriza por la elevada densidad de fallas activas orientadas este-oeste, con geometrías segmentadas, arreglos en échelon, el desarrollo de semi-grabenes y grabenes de dimensiones variables y suelen afectar la distribución del vulcanismo monogenético holocénico. Estas fallas afectan unidades litológicas de edades miocénicas hasta suelos modernos, para la ciudad de Morelia representan una fuente importante de peligrosidad sísmica. La falla Cerritos (255°/76°NNO) tiene un desplazamiento normal con una ligera componente lateral izquierda, con una longitud de 12 km y un escarpe bien definido de 130±5 m (100 m de desplazamiento visible + 30 m de desplazamiento subsuperficial obtenido por el estudio de resistividad invertida). Los análisis geológico y geomorfológico de la falla sugieren que es una estructura joven, tectónicamente activa y con mayor actividad en su sector oriental, interactuando con fallas vecinas, transfiriendo desplazamiento al traslaparse entre sí, siguiendo una evolución típica de ambientes extensivos. La morfología del escarpe y la acumulación de sedimentos lacustres en el bloque caído sugieren levantamiento y subsidencia activos a lo largo de la falla. Los resultados obtenidos mediante técnicas geofísicas (Sísmica de refracción, Tomografía de resistividad eléctrica y magnetometría terrestre) sugieren que la falla presenta un plano principal lístrico y una zona de deformación extendida hasta 75 m en la horizontal desde la base del escarpe principal. En la zona de deformación se interpreta la presencia de anticlinales tipo roll-over y dos grabenes de colapso crestal delimitados por estructuras secundarias, los cuales son depocentros de materiales clásticos y bloques caídos. Para la falla Cerritos se estimaron tasas de desplazamiento de 0.03±0.01 a 0.3±0.01 mm/año (largo y corto plazo, respectivamente), un tiempo de recurrencia promedio de 16700 años y capacidad de producir eventos de ruptura con magnitudes de MW 6.2 a 6.6 por sí sola, o bien, puede interaccionar como rampa de relevo con las fallas vecinas Morelia y Cointzio, produciendo eventos de ruptura con magnitudes de hasta MW 6.9 y desplazamientos promedio por evento de 0.5 a 1.2 m (para una ruptura individual y concatenada, respectivamente), lo cual incrementa notablemente su peligrosidad para la ciudad y el estado.

SE04-6

## EFECTOS PALEOSÍSMICOS EN LA SECUENCIA FLUVIO-LACUSTRE DE LA PALEOCUENCA DE IXTLAHUACA Y SU POSIBLE RELACIÓN CON EL GRABEN DE ACAMBAY: IMPLICACIONES PARA LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO EN EL CENTRO DE MÉXICO

Velázquez-Bucio María Magdalena[1], Garduño Monroy Víctor Hugo[2], Benente Luigi[3], Filonzi Sara[1], Norini Gianluca[4], Groppelli Gianluca[4] y Michetti Alessandro M.[1]

[1]*Università Degli Studi Dell'Insubria, Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia*

[2]*INICIT-UMSNH*

[3]*Consultant Geologist, Italy*

[4]*Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Consiglio Nazionale Delle Ricerche*

magda_vb@yahoo.com.mx

Presentamos el análisis de los depósitos lacustres Pleistoceno-Holoceno cartografiados en la paleocuenca de Ixtlahuaca dentro del Cinturón Volcánico Trans-Mexicano (CVTM), ubicada a 51 km al sur del graben de Acambay y 69 km al oeste de la Ciudad de México. Dentro del graben de Acambay, los sedimentos lacustres del Pleistoceno-Holoceno registran efectos ambientales primarios y secundarios de fuertes sismos locales como consecuencia de la actividad cuaternaria de las principales fallas normales que lo delimitan. De igual manera, la evolución de la paleocuenca de Ixtlahuaca ha sido controlada principalmente por la actividad Cuaternaria de las fallas Perales e Ixtlahuaca, no obstante, al no haber registro de sismos históricos del área, esta no ha sido considerada como potencialmente sísmica. La aplicación de la Escala ESI 2007 a los efectos sísmico ambientales en las cuencas de Tierras Blancas, San Bartolo Lanzados y San Pedro El Alto, dentro del graben de Acambay y, su comparación con EEE's identificados en la paleocuenca de Ixtlahuaca, muestran que sismos pasados similares a los eventos de fallas superficiales de Mw 6.5 a 7 generados por las fallas principales del graben de Acambay, también han ocurrido en la zona de Ixtlahuaca, a partir de una fuente local. Por sus características geomorfológicas, tectónicas y la evidencia paleosísmica en el registro sedimentario, la falla Ixtlahuaca, debe ser considerada como falla capaz, la cual representa peligro sísmico significativo en la zona central de México, y debe ser estimada en la evaluación de este tipo de eventos a los que la población está expuesta, los cuales podrían ser de considerable intensidad (Io = VIII-X ESI 2007).

SE04-7

## CATÁLOGO DIGITAL DE SISMOS HISTÓRICOS MEXICANOS

Suárez Gerardo

*Instituto de Geofísica, UNAM*

gersua@yahoo.com

Se presenta un catálogo estructurado de la sismicidad histórica de México desde 1469 a 1912. Esta fecha de terminación se eligió debido al inicio instrumental de los sismos mexicanos. Las ciudades y poblaciones que reportan datos macrosísmicos fueron geo-localizadas utilizando la información del INEGI y de almanaques históricos. Los reportes de daños y efectos en todas las localidades identificadas fueron evaluados y se les asignó una intensidad en la escala modificada de Mercalli (MMI). Se integraron sismos específicos agrupando las localizaciones que coincidían en tiempo y espacio. A cada sismo identificado se le asignó una provincia sismotectónica con base en la definición se Zúñiga et al. (2017). La información fue integrada en una base de datos jerárquica y estructurada que puede ser consultada utilizando diversos parámetros: fecha, rango de fechas, zona macrosísmica, ciudad, etc. Igualmente, la base de datos permite la interrogación con base en palabras específicas como tsunami, volcanes, o nombres de edificios e iglesias. La base de datos contiene también de forma textual toda la información de las fuentes originales donde fueron obtenidos los valores de intensidad (García Acosta y Suárez, 1996). De esta forma, el usuario puede evaluar íntegramente la información macrosísmica y tomar sus propias decisiones en cuanto a la asignación de intensidad. En total, se identificaron 328 sismos en estos 450 años aproximadamente. En los casos de sismos donde hay suficiente información de datos de intensidad, la magnitud y el epicentro de los sismos fueron calculados utilizando la técnica de inversión de Bakun y Wentworth (1997). Como resultado de esta integración de información se identificaron varios sismos en la Faja Volcánica Transmexicana. El catálogo es abierto y puede ser consultado por cualquier usuario interesado en http://sismoshistoricos.org/. Se pretende que este catálogo digital sea de utilidad a un diverso grupo de investigadores, tanto en las ciencias de la Tierra como en otras disciplinas interesadas en sismos o en desastres provocados pro fenómenos naturales.

SE04-8

## SISMICIDAD EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE GUADALAJARA, JALISCO DURANTE EL PERIODO DE DICIEMBRE DE 2017 A DICIEMBRE DE 2019

Jiménez Rivera Alejandro[1], Zamora Camacho Araceli[1], Espíndola Castro Juan Manuel[2], Márquez Ramírez Víctor Hugo[3] y Escudero Ayala Christian René[1]

[1]*Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara*

[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*

[3]*Centro de Geociencias, UNAM*

alejandro.jrivera@alumnos.udg.mx

La Ciudad de Guadalajara ubicada en el Estado de Jalisco es la tercera área metropolitana más poblada en México con 5.27 millones de habitantes y cuenta con una importante actividad económica. Históricamente ha estado sujeta al impacto de la consecuente actividad sísmica en la región tales como el sismo de 1875 en San Cristóbal de la Barranca y la secuencia sísmica en Guadalajara entre diciembre de 2015 y mayo de 2016. Para analizar la sismicidad regional de fondo se instaló una red sísmica temporal que consta de tres estaciones de banda ancha de la marca GÜRALP. El periodo en este trabajo comprende de diciembre de 2017 a diciembre de 2019. Se invirtieron los tiempos de arribo de las ondas P para obtener un modelo unidimensional de velocidades, se localizaron los hipocentros, se calculó la magnitud de momento (Mw) y se generaron constantes locales para la magnitud de coda con el fin de que el valor de magnitud de coda se aproxime al valor de la magnitud de momento. Este trabajo ha sido apoyado por el proyecto UNAM-DGAPA 2018 PAPIIT-IA103618, el proyecto CONACyT 428427, el proyecto CONACyT Problemas Nacionales PDCPN2015-163 y la Beca Nacional CONACyT, CVU: 796812

SE04-9

## DATOS GEOLÓGICOS EN EL ANÁLISIS DEL PELIGRO SÍSMICO EN EL CENTRO DE MÉXICO, 40 MIL AÑOS DE SISMICIDAD

León Loya Rodrigo Alejandro, Lacan Pierre y Zúñiga Ramón

*Centro de Geociencias, UNAM*

rleonloya@geociencias.unam.mx

En años recientes se ha implementado en varias regiones del mundo el uso de datos geológicos en el análisis probabilístico del peligro sísmico, practica que conlleva al refinamiento de fuentes sismogénicas y a el incremento de la ventana de observación de sismicidad. En el caso de México, el mapa de peligro sísmico más utilizado (incluido en el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal

de Electricidad, 2015), se enfoca en las fuentes sismogénicas de los límites de placas. La alta frecuencia de ocurrencia y las rápidas tasas de deformación de estos ambientes tectónicos, implica que el catálogo instrumental sea robusto y la concepción del peligro sísmico asociado a estas zonas adecuada. Sin embargo, este mapa excluye zonas con fallas activas con tasas de deformación lenta (<0.1 mm/año), en donde los ciclos sísmicos de sismos mayores superan el tiempo de registros instrumentales (Ej: sismos de 27/12/1568; 19/06/1858; 11/02/1875; con magnitudes Mw > 6), subestimando el peligro asociado a estas estructuras. En el caso de La Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), la sismicidad histórica registra eventos desde el año 1575 con magnitudes superiores a Mw>6.5 y eventos paleosísmicos en la parte este del Bloque de Jalisco y a lo largo del sistema de fallas Morelia-Acambay (MAFS). En la parte este del MAFS se localiza el Graben de Acambay, dónde la información paleosísmica cubre 40 mil años e identifica al menos 32 sismos en 7 fallas activas entre las decenas de fallas activas que aún carecen de estudios que las caractericen. El evento con ruptura superficial más reciente no solo en el Graben de Acambay sino en toda la FVTM, ocurrió en el año 1912 con una magnitud mb=6.9. Las fallas tienen tasas de desplazamiento entre 0.01-0.2 mm/año con tiempos medios de recurrencia que oscilan entre los 3.5 ka y 10 ka. Las magnitudes estimadas para los eventos registrados van desde Mw=6.5-7 de acuerdo con relaciones empíricas. Los parámetros de peligro sísmico estimados para las fallas del graben pueden ser usados como datos de entrada para el análisis de peligro sísmico, el cual necesita ser sometido a una evaluación para una posible actualización del mapa de peligro sísmico de México.

SE04-10

## INCORPORACIÓN DE SISTEMAS DE FALLAS COMO FUENTES PARA EL CÁLCULO DE PELIGROSIDAD SÍSMICA EN ZONAS DE SISMICIDAD MODERADA: EJEMPLO DE LAS BÉTICAS ORIENTALES (SE ESPAÑA)

Gómez-Novell Octavi[1], García-Mayordomo Julián[2], Ortuño María[1], Masana Eulàlia[1] y Chartier Thomas[3]
[1]*Universitat de Barcelona*
[2]*Instituto Geológico y Minero de España*
[3]*Global Earthquake Model Foundation*
ogomezno@gmail.com

La incorporación de fallas como fuentes sismogenéticas en los cálculos probabilistas de peligrosidad símica es una práctica cada vez más común debido al avance de los estudios de geología de terremotos en todo el mundo. En este contexto, los datos geológicos son vitales ya que permiten extender la historia sísmica de las fallas más allá de los catálogos, los cuales frecuentemente son demasiado cortos para reflejar correctamente los ciclos sísmicos. Esto es especialmente relevante en zonas con tasas de deformación bajas a moderadas, como es el SE de la Península Ibérica. Además, la ocurrencia reciente de terremotos dañinos con roturas multi-falla complejas (p.e., Kaikoura, Cucapah) ha evidenciado aún más el interés de modelar las fallas no sólo como fuentes independientes, sino como sistemas en los que la ocurrencia de roturas se considere como una variable aleatoria. En este estudio presentamos un cálculo probabilista de peligrosidad sísmica para el SE de España en el que se han modelizado las principales fallas de la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales (ZCBO) como fuentes sismogenéticas para el cálculo. Como novedad respecto a otros estudios en España y con el fin de incorporar el factor de interacción entre fallas, la modelización de fuentes se ha llevado a cabo considerando distintos escenarios de rotura multi-falla a nivel del sistema. Para cada hipótesis se han modelizado las tasas de sismicidad de la ZCBO mediante sus datos geológicos disponibles utilizando el código SHERIFS (Chartier et al. 2019). La fiabilidad de cada modelo se ha evaluado en función de su ajuste con el catálogo sísmico y con las tasas de paleosismicidad derivadas de los estudios paleosísmicos en la región. A partir de este análisis se sugiere que las rupturas que involucran longitudes de hasta una o varias fallas son factibles, mientras que la rotura de todo el sistema parece improbable. Cada hipótesis se ha ponderado en acorde a este ajuste conformando un árbol lógico para el cálculo de peligrosidad. Los resultados de peligrosidad muestran un control claro de las fallas de la ZCBO en la peligrosidad para todos los períodos de retorno analizados, especialmente los de 2475 y 4975 años, incrementando los valores de aceleración pico del terreno (PGA) hasta ~1g en áreas próximas a las fallas (~20 km) respecto a modelos que no consideran fallas. Estos valores máximos se encuentran alrededor de las fallas de Alhama de Murcia y Carboneras, que son las de mayor tasa de actividad. Contrariamente, fallas con menores tasas de actividad tienen un impacto más limitado e incluso negligible (p.e., falla de Palomares). Los parámetros paleosísmicos, principalmente las velocidades de desplazamiento y sus incertidumbres, tienen un impacto claro sobre la peligrosidad sísmica y, para algunas fallas, la falta de estudios paleosísmicos detallados puede comprometer la fiabilidad de las estimaciones. Este es un punto de debate clave en el presente estudio que pone de manifiesto la importancia de los datos paleosísmicos, y la necesidad de obtener velocidades de desplazamiento mejor acotadas y fiables en la ZCBO.

SE04-11 CARTEL

## ENJAMBRES SÍSMICOS RECIENTES EN URUAPAN, MICHOACÁN (2020-2021)

Grupo de Trabajo del Servicio Sismológico Nacional
*Servicio Sismológico Nacional*
caridad@sismologico.unam.mx

La actividad sísmica en el estado de Michoacán es intensa. Históricamente, grandes terremotos han ocurrido a lo largo de la costa de este estado como consecuencia de la subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa de Norteamérica. Ejemplos de ello son los terremotos del 19 y 20 de septiembre de 1985 de magnitud 8.1 y 7.6, respectivamente, cuyos epicentros se localizaron en la costa del estado de Michoacán. Sin embargo, gran parte del estado de Michoacán se encuentra en la provincia geológica conocida como Cinturón Volcánico Transmexicano en la cual también se presenta importante actividad sísmica. Si bien en el catálogo del Servicio Sismológico Nacional existen un par de sismos de magnitud mayor a 6 en esa zona, la actividad sísmica en la región central del estado de Michoacán es por lo general de baja magnitud. En los años de 1999 y 2000 ocurrió un enjambre sísmico en las cercanías del volcán Tancítaro y durante mayo a junio de 2006 se registró otra secuencia sísmica con cerca de 1,000 sismos de bajas magnitudes. Recientemente, en el año 2020 el Servicio Sismológico Nacional registró un enjambre sísmico entre las fechas del 5 de enero al 10 de marzo, en el cual se calcularon 3,666 sismos con magnitudes menores o iguales a 4.1. Posteriormente la actividad sísmica disminuyó durante el resto del año. Sin embargo, a finales de mayo del año 2021 se reanudó la actividad en la región. A partir del 30 de mayo de 2021 a la fecha, el Servicio Sismológico Nacional ha reportado más de mil sismos, el mayor de ellos de magnitud 4.1. Este enjambre continúa en actividad actualmente. Ambos enjambres aparentemente están asociados al tectonismo regional y son producto del complejo estado de esfuerzos existente en la región geográfica cercana a Tancitaro-Uruapan, Michoacán. En este trabajo se presenta la metodología con la que se hace el análisis de estos enjambres sísmicos por parte del Servicio Sismológico Nacional, desde la identificación de los sismos que conforman los enjambres, la mayoría de los cuales son detectados pero por su baja magnitud no pueden ser calculados, hasta la difusión de la información y los reportes generados, así como un breve análisis de la evolución espacio-temporal de los enjambres sísmicos.

Sesión especial

# MODELACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL Y CORDEX

Organizadores:

Tereza Cavazos
Rosa Beatriz Luna Niño
María Laura Bettolli
Matías Méndez Pérez

SE05-1 PLÁTICA INVITADA

## ACHIEVEMENTS AND FUTURE CHALLENGES FOR CORDEX

Solman Silvina A.
*Centro de investigaciones del Mar y la Atmósfera, CONICET-UBA, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEN, UBA, ARGENTINA*
solman@cima.fcen.uba.ar

Since its inception during the late 2000s, CORDEX, the COordinated Regional Downscaling EXperiment, has been recognized as a well consolidated initiative of the World Climate Research Programme (WCRP). CORDEX has achieved enormous success in reaching its main goals: 1) improving the understanding of regional climate phenomena, variability and response to global warming; 2) assessing and improving downscaling techniques and methods; 3) providing coordinated downscaling products covering all continental areas of the world, including both dynamical and statistical approaches and 4) fostering communication and interaction with the end-user community. Several examples from the research community can be identified fulfilling these goals. A synthesis of the extent to which CORDEX has advanced in the regional climate science will be presented, with a special emphasis on the Central America CORDEX- CAM domain. However, even though the achievements reached so far are tremendous, there are a number of challenges that need to be considered in order to drive the future development of CORDEX forward. These challenges include increasing model complexity to embrace feedbacks that may be relevant for a better understanding of the regional climate response to external forcings, increasing model resolution reaching convection-permitting model configurations to better capture convection-related processes and expanding the multi-dimensional approach to allow for a better characterization of the uncertainty. The CORDEX community has already started pursuing these challenges, and some illustrative examples will be presented highlighting some preliminary results over some CORDEX regions. Finally, the envisioned future CORDEX developments will be discussed.

SE05-2

## VARIABILITY OF THE COLD FRONTS OVER THE CORDEX-CAM REGION UNDER THE INFLUENCE OF THE SUBTROPICAL JET STREAM DURING 1980-2010

Luna Niño Rosa y Cavazos Tereza
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
rluna@cicese.edu.mx

The objective of this study is to investigate the influence of the subtropical jet stream (STJ) on the frequency, intensity, and duration of the cold fronts (CFs) over the Coordinated Regional Downscaling Experiment —Central America, Mexico, and Caribbean domain (CORDEX-CAM) during 1980-2010. The CFs events were detected based on the daily drops of the potential temperature at 925 hPa and 850 hPa levels. We considered two patterns of the STJ over the region: 1) a zonal and intense STJ formed by an eastward extended Pacific jet and an equatorward Atlantic jet, and 2) a divided STJ formed by a retracted Pacific jet and a poleward Atlantic jet. The analyses were made with ERA5 and simulations with the regional climate model RegCM4.7 at 25 km resolution driven by ERA-Interim (RegERA) and three global models from CMIP5 (RegGCMs). The results show that the number of CFs is influenced mainly by the zonal pattern of the STJ. However, the duration and intensity of the events are not sensitive to the STJ position. A particular case is the Tehuantepec region, where more cold fronts arrive when the STJ is zonal and intense; these events are colder and have a shorter life than the climatological ones. The climatologies of RegERA and the RegGCMs are very similar to ERA5, they simulate the latitudinal variation of the frequency of CFs, and their maxima close the upper jet cores. However, there is a common overestimation of the number of events that arrive in the Tehuantepec region and the Caribbean Sea. Despite the biases, RegCM is able to simulate the climatology and interannual variability of the cold fronts. The model RegCM is reliable to investigate the winter cold front activity in a future period under climate change conditions.

SE05-3

## THE RELATIONSHIP BETWEEN THE ANOMALOUS CARIBBEAN LOW-LEVEL JET AND VERTICALLY INTEGRATED MOISTURE FLUX CONVERGENCE, AND ITS UNDERLYING MECHANISM

Corrales-Suastegui Arturo[1], Bayu Risanto Christoforus[1], Luna Niño Rosa[1], Williams Matthew[1], Saenz-Soto Fernan[1], García-Rosales Alan[1], Torres-Alavez José Abraham[1] y Cavazos Tereza[2]
[1]*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*
[2]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
corrales.arturo@inifap.gob.mx

Previous studies have found a strong relationship between the Caribbean Low Level Jet (CLLJ) and moisture transport for the summer precipitation over southern Mexico, Central America, and Caribbean regions. In this study, we examine anomalous strong events of the CLLJ and its relationship with the vertically integrated moisture flux convergence (VIMFC) during June and July when the CLLJ has its peak at 925 hPa. For this purpose we used simulations of the regional model RegCM4 driven by ERA- Interim 75 and three GCMs (HadGEM, MPI, and GFDL) over the COrdinated Regional climate Downscaling EXperiment (CORDEX) Central America (CAM) domain. We considered two 20-year periods, namely "present conditions" (1995-2014) and "far-future conditions" (2080-2099) under the scenarios RCP2.6 and RCP8.5. First, we assessed the model performance by comparing RegCM4 with the ERA5 reanalysis during the present period. Then, the detection of the intense events was done based on the 95th percentile of wind speed at 925 hPa in the core region of the CLLJ, the years with a high number of jet events were also identified. In general, RegCM4 simulated the wind climatology and the diurnal cycle of the CLLJ especially during June; in July, the model simulated a weaker North Atlantic Subtropical High (NASH) and therefore an underestimated CLLJ. It's important to note that RegCM4 driven by HadGEM showed the smallest bias relative to ERA5. Despite the biases, RegCM4 reproduced the number of events, their intensity and the spatial patterns of VIMC. We found small changes of the wind speed in the core of the CLLJ for both future scenarios. Keywords: Carribean Low Level Jet, CORDEX-CAM, RegCM4, moisture convergence.

SE05-4

## ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA DIARIA EXTREMA SOBRE EL DOMINIO CAM: TENDENCIAS E INTERCOMPARACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS REGIONALES DE CORDEX-CORE

Salas Hernán D.[1], Builes-Jaramillo Alejandro[1], Colorado Ruiz Gabriela[2], Fierro Lourdes M.[3] y Rodríguez González Marta P.[4]
[1]*Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Colombia*
[2]*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
[3]*Department of Hydrology and Atmospheric Sciences, The University of Arizona, USA*
[4]*Laboratory of Coastal Engineering Processes, UNAM*
hernan.salas@colmayor.edu.co

Existen pocas investigaciones sobre el desempeño de los modelos climáticos regionales (MCRs) para representar la precipitación y temperatura extrema en el dominio de Centroamérica, Caribe, y México (CAM). En esta investigación, se analiza la climatología y tendencia de los índices de precipitación y temperatura extrema para el dominio CAM del experimento CORDEX-CORE para el periodo 1981-2010. Para este fin, utilizamos un conjunto de índices para temperatura (DTR, TNn, TXx, tn10p, tx90p, wsdi) y precipitación (PRCPTOT, R95p, R99p, rx1d, rx5d). Se utilizaron dos bases de datos de referencia (CPC para temperatura y CHIRPS para precipitación), dos reanálisis (ERA5 y ERAI), y dos MCRs (REMO - RegCMv4.7). Ambos MCRs con simulaciones forzadas por ERAI (control) y dos modelos de circulación general (HadGEM y MPI). Para cada base de datos e índices utilizamos la prueba de Kendall no paramétrica y diversos métodos para la intercomparación de variabilidad espacial y temporal como: Diagramas de Taylor, diagramas de cajas y bigotes, funciones de distribución empíricas y mapas de sesgo. Además, el estudio hace énfasis en cinco regiones del dominio CAM [Sur de Norteamérica (SNA); Centro America (SCA), Región Caribe (CAR); Noroeste de Sur América (NSW) y Norte de Sur América (NSA)]. Las regiones más húmedas del dominio son NSA y NSW. Por otro lado, SNA muestra rango anual de temperatura más alto, mientras que en las regiones tropicales, como es de esperarse, la temperatura no cambia mucho alrededor del año. Los MCRs y los reanálisis sobreestiman los índices de precipitación extrema en SNA, SCA y NSW, mientras que en NSA los subestiman. En el caso de los índices de temperatura extrema se encontraron grandes diferencias espaciales con respecto a la base de datos de referencia (CPC). Respecto a las tendencias, las regiones NSW y SCA mostraron incrementos significativos en varios índices de precipitación, mientras que en NSA se encontraron tendencias negativas. Para la temperatura mínima, se encontraron tendencias positivas en todas las regiones. Estas tendencias fueron muy similares entre los reanálisis y MCRs. Este trabajo es una contribución al avance en la caracterización y cuantificación de las tendencias y la variabilidad de la precipitación y las temperaturas extremas en el dominio CAM utilizando información de los MCRs del experimento CORDEX-CORE. Palabras clave: CORDEX-CORE, precipitación, temperatura, índices, dominio CAM.

SE05-5

## PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ORINOCO SEGÚN LOS MODELOS DEL EXPERIMENTO CORDEX-CORE EN LOS DOMINIOS SAM Y CAM

Builes-Jaramillo Alejandro, Salas Hernán D., Valencia Juliana y Florian Carolina
*Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Colombia*
luis.builes@colmayor.edu.co

Evaluamos simulaciones de la precipitación desarrolladas por el experimento CORDEX-CORE sobre la cuenca del Río Orinoco, una de las cuencas hidrográficas más extensas de América del Sur, con un área aproximada de 1.0x106 km2, superficie comparable con la de Alemania y Francia unidos. Se tomaron ensambles de las simulaciones de los modelos climáticos regionales (MCR) RegCM4 y REMO para los dominios Centro América (CAM) y Sur América (SAM) del experimento CORDEX-CORE. Se construyeron ensambles con los resultados de cada MCR en cada dominio y se compararon con un ensamble de datos de referencia CHIRPS,

ERA5 y GPCC a escala temporal mensual para el periodo 1981-2010 y a una resolución espacial de 0.25°x0.25°. En cada dominio se calcularon los ciclos anuales de precipitación para la cuenca con el fin estimar de forma objetiva cuál de los ensambles presenta un mejor desempeño en la representación de la variabilidad anual. Además, se calculó la correlación lineal entre los ensambles de los modelos y los ensambles de los datos de referencia para cada pixel dentro de la cuenca y, se empleó la métrica M de Arcsin–Mielke que combina el error medio cuadrático, la varianza espacial y el promedio de los ensambles de los modelos y referencias. En términos de la representación del ciclo anual, todos los ensambles subestiman la precipitación en la cuenca, en el dominio CAM en un promedio de 32% y en el dominio SAM en un promedio de 22%. Durante la temporada húmeda en la cuenca (Abr-Sep), los ensambles en el dominio CAM subestiman la precipitación en 40%, mientras que los ensambles en SAM en un 18%. Esta primera exploración del ciclo anual indica que los ensambles en el dominio SAM presentan el mejor desempeño en la representación de la estacionalidad de la lluvia en la cuenca. Con respecto al análisis de las métricas calculadas para cada uno de los ensambles, se encuentra que la combinación REMO-SAM presenta el mejor desempeño, con un M de 718 y un coeficiente de correlación lineal promedio espacial r de 0.75. Nuestros resultados permiten concluir que para la precipitación en la cuenca del Río Orinoco y posiblemente en la zona del Norte de Sur América dónde coinciden los cortes CAM y SAM, es recomendable seleccionar aquellos resultados dentro del dominio SAM del experimento CORDEX-CORE para aplicaciones hidrológicas, análisis de adaptación o impactos según simulaciones de escenarios de cambio climático. Palabras clave: CORDEX-CORE, precipitación, desempeño de modelos, dominio SAM, dominio CAM.

SE05-6

## HEATWAVES IN PANTANAL USING CORDEX SIMULATIONS: IMPLICATIONS FOR FUTURE FIRE SCENARIOS

Laura Wil[1], Silva Patrícia S.[2], Geirinhas João[2], Lapere Rémy[3], Cassain Domingo[4], Alegria Andrés[5] y Campbell Jayaka[6]
[1]*Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Perú*
[2]*Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749–016, Lisboa, Portugal*
[3]*Laboratoire de Météorologie Dynamique, IPSL, Ecole Polytechnique, Palaiseau, France*
[4]*Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Ceará, Brasil*
[5]*Alfred Wegener Institute (AWI)*
[6]*Department of Physics, University of the West Indies, Mona Campus, Jamaica*
spc2@senamhi.gob.pe

The Pantanal biome, at the confluence of Brazil, Bolivia and Paraguay, is the largest continental wetland on the planet and therefore an invaluable reserve of biodiversity. The 2020 exceptional fire season, characterized by historical unprecedented compound dry and hot conditions, drew attention to the vulnerability of this ecosystem to fires. In this context, we seek to establish, for the first time, a link between heatwaves and fire in this region, and use this connection to evaluate possible future scenarios. An initial evaluation of historical burned area (BA) and precipitation over the Pantanal biome, using ECMWF's ERA5 reanalysis and MODIS MCD64A1 BA product, allowed to define the months from April to October as the dry season and August to October as the fire season. Using daily maximum temperatures from ERA5, we further compute a heatwave index (HWI) that illustrates the percentage of Pantanal that is under heat stress. Then, using a simple linear regression model, we show that there is a robust connection between the dry season HWI and the BA over the fire season, with HWI explaining 68% of the interannual variance of BA from 2001 to 2019. In parallel, using available simulations from the CORDEX experiment within the SAM-22 domain, we found that under future scenarios RCP2.6 and RCP8.5 there is a significant increasing trend in the HWI levels over the 21st century. RCP2.6, a stringent mitigation scenario, is associated with an increasing HWI that stabilizes slightly below 40% in the second half of the 21st century. Contrarily, RCP8.5, a high-emissions scenario, features a monotonic increase which starts to depart from RCP2.6 after the 2030's, leading to 80% of the region under heat wave by the end of the 21st century. Building on the newly evidenced statistical relationship between fires and heatwaves, the forecast HWI trends imply that even under the optimistic RCP2.6 scenario, the historic BA recorded in 2020 in Pantanal will become merely average in the near future, thus presenting a dramatic short-term threat to the ecosystem if no mitigation measures are undertaken.

SE05-7

## ÍNDICES CLIMÁTICOS EXTREMOS PARA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR: TENDENCIAS E INTERCOMPARACIÓN DE MODELOS REGIONALES CORDEX – CORE

Torrez Limbert[1], Balmaceda-Huarte Rocío[2], Lagos-Zúñiga Miguel[3], Lyra André[4], Olmo Matías[2], Pareja David[4], Regoto Pedro[4] y Bettolli María Laura[2]
[1]*Universidad de La Serena, Chile*
[2]*Universidad Buenos Aires (UBA) / CONICET, Argentina*
[3]*Universidad de Chile*
[4]*National Institute for Space Research (INPE), Brazil*
limbert.torrez@gmail.com

La necesidad de datos climáticos procedentes de modelos regionales ha tomado gran relevancia en varias regiones alrededor del mundo, principalmente porque estos constituyen una de las principales fuentes de información para la toma de decisiones en cuanto a riesgo de eventos extremos, exposición y vulnerabilidad al cambio climático para áreas habitadas. En este contexto, los ensambles CORDEX – CORE proveen información valiosa para mejorar nuestra compresión sobre fenómenos climáticos a escala local debido a su alta resolución, de aproximadamente 25km y 20km en los dominios SAM-22 y SAM-20, respectivamente. El objetivo de este estudio es evaluar la habilidad de tres modelos climáticos regionales (RCMs): RegCM4-7, REMO2015 y ETA en reproducir 1) extremos climáticos de temperatura y precipitación diaria, 2) distribución espacial en las regiones AR6 de América del Sur, 3) tendencias históricas además de analizar proyecciones para el periodo 2071 – 2100. Para este fin, se compararon cuatro índices definidos por el Equipo de Expertos en detección e índices del cambio climático (ETCCDI) para RCMs con dos productos observacionales grillados; la base de datos CPC y AgERA5 (información agrometeorológica derivada del reanálisis ERA5). Nuestros resultados muestran una gran variabilidad en las regiones AR6 para todos los RCMs analizados. Las condiciones de borde provistas por los modelos globales no tienen un gran impacto en los extremos históricos modelados, en comparación con el RCM. Estos RCMs modelan condiciones más cálidas que los productos observacionales, así como también intensificación en la precipitación para casi todas las regiones AR6.

SE05-8

## INFLUENCE OF EXTREME TEMPERATURES AND PRECIPITATION ON SOY AND MAIZE PRODUCTIVITY: OBSERVATIONS AND MODELING

Pántano Vanesa[1 y 2], Portalanza Diego[3 y 4], Zuluaga Cristian F.[5], Corrales-Suastegui Arturo[6], Benso Marcos[7], Castillo Natalia[8] y Solman Silvina A.[1 y 9]
[1]*Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Universidad de Buenos Aires, Argentina*
[2]*Consejo Nacional de Investigaciones Científica y Técnicas, Argentina*
[3]*Federal University of Santa Maria, Department of Physics, Climate Research Group, Brazil*
[4]*Federal University of Santa Maria, Department of Crop Science, Agricultural Meteorology Group, Brazil*
[5]*Federal University of Viçosa, Department of Agricultural Engineering, Brazil*
[6]*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*
[7]*São Carlos School of Engineering (ESSC), University of São Paulo, Brazil*
[8]*Center for Scientific Research and Higher Education at Ensenada (CICESE), Department of Physical Oceanography, Mexico*
[9]*Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera CIMA/CONICET-UBA, Universidad de Buenos Aires, Argentina*
vanesapantano@gmail.com

World agriculture production is affected by extreme temperature and precipitation events occuring during the growing stage of the crops. In South and Central America, where a large part of the economy depends on the production of commodities such as Soybean and Maize (SM), it is essential to design strategies for anticipating future climatic extremes. The objective of this study is to identify the influence of extreme climatic indices on SM yields using observations and Regional Climate Models (RCMs). With this aim, 11 extreme climate indices were calculated based on daily temperature and precipitation provided by reanalysis datasets (ERA5 and CPC) and CORDEX CORE RCMs. The growing SM stages were considered for their calculation over the period 1979-2004. A multiple regression model was built and results were compared with SM (detrended) yields provided by official governmental agencies. Based on this analysis, the main indices influencing productivity were identified. Results show that the indices related to temperature extremes, such as cold nights (TN10p), warm nights (TN90p), cold days (TX10p), warm days (TX90p), and daily temperature range (DTR), better contribute to the variance explained of the yields in comparison with precipitation extremes. In this regard, cold extremes reduce crop yields whereas warm extremes favor them. Additionally, extreme indices presented a major incidence in Brazil and Mexico than in Argentina. Then, to prepare the indices to assess future climate risks, the performance of the RCMs in representing the selected indices was evaluated. In general, extreme climatic indices are better simulated for the growing period of Maize. Extreme temperature indices present better performance than extreme precipitation indices. Consecutive wet and dry days present a small bias even though the inter-model spread is high. The index with the highest percentual bias and inter-model spread is the total precipitation above the 95th percentile. Also, the simulation values are closer to ERA5 than CPC. Finally, the validation process evidenced the need of applying bias correction techniques to simulated daily precipitation and temperature for a better performance of the indices derived from both variables. From an exploration of the quantile mapping approach,

parametric transformation's function (PTF) was chosen based on the goodness of fit. The next step of this study is the analysis of the impacts of RCM projections on SM yield variability. Based on the regression model performed over the indices selected and calculated from bias-corrected variables, a climate change impact assessment will be performed. Modelling results are expected to improve the knowledge on SM vulnerability to climate change while providing a tool for large scale decision making.

SE05-9

## EARLY-STAGES LOWER LEVEL STRUCTURE OF EXTRATROPICAL CYCLONES OVER SOUTH AMERICA: RCM ADDED VALUE AND FUTURE CHANGES

Pillar da Silva Natalia[1], Barnez Gramcianinov Carolina[1], Luna Niño Rosa[2], Andrade Cardoso Andressa[1] y Castillo Bautista Blanca Natalia[2]
[1] *Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo - Brazil*
[2] *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
natalia.pillar@usp.br

Cyclones are important weather systems that directly influence atmospheric variability at a range of timescales. Although the variability of storm tracks and cyclones during present and future climate has been investigated in global studies, a regional evaluation of climate change impact demands a regional approach. Over South America (CORDEX-SAM domain), three main active genesis regions were identified and since they present different development drivers, structural changes in cyclones over these regions are expected in future climate scenarios. In this context, the use of Regional Climate Models (RCMs) and the main differences in their results compared to Global Climate Models (GCMs) can offer insight into how climate change will impact regional features for cyclone development. The objective of this study is to investigate the added value of RCMs in representing early-stage cyclone structures during the historical period (1985-2005) and how these structures may change under the Representative Concentration Pathway (RCP) 8.5 scenario towards the end of the century (2080-2099). For this purpose, we used the reanalysis ERA5 (0.25° x 0.25°), the global model HadGEM2-ES (1.875° x 1.25°), and a regional downscaling simulation with the RegCM4.7 model driven by HadGEM2-ES (RegHad). Cyclones were identified with a vorticity-based algorithm and the structural analysis was performed with composites of lower level variables (e.g., sea level pressure, winds, and temperature advection at 850 hPa) in a 40° box grid centered at the cyclone center. Results indicate that HadGEM2-ES and RegHad underestimate genesis in the study regions and for all the seasons. However, the bias is lower with RegHad, especially over La Plata Basin (LPB) and South of Brazil (SBR), indicating a better representation of regional features associated with the cyclogenesis (e.g. orography, heat fluxes). The composites results also show smaller bias in the RegHad regarding temperature advection and winds when compared to the GCM, which reinforce the improvement of the fluxes representation by the RCM. Although there is not a significant signal of future changes in the number of cyclones, during the austral winter (JJA), HadGEM2-ES shows an increasing genesis over LPB and SBR that may be related to the strengthening of subtropical upper-level jet around 30°S and the upper-level divergence. The composites changes present a slight increase in the warm advection in the warm sector of the cyclone during the genesis in these regions, which indicates a strengthening of lower level baroclinicity and contribute to the cyclone development. Keywords: warm conveyor belt, regional modelling, storm track, cyclogenesis, western South Atlantic Ocean.

SE05-10

## SIMULACIONES DE PRECIPITACIÓN EXTREMA DIARIA EN EL MARCO DE LA INICIATIVA CORDEX-FLAGSHIP PILOT STUDY EN EL SUDESTE DE SUDAMÉRICA UTILIZANDO TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE ESCALA ESTADÍSTICA

Bettolli María Laura[1], Gutiérrez JM[2], Olmo M.[1], Balmaceda-Huarte Rocío[1], Iturbide M.[2], Baño Medina J.[2] y Huth R.[3]
[1] *Universidad de Buenos Aires-CONICET*
[2] *CSIC/Universidad de Cantabria*
[3] *Charles University in Prague*
bettolli@at.fcen.uba.ar

El sudeste de Sudamérica (SESA) es una de las regiones donde ocurren eventos extremos de precipitación asociados a sistemas de convección profunda y que tienen un gran impacto en las actividades socio- económicas de la región. La evidencia observacional ha mostrado un aumento progresivo de la frecuencia de estos eventos. En este contexto, la caracterización y el modelado de estos eventos extremos continúa siendo un desafío para la evaluación de proyecciones en un contexto de cambio climático. La iniciativa CORDEX-Flagship Pilot Study en SESA (FPS-SESA) aborda esta temática en base a experimentos coordinados utilizando distintos enfoques de reducción de escala que incluyen simulaciones con Modelos Climáticos Regionales con resoluciones que van desde la convección parametrizada hasta las que permiten la convección junto con modelos de reducción de escala estadística (ESD). En este trabajo, se presentan algunos resultados de esta experiencia colaborativa con foco en la intercomparación de distintos modelos de ESD que cubren técnicas de corrección de sesgo, modelos basados en la técnica de campos análogos, modelos lineales generalizados, redes neuronales y modelos combinados de tipos de tiempo y regresiones. Los modelos fueron calibrados y validados en el periodo 1979-2009 y testeados en el período independiente 2009-2010, período con un registro récord de eventos extremos. La sensibilidad a la elección del reanálisis para la calibración de los modelos ESD se realizó utilizando dos conjuntos de reanálisis ERA-Interim y JRA55. Los modelos se calibraron utilizando la base observacional de precipitación diaria en punto de enrejado MSWEP. Las comparaciones entre todas las simulaciones revelan que no existe un modelo único que se desempeñe mejor en todos los aspectos evaluados, evidenciando la necesidad de producir simulaciones por ensambles de multi-modelos.

SE05-11

## IMPACTO SOBRE LOS CAUDALES SIMULADOS DEL RÍO URUGUAY AL UTILIZAR FORZANTES RESULTANTES DE TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE ESCALA

Doyle Moira[1], Díaz Gonzalo[2], Olmo Matías[3], Bettolli María Laura[3], Chávez Laura[2], Solman Silvina A.[4] y Feijoo Martin[4]
[1] *Dto Cs de la Atmósfera y los Océanos - CIMA/CONICET - Universidad de Buenos Aires*
[2] *Servicio Meteorológico Nacional*
[3] *Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos - UBA - CONICET*
[4] *CIMA-CONICET-UBA*
doyle@cima.fcen.uba.ar

Las inundaciones son los eventos hidrológicos que mayor impacto causan a nivel global, por tanto, su predicción es crucial para la prevención de desastres. Entre las causas que pueden dar origen a este fenómeno, las precipitaciones extremas son de las más importantes. De ahí que es necesario poder contar tanto con una buena red de observaciones como con la mejor representación posible de los eventos dentro de los modelos meteorológicos. Entre los objetivos del proyecto "CORDEX Flagship Pilot Study in Southeastern South America: A comparative study of statistical and dynamical downscaling models in simulating daily extreme precipitation events" el cuarto es producir simulaciones para ser utilizadas como datos de entrada a modelos hidrológicos y agrícolas para estudiar el impacto de los eventos de precipitación extrema en sistemas productivos. En el marco de este proyecto, el objetivo de este trabajo es evaluar el impacto en los caudales simulados al utilizar forzantes obtenidos a través de métodos de reducción de escala. Dentro del SE de Sudamérica (SESA) la región seleccionada para el estudio es la cuenca del Río Uruguay dado que es una de las más activas económicamente y con una alta densidad de población, creando una alta demanda del agua para la agricultura, generación de energía, industria y consumo de la población, entre otras actividades. Para la simulación de los caudales del Río Uruguay se utilizó el modelo hidrológico semi-distribuido Variable Infiltration Capacity (VIC) de la Universidad de Washington, calibrado y validado previamente con observaciones de estaciones meteorológicas en la región contrastando con observaciones de caudales en 7 puertos de la cuenca, pero mostraremos resultados para los puertos de Paso de los Libres y Concordia. Las simulaciones se realizaron a paso diario utilizando como variables de entrada precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima provenientes de aplicar métodos de reducción de escala por parte de 2 modelos climáticos regionales dinámicos (WRF-UCAN, REGCM4-USP) y 4 modelos estadísticos basados en tres técnicas: análogos, modelos lineales generalizados y redes neuronales (AN_LS, GLM_ST_PC , GLM_WT_PC y NN_ST_L16). Se seleccionó como rango temporal para el análisis del impacto el período cálido entre octubre 2009 y marzo 2010. Este período se caracteriza por tener un número récord de eventos de precipitación extrema en SESA lo que permite analizar el impacto de varios eventos sin demandar un alto costo computacional de los modelos dinámicos. De los resultados preliminares obtenidos no se destaca un método de reducción de escala por sobre otro. Existe una buena representación de los caudales pero surgen diferencias particularmente en la magnitud de los eventos extremos como en el momento en que se detecta el evento. Es probable que esto se deba a diferencias que surgen tanto en donde los modelos ubican la región donde se produce la precipitación como con la cantidad de precipitación generada por el modelo. Asimismo, no pareciera ser un error sistemático en todos los modelos ya que al mirar eventos puntuales la representación por parte de algunos modelos se modifica considerablemente.

SE05-12 CARTEL

## PERFORMANCE OF THE REGCM4 IN SIMULATING CYCLONES THAT AFFECT THE WESTERN SOUTH AMERICA

Machado Crespo Natália[1], Simões Reboita Michelle[2], Marcos de Jesus Eduardo[1], Gozzo Luiz Felippe[3], Lagos Zúñiga Miguel Ángel[4], Torres José Abraham[5], Reale Marco[5], Torrez Rodríguez Limbert Fernando[6] y Porfírio da Rocha Rosmeri[1]
[1] *Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, Brazil*
[2] *Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Brazil*
[3] *Bauru Meteorological Centre (IPMET), Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Brazil*
[4] *Advanced Mining Technology Center, Universidad de Chile*
[5] *Earth System Physics, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Italy*
[6] *Universidad de La Serena, Chile*
natalia.crespo@iag.usp.br

Surface cyclones are the most important meso-synoptic scale systems responsible for organizing and redistributing moisture in the atmosphere. In the western coast of South America (SA) they commonly occur as extratropical, subtropical and

coastal lows (CLs). While over the eastern coast of SA their climatologies and cyclogenesis mechanisms are well known, this does not occur in the west side. Moreover, there are no studies showing the performance of regional climate models (RCMs) in simulating their main features. In that sense, this study aims to assess the performance of RegCM4.7 nested in three global climate models (HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR and NorESM1-M) and ERA-Interim reanalysis in simulating CLs and extratropical/subtropical cyclones affecting western SA as part of the CORDEX-CORE framework. An automatic scheme based on cyclonic relative vorticity is used to identify and track the cyclones and specific thresholds are applied to separate them in CLs and migratory cyclones affecting the coast (CAC) in the period 1995-2005. The results show that RegCM4.7 is able to simulate the genesis center of CLs as also the regions with high density of cyclones in the western SA (west of 71°W), with RegCM4.7 driven by HadGEM2-ES having the best spatial representation when comparing with ERA5. In terms of annual number of CLs, ERA5 shows about 18 ± 6 cases per year with RegCM4.7 underestimating about 17% of this number; seasonally, ERA5 presents about 11 ± 3 in DJFMAM and 7 ± 2 in JJASON whereas the simulations underestimate (overestimate) this number of about 45% (14%) in DJFMAM (JJASON). Further analysis will be shown in respect to CAC.

SE05-13 CARTEL

## EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LA EVAPOTRANSPIRACIÓN SIMULADAS POR LOS MODELOS CLIMÁTICOS REGIONALES EN LA CUENCA DEL AMAZONAS Y LA CUENCA DEL PLATA

Builes-Jaramillo Alejandro[1] y Pántano Vanesa[2]
[1]*Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Colombia*
[2]*Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Universidad de Buenos Aires, Intendente Güiraldes 2160, Pabellón 2, piso 2, Ciudad Universitaria, C1428EGA Buenos Aires, Argentina*
luis.builes@colmayor.edu.co

En este trabajo se analizó el desempeño de los Modelos Climáticos Regionales (MCR) RegCM4 y RCA4 del experimento CORDEX en la simulación de precipitación y evapotranspiración en las dos cuencas hidrológicas más grandes de América del Sur, la cuenca del Amazonas (AMB) y la Cuenca del Plata (LPB). Los ensambles de las simulaciones de los MCR se compararon con ensambles de los Modelos Climáticos Globales (MCG), de la fase 5 del Proyecto de intercomparación de modelos acoplados (CMIP5), y con conjuntos de datos de referencia (GPCC / GLEAM) y reanálisis (ERA5) para el período 1986–2005 a una resolución espacial de 0.5°x0.5°. Se calcularon métricas de desempeño espacial y temporal para los conjuntos de datos mensuales y a escala anual. Por lo tanto, este estudio facilita la selección de un MCR, mediante la comprensión de sus limitaciones ya que brinda un panorama completo del comportamiento de los ensambles. En el caso de los estudios hidrológicos que se basan en el análisis temporal de las variables, será conveniente seleccionar el MCR que representa mejor la variabilidad temporal de precipitación y evapotranspiración en la cuenca. Los ciclos anuales y la distribución espacial están bien representados por ambos MCR, mientras que las distribuciones de frecuencia empírica revelan discrepancias en las frecuencias más bajas. En términos de desempeño espacial de los MCR, las métricas cuantitativas mostraron que los campos medios se simulan mejor por RCA4 y solo RegCM4 ofrece valor agregado con respecto a los MCG. La variabilidad temporal está bien representada en LPB por ambos MCR, la mayoría de los valores simulados se encuentran dentro de la variabilidad temporal de los datos de referencia. En AMB, las diferencias son mayores para la precipitación, variable para la cual las simulaciones de RegCM4 son más cercanas a GPCC. Además, el ensamble de RegCM4 es más robusto ya que la dispersión entre los miembros es menor que la variabilidad natural. De acuerdo con la evaluación general de los resultados espacio-temporales y las métricas de desempeño, el ensamble de RegCM4 muestra un mejor desempeño a pesar de que el número de miembros es menor. En conclusión, el desempeño de cada MCR puede dar indicios de su aplicabilidad o uso en diferentes sectores. Palabras clave: CORDEX, modelos climáticos regionales, ciclo hidrológico

SE05-14 CARTEL

## SOIL MOISTURE INTERANNUAL VARIABILITY LINKS TWO SOUTH AMERICAN LAND-ATMOSPHERE COUPLING HOT SPOTS

Giles Julián Alberto, Ruscica Romina Carla y Menéndez Claudio Guillermo
*Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, CIMA (UBA-CONICET)*
julian.giles@cima.fcen.uba.ar

The land-atmosphere interaction plays an important role in modulating climate variability at different spatial and temporal scales. Two recognized soil moisture-atmosphere coupling hot spots are located in southeastern South America (SESA) and eastern Brazil. Soil moisture (SM) variability may not only alter the climate locally, but also have nonlocal impacts through variations in the regional circulation. Here we explore how these local coupling hot spots interact with each other, how SM variability modulates the regional circulation, and which is the nonlocal impact on precipitation. To this end, we analyze numerical experiments which allow us to isolate the influence of the SM interannual variability on the regional climatology. We run the SMHI RCA4 - one of the models in the CORDEX project - over the South American continent and adjacent oceans at 0.5º resolution driven by ERA-Interim. Two RCA4 simulations specifically designed for land surface-atmosphere coupling studies were used: a control run (CTL) and a second run where the land surface is uncoupled from the atmosphere (UNC) by prescribing the SM of each time step with the corresponding CTL SM climatology of the given day. Then, the CTL and UNC simulations have identical SM climatologies, but in UNC the SM does not respond to either precipitation or evapotranspiration. Hence, the UNC run eliminates all SM variabilities except for its climatological annual cycle. We show the averages for the period October-March 1998-2012 and validate RCA4 against the ERA5 reanalysis. When the soil moisture-atmosphere interaction is enabled (CTL), we proposed a nonlocal coupling mechanism that links both hot spots, favoring precipitation in eastern Brazil in detriment of the precipitation in SESA through shifts in the regional circulation, compared to the UNC simulation. The coupling promotes warmer and drier conditions in both hot spots and leads to an anomalous thermal low in eastern Brazil, which enhances low-level wind convergence and upward motion, promoting more precipitation. A cyclonic (anticyclonic) wind perturbation develops at lower (upper) tropospheric levels. Consequently, two branches of processes get triggered: (1) the low-level circulation between 0-20°S shifts towards eastern Brazil and slows down the northerly winds in SESA, thus reducing the moisture flux into higher latitudes; (2) compensatory subsidence develops at mid levels in SESA as a consequence of the upward motion in eastern Brazil and the upper-levels anticyclone. Then, the combination of decreased moisture flux convergence and suppressed upward motion reduces the total precipitation in SESA. The proposed mechanism is somehow related to the dipole-like variability of precipitation between SESA and the South Atlantic Convergence Zone. Our study suggests that the land-atmosphere interaction, and the resulting interannual variability of SM, also have the potential to modulate the dipole-like variability. Since SM adds memory to the climate system, our results could contribute to precipitation predictability studies in the region. Furthermore, in a context of climate change, the evolution of the regional climate will be modulated by the co-evolution of the two land-atmosphere coupling hot spots.

SE05-15 CARTEL

## EXPLORACIÓN DE TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE ESCALA ESTADÍSTICA PARA SIMULAR LA PRECIPITACIÓN EXTREMA EN EL SUDESTE DE SUDAMÉRICA

Olmo Matías Ezequiel[1,2 y 3], Balmaceda-Huarte Rocío[1,2 y 3] y Bettolli María Laura[1,2 y 3]
[1]*Department of Atmospheric and Ocean Sciences, Faculty of Exact and Natural Sciences, University of Buenos Aires (DCAO-FCEN-UBA)*
[2]*National Council of Scientific and Technical Research (CONICET), Buenos Aires, Argentina*
[3]*Institut Franco#Argentin d'Estudes*
molmo@at.fcen.uba.ar

En este trabajo se evaluó el desempeño de múltiples métodos de reducción de escala estadística (ESD) para simular la precipitación diaria sobre el sudeste de Sudamérica (SESA) durante 1979-2017, una región donde los extremos son notables. Se utilizaron como referencia estaciones meteorológicas y se incluyeron tres bases reticuladas de precipitación para tener en cuenta la incertidumbre observacional. El conjunto de modelos estadísticos involucraron diferentes configuraciones del método de análogos (AN), versiones determinísticas y estocásticas de modelos lineales generalizados (GLM) y redes neuronales (NN) y GLM condicionados por patrones de circulación sinóptica (GLM_WT). Se evaluó la variabilidad espacio-temporal de los extremos analizando su intensidad, extensión espacial, frecuencia y variabilidad interanual. Los modelos de ESD lograron reproducir satisfactoriamente varios aspectos de la precipitación diaria, mientras que la dispersión entre modelos generalmente estaba contenida dentro de la incertidumbre observacional. Ninguna configuración de predictores o modelo en particular funcionó mejor en todos los aspectos, lo que marca la ventaja de considerar un ensamble multi-modelo. Los AN tendieron a seguir a las estaciones de referencia, simulando satisfactoriamente la precipitación diaria y sus extremos. Los GLM determinísticos subestimaron fuertemente la precipitación y no fueron capaces de representar las frecuencias e intensidades extremas. Sin embargo, esto fue aliviado empleando una versión estocástica del método. Además, el uso de patrones de circulación para condicionar los GLM (GLM_WT) mejoró considerablemente el rendimiento de los modelos, particularmente para la representación del ciclo anual y la estructura espacial de las precipitaciones extremas. Las NN reprodujeron adecuadamente el comportamiento espacial y la variabilidad intra-anual de la precipitación extrema, aunque subestimaron su intensidad en la versión determinística. Un análisis de las series interanuales de extremos mostró consistencia entre los conjuntos de datos y evidenció la influencia del fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur durante los años húmedos, que comúnmente fueron bien simulados por los modelos estadísticos. De esta forma, los modelos de ESD presentaron buenas habilidades para simular un clima más húmedo en SESA, lo cual es de particular importancia en un escenario de cambio climático.

Sesión especial

# SISMOTECTÓNICA EN EL VALLE MEXICALI-IMPERIAL, REGIÓN FRONTERIZA MÉXICO-USA

Organizadores:
Mario González Escobar
Joann M. Stock
J. Javier González García

SE07-1

## SISMOTECTÓNICA DEL VALLE IMPERIAL-MEXICALI (1973.5-2023.5) A 50 AÑOS DE LA FUNDACIÓN DEL CICESE (PARTE 1)

González-García José Javier
*CICESE*
javier@cicese.mx

En junio de 1973 el US Geological Survey concluyó la instalación de una red sismológica local de once estaciones en Imperial Valley California. como parte de la densificación de la red del sur de California. El 18 de septiembre del mismo año se creó por decreto Presidencial el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C., para ese entonces ya existía personal técnico y científico encargado del mantenimiento de la entonces red del Golfo de California que había sido construida por SIO-UCSD, UNAM y CFE desde inicios de 1971 utilizando sismómetros Benioff con registro en papel fotosensible. En 1976 CICESE contaba con 5 registradores en papel ahumado MEQ-800 y sensores Ranger SS1 de 1Hz de periodo. Este último equipo se utilizó en el registro de preeventos y réplicas del sismo Mesa de Andrade (M5.5) del 7 de diciembre de ese año. En 1977-78 con el apoyo del Instituto de Investigaciones Eléctricas, se realizó con este equipo y poco más el registro de la sismicidad del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, utilizándose por primera vez sensores en posición horizontal, lo que permitió la lectura del arribo S con un error menor a 0.1 s. Con el análisis de estos datos en conjunción con los de la red al norte de la frontera escribí mi tesis y obtuve el grado de Maestro en Ciencias (1986); parte de los resultados se presentan en un artículo publicado en la American Association of Petroleum Geologist (1991), en coautoría con José Frez, mi director de tesis. En el Valle de Mexicali de 1977 a 1980 se localizaron ~500 sismos M>2.0, con buen control hipocentral dado que la mayoría se registró a una distancia epicentral menor que la profundidad estimada. En la zona sísmica de Mexicali ubicada entre los epicentros del temblor Imperial al norte y Mexicali al sur, los sismos ocurren entre los 3.5 y 9.5 km de profundidad. No existe traslape entre el enjambre de sismos de marzo de 1978 y las réplicas del temblor de 1980 ambas secuencias representan el 65% de los epicentros aquí calculados.

SE07-2

## SISMOTECTÓNICA DEL VALLE IMPERIAL-MEXICALI (1973.5-2023.5) A 50 AÑOS DE LA FUNDACIÓN DEL CICESE (PARTE 2)

González-García José Javier
*CICESE*
javier@cicese.mx

El Valle Imperial Mexicali se ubica entre 31.80 y 33.33n, y 114.7 y 116.3w, desde el extremo SE del Mar Salton y hasta el norte de la Isla Montague y desde el pie de Sierra Juárez hasta la falla Algodones. Con referencia al polo de rotación relativo entre las placas Pacífico y Norteamericana se ubica entre las colatitudes 34.23-34.90 y los azimutes 45.61-47.44; la velocidad teórica de acuerdo con el modelo geodésico Geodvel es de 49.1 mm/año. Las fallas principales son Imperial, Cerro Prieto y Laguna Salada; el noroeste de la falla Imperial se conecta al extremo SE de la falla San Andrés segmento que no ha tenido un sismo importante en cerca de 300 años; las fallas Imperial y Cerro Prieto se conectan con el centro de dispersión oceánico Cerro Prieto donde se ubica el campo geotérmico y la falla Cerro Prieto se continua al SE con la Cuenca Wagner que alberga el centro de dispersión del mismo nombre. La actividad sísmica en la región es del tipo de sismo principal réplicas y son comunes los enjambres sísmicos, que han llegado a M5.0-5.5. Ambos tipos de sismicidad se asocian a lineamientos tectónicos que suelen cruzarse ortogonalmente y que de acuerdo con su orientación presentan mecanismos a deslizamiento de rumbo derecho e izquierdo siendo los sismos con deslizamiento a rumbo NW los que liberan la mayor cantidad de momento sísmico; también se presentan sismos con mecanismo de deslizamiento normal y aun inverso. La sismicidad entre las fallas San Andrés e Imperial y Cerro Prieto se denominan Zona Sísmica de Brawley y Zona Sísmica de Mexicali, respectivamente, conformando una región de forma lenticular cuyos extremos para la parte de la Zona Sísmica de Mexicali son los sismos Imperial de 1979 y Mexicali de 1980 además con un enjambre ocurrido en 2008 y las réplicas del sismo El Mayor-Cucapah (EMC) se ha definido una zona de actividad sísmica al oeste de la falla Cerro Prieto que parece tener congruencia con la existencia de un supuesto centro de dispersión: Panga de Abajo. Dentro del valle Imperial-Mexicali han ocurrido 86 eventos de Mag>= 4.7, siendo los cinco mayores: El Mayor-Cucapah 7.2 (2010), Superstition Hills 6.6 (1987), Imperial 6.4 (1979), Mexicali 6.3 (1980) y Westmoreland 6.2 (1987). La actividad sísmica ha provocado rupturas superficiales como la falla Imperial en su sector norte, Superstition Hills, Elmore Ranch, Laguna Salada, Borrego y la falla Indiviso, anteriormente desconocida. Los lineamientos sísmicos sugieren fallas como Puente-Cruz, Mayor Hardy y El Peligro; además las imágenes interferométricas de apertura sintética (InSar) y LandSat sobrepuestas en Google Earth indican fallamientos cosísmicos al temblor EMC como las fallas Fielding y Nelson en el extremo sur de la falla Indiviso.

SE07-3

## SISMOTECTÓNICA DE LA REGIÓN CALIFORNIA-BAJA CALIFORNIA

Ramírez Erik[1], Stock Joann Miriam[2], Ross Zach[2],
Vidal-Villegas J. Antonio[3] y Ramírez-Hernández Jorge[4]
[1]*California Institude of Technology, Caltech/Instituto de Ingeniería-UABC*
[2]*Caltech*
[3]*CICESE*
[4]*Instituto de Ingeniería, UABC*
eramirez@caltech.edu

Fallas en la región norte de Baja California, cartografiadas y desconocidas hasta el momento de la ruptura, han generado sismos de gran magnitud los cuales han causado daños en la infraestructura civil, canales de riego, cultivos, etc. En este estudio se construyó un nuevo catálogo sísmico (2012-2020) analizando los registros de las redes que operan en la región fronteriza California-Baja California con técnicas “deep learning” para la eventual caracterización en 3D de la geometría de dichas zonas de fallas. Para este estudio se contaron con las formas de onda continuas de las estaciones de banda ancha de la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM) así como de las estaciones cercanas a la frontera California- Baja California pertenecientes a la Red Sísmica del Sur de California (SCSN). La base de datos comprende 9 años (2012-2020), tiempo aproximado en que se actualizó la instrumentación y mejoró la cobertura de RESNOM en la región (después de la ocurrencia del sismo de 4 de abril de 2010 El Mayor-Cucapah). Para mejorar la caracterización de sismos pequeños (M<1.5) se analizaron las formas de onda con técnicas “deep learning” para detectar arribos de onda P y S de las bases de datos combinadas, así como para la asociación de las fases detectadas como sismos (PhaseLink). Tras los análisis “deep learning”, realizamos las localizaciones hipocentrales usando Non-Linear Location: construyendo modelos de velocidad para la región, cálculo de tiempos de viaje y localización probabilística, no lineal, en la estructura de 3 dimensiones. Los catálogos anuales derivados de la detección y asociación de fases, así como de la localización hipocentral, tienen una cantidad de entre 2-4 veces más sismos que lo que reporta el catálogo de RESNOM para cada periodo anual. El completar el catálogo de sismos pequeños, así como contar con localizaciones hipocentrales precisas, ayudará a constreñir la geometría de fallas activas de la región, incluidas areas en donde no se han reportados rupturas superficiales o fallas.

SE07-4

## INVESTIGATING THE STRUCTURE OF THE ‘SAND HILLS FAULT’ NEAR THE SALTON SEA THROUGH DIFFUSE CO2 DEGASSING MEASUREMENTS

Berne Alexander[1], Oze Christopher[2], Farrar Christopher[3] y Stock Joann Miriam[1]
[1]*California Institute of Technology, Caltech*
[2]*Occidental College*
[3]*US Geological Survey (retired)*
aberne@caltech.edu

Carbon Dioxide (CO2 ) is continuously discharged from volcanic systems with shallow subsurface magma chambers (Irwin and Barnes, JGR,1980). In these regions, faulted rock exhibits a higher permeability than surrounding country rock and can act as a conduit to guide released CO2 to the surface. Past CO2 degassing surveys demonstrate a strong spatial dependence of diffuse CO2 emissions (e.g., soil degassing) on the position of mapped geologic faults elsewhere (Poret et al., JVGR, 2019; Sun et al., FES, 2021). Near the Salton Buttes, a volcanically active area in the Imperial Valley at the southeastern end of the Salton Sea in Southern California (USA), a suspected fault structure known as the Sand Hills Fault (Wister Mud Pot Lineament) correlates with the position of numerous ‘mud pots’ (e.g., structures which actively vent CO2) (Lynch and Hudnut, BSSA, 2008). The trace of the Sand Hills Fault coincides with the possible location of a now-abandoned portion of the Southern San Andreas Fault; confirmation of its existence would therefore constrain tectonic evolutionary models of the Salton Trough. However, despite its importance, only very limited geologic or geophysical evidence exists for a fault structure in the area (Elders et al., Science, 1972). This structure is not presently seismically active and lies east of the seismicity that has been recorded in the Brawley Seismic Zone. We conducted a regional CO2 ground flux survey to identify the spatial pattern of diffuse degassing around the Sand Hills Fault. Measurements are conducted near known mudpot locations in the Wister Unit, a location at the southeast of the Salton Sea which coincides with the northwestern segment of the Sand Hills Fault. CO2 emitted from the ground is collected into a control volume housed with an Arduino-based NDIR CO2 sensor. Change in CO2 concentration in the control volume per unit time is used to determine ground flux at a particular location. Using collected field data, we generate 2D spatial maps of CO2 ground flux at two sampled sites. Ground flux values vary from 0-2 g/m^2/day (background) to ~1000 g/m^2/day and typical degassing structures vary from between approximately 1 to 3 meters in width. Additionally, degassing structure azimuths are consistent with a regional southeastward extension of the San Andreas Fault. From these data, we determine that degassing structures are an expression of an underlying regional fault structure, and thereby provide additional evidence for the existence of the Sand Hills Fault.

SE07-5

## LA FALLA IMPERIAL EN EL VALLE DE MEXICALI

González-García José Javier
*CICESE*
javier@cicese.mx

El terremoto del "Cuarenta" acontecido en la noche temprana del domingo 18 de mayo de 1940 fue ampliamente sentido por la comunidad ejidal en el Valle de Mexicali. Al amanecer del día 19, muchos de ellos fueron sorprendidos por "las grandes zanjas originadas por la falla de San Andrés que llegaban hasta el delta del Rio Colorado". El temblor (El Centro, Ca.,M6.9) provocó la ruptura de 60 km a lo largo de la falla Imperial, hasta entonces desconocida, desde 7 km al norte del poblado Imperial, California, hasta el canal Solfatara en Mexicali: 30 km en EUA y 30 km en México. En 1989 realizamos la observación de campo palmo a palmo de la traza de la falla en Mexicali, resultando que el movimiento predominante al NW del Ejido Tamaulipas fue lateral derecho y al SE vertical con echado al SW. Aquí comparamos fotografías aéreas oblicuas obtenidas horas después de su ocurrencia por el Imperial Irrigation District, con fotografías a nivel de terreno obtenidas desde 1989 con dicho propósito y con la perspectiva que inigualablemente proporciona Google Earth. Tres sitios pueden destacarse: 1) 32.67430*, 115.35765* donde una hilera de pinos fue "cortada por el terremoto", en este sitio se excavó una zanja para estudiar el deslizamiento cosísmico por el Dr. Tom Rockwell y su grupo, resultando en ~5m; 2) 32.55174*,115.23727 en donde otra hilera de pinos fue desplazada cosísmicamente ~2m al igual que la línea férrea paralela, ahora no existente, a este sitio me condujo el Dr. James Brune y 3) 32.42197, 115.12905 en la carretera del Ejido Saltillo donde la ruptura del pavimento causada por un sismo de M4.2 en enero de 1977 tiene actualmente una diferencia de nivel de ~2.5m, debida probablemente a extracción de fluido del campo geotérmico de Cerro Prieto. La falla Imperial no sufrió ruptura al SE del epicentro del temblor de 1979 (M6.4) y no se ha detectado movimiento asísmico en el sector mexicano al norte del poblado Torchosa como sí ha ocurrido al norte de la frontera. Movimiento vertical al sur del poblado Torchosa ocurre en el sector NE del centro de dispersión de Cerro Prieto. ¿Qué riesgo sísmico tiene para la ciudad de Mexicali? ¿Es suficiente la instrumentación presente para su observación sísmico-geodésica correcta? Tenemos la presencia, afortunada, de la falla Imperial en nuestro jardín, no perdamos la oportunidad de medirla apropiadamente para su valoración científica.

SE07-6

## TASAS DE DESLIZAMIENTO Y MOMENTO SISMICO ACUMULADO EN LAS PRINCIPALES FALLAS DEL VALLE DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

González-Ortega Alejandro[1], Velázquez Zaguilan Arisai[2], González Garcia Javier[1] y Sandwell David[3]
[1]*Centro de Investigación Cientifica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
[2]*Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH*
[3]*Scripps Institution of Oceanography, UCSD*
aglez@cicese.mx

El Valle de Mexicali, Baja California, México es una zona sísmicamente activa que presenta sismos de magnitud considerable como el evento El Mayor-Cucapah Mw7.2 ocurrido en el 2010. Utilizando datos de estaciones de Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) temporales y permanentes durante el 2011 hasta 2019, se estimaron las tasas de deslizamiento para las principales fallas de la región: Cerro Prieto, Imperial, Indiviso, así como de la zona de deformación Sierra Cucapah-Laguna Salada. Las series de tiempo GPS se calculan con el programa GAMIT/GLOBK en el marco de referencia ITRF2008-Norteamerica. Posteriormente, las velocidades de cada uno de los sitios geodésicos se calculan por medio del ajuste lineal de mínimos cuadrados con errores y se proyectan al rumbo de las fallas. Los gradientes de velocidad transversales a las fallas se modelan como una dislocación en un semiespacio elástico y homogéneo que describe la acumulación de deformación elástica para obtener las tasas de deslizamiento. La tasa de deslizamiento para la falla Imperial es 32.7±0.9 mm/año, para la Cerro Prieto 28.2±1.2 mm/año y 10.7±0.9 mm/año para la Indiviso; todas con profundidad de bloqueo entre 5-6 km, encontrándose que la relajación posísmica de El Mayor-Cucapah no afecta significativamente en la estimación de las tasas de deslizamiento. Con dichos valores, parámetros geométricos de las fallas y sismicidad reciente, la acumulación de momento sísmico en la falla Imperial es 3.67x1024 ±5.97x1023 dinas·cm/año y en la falla Cerro Prieto 4.69x1024±7.64x1023 dinas·cm/año, lo suficiente como para producir sismicidad con magnitud 6.7. Dichos valores pueden coadyuvar a la estimación del peligro símico en la región del Valle de Mexicali.

SE07-7

## CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES EN LA CUENCA PULL-APART CERRO PRIETO, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, A PARTIR DE UN PERFIL DE SÍSMICA DE REFLEXIÓN

González Escobar Mario[1], Aladro-Chio Young Ho[1], Reyes-Martínez Carlos Simón[2], Gallegos-Castillo Cristian A.[1] y Arregui Ojeda Sergio Manuel[1]
[1]*CICESE*
[2]*UANL*
mgonzale@cicese.mx

Caracterizamos la arquitectura de la corteza a lo largo de un perfil sísmica de reflexión y auxiliados por un reporte de la presencia de rocas ígneas a diferentes profundidades en pozos geotérmicos, de la cuenca Pull-Apart Cerro Prieto, localizado en Baja California, México. Los datos interpretados proporcionan evidencia de deformación estructural y características sismoestratigráficas. Se tiene la presencia de dos cuencas; Pull-Apart Cerro Prieto y Cachanilla. El escenario regional de la primera exhibe deformaciones asociadas con las fallas transformantes Cerro Prieto e Imperial. La estructura de esta cuenca tiene la forma de un graben en lugar de un semigraben como se ha estado asumiendo. Se observa una subsidencia significativa en su parte central, así como la presencia de diques y sills. Se cree que estos cuerpos se originan en profundidad y emergen en el Pull-Apart, cortando una sección de la corteza continental. Se identificaron dos reflectores sísmicos prominentes, uno de los cuales corresponde al límite superior de sedimentos consolidados y no consolidados. Se producen grandes amplitudes entre el primer y el segundo reflector. Este horizonte sísmico se considera asociado a la zona de producción del reservorio geotérmico y puede contener el cuerpo que sirve para sellar dicho reservorio. El basamento acústico se observó en un pequeño sector al oeste de la falla de Cerro Prieto, cuya profundidad coincide con la reportada en un pozo. Por otro lado, se presenta por primera vez características de la cuenca de Cachanilla, localizada al suroeste de Cerro Prieto. Esta cuenca contiene características sísmicas similares a las observadas en la de Cerro Prieto, pero los cuerpos volcánicos ubicados en ella pueden originarse en la falla Cerro Prieto, que puede estar generando magma a grandes profundidades, por lo que esta cuenca puede como un área de oportunidad geotérmica.

SE07-8

## DIMENSIONES Y FORMA DE LA CUENCA PULL-APART CERRO PRIETO, EN BASE A SÍSMICA DE REFLEXIÓN. RESULTADOS PRELIMINARES

González Escobar Mario, Aladro-Chio Young Ho, Ruiseco-Martínez David Orlando, Arregui Ojeda Sergio Manuel, Gallegos-Castillo Cristian A., Mastache-Román Edgar A. y Mendoza-Borunda Ramón
*CICESE*
mgonzale@cicese.mx

La región del Valle de Mexicali, Baja California, México, se encuentra dentro de la depresión del Salton, una estructura que es parte del límite transtensional entre las placas del Pacífico y de América del Norte. Dentro de ésta depresión se ubican varias cuencas, entre ellas la del Pull-Apart Cerro Prieto y que contiene el campo geotérmico del mismo nombre. Esta cuenca representa un incipiente centro de dispersión y conecta las fallas transformantes Imperial y Cerro Prieto. Existe un consenso general respecto a la interpretación tectónica de la cuenca incluida su forma y dimensiones y en este trabajo abordamos el problema de reevaluarlas. Disponemos de datos de sísmica de reflexión 2D, de la actividad sísmica así como de más información geofísica. De los resultados, se observa que la falla Murguía hasta ahora desconocida, puede ser la estructura que conecta la falla Imperial con Cerro Prieto y se considera el límite sureste de la cuenca. La falla Pátzcuaro, tambien desconocida, controla un gran espesor sedimentario que no forma parte de la cuenca. Se observa una tendencia de actividad sísmica oblicuo a la falla Cerro Prieto sin correlacionarse con alguna estructura conocida, pero coincidente con el límite noroeste de la cuenca Montague. La falla Murguía y Pátzcuaro son estructuras back-to-back, vecinas, pero con dominios estructurales diferentes. Se observa que la forma del Pull-Apart es romboidal sigmoidea y que su presencia esta 35 km más al sureste de lo reportado en la literatura. La cuenca Cerro Prieto presenta un área de aproximadamente 310 km2 en lugar de los 183 km2 reportados. La región sureste de la cuenca se considera una zona de oportunidad geotérmica dadas sus características tectónico-estratigráficas, además de que se localiza en la vecindad del prospecto Riíto.

SE07-9

## ANATOMÍA DEL SUROESTE DEL DELTA DEL RÍO COLORADO, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO; A PARTIR DE SÍSMICA DE REFLEXIÓN

González Escobar Mario, Arregui Ojeda Sergio Manuel, Gallegos-Castillo Cristian A., Mastache-Román Edgar A. y Mendoza-Borunda Ramón
*CICESE*
mgonzale@cicese.mx

El delta del río Colorado, ubicado a lo largo del límite de placas de Norte américa y la del Pacífico, constituye un excelente ejemplo de cuenca Pull-Apart, complejidad estructural, subsidencia y alto riesgo sísmico, entre otras cosas. Parte del delta se localiza en el Valle de Mexicali, Baja California, México, donde las fallas transformantes Cerro Prieto e Imperial definen el límite de la placa en esta latitud. En este trabajo se realiza un estudio en base a sísmica de reflexión sísmica 2D multicanal e integración de datos geológicos y geofísicos previamente publicados, lo cual proporcionan una importante pieza de evidencia para representar la arquitectura de la tectónica en este sector. Los datos brindan nuevos conocimientos sobre la cuenca Montague hasta ahora poco conocida y que se ubica entre los Pull-Aparts Cerro Prieto (en tierra) y Wagner (en el mar). La cuenca Montague cubre un área de ~ 250 km2, con una longitud de ~ 90 km, un ancho de 30 km entre Cerro Prieto al este y la falla de Pangas Viejas al oeste, con profundidades mayores a 5km. La cuenca Montague se considera en base a la información disponible como una cuenta transformante paralela strike-slip. La deformación ocurre principalmente en los bordes de la cuenca, a lo largo de la falla Cerro Prieto en dirección noreste y al suroeste en las fallas Pangas viejas y Yurimori, así como en el sector sur. Se observa una gran cantidad de fallas, la mayoría de las cuales eran desconocidas porque están sepultadas. El basamento acústico está presente principalmente en el sector oeste, y no se observa en la parte central de la cuenca. Las facies de abanicos aluviales están presentes hacia el oeste, provenientes de Sierra Las Pintas. La Fallas Santa Clara 01 y 02, delimitan la Ciénega Santa Clara y presentan gran subsidencia. La falla Yurimori es semi-paralela a Pangas Viejas y muestra una gran deformación en un sector a nivel de basamento; Las fallas de Ometepec y La Salina, en el sector suroeste presentan dirección oblicua respecto a la falla Cerro Prieto y podrían estar asociadas con la Cuenca Wagner, en el Golfo de California. La sismicidad cambia en el borde sur de la falla Indiviso de NW-SE a NE-SW, hacia la región de las fallas Pangas Viejas y Yurimori, por lo que consideramos que fueron activadas por el terremoto. La zona de deformación de la falla de Cerro Prieto en este sector tiene ~ 30 km de ancho.

SE07-10

## INVENTARIO SISTEMÁTICO Y ORDENADO DE FALLAS EN EL VALLE DE MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

González Escobar Mario, Arregui Ojeda Sergio Manuel, Gallegos Castillo Cristian Alejandro, Mastache Román Edgar Agustin, Mendoza Borunda Ramón, Aladro-Chio Young Ho y Ruiseco Martínez David Orlando
*División de Ciencias de la Tierra, CICESE*
mgonzale@cicese.mx

Una catalogación de fallas en el Valle de Mexicali se ha iniciado a través de un proyecto denominado “Proyecto de fallas”, que tiene como objetivo preparar un inventario que compile la información estructural y las interpretaciones tectónicas de cada falla en cuestión. La evolución de las ideas observadas en la literatura a lo largo de los años y los puntos de vista divergentes son tomados en cuenta. La investigación bibliográfica constituye la base del trabajo, dando cierto peso a las fallas que han sido observadas tanto en superficie, como en perfiles de sísmica de reflexión, lo que permitirá esclarecer la extensa y dispersa literatura. Los resultados serán publicados y se considerará una base de datos electrónica de acceso abierto.

SE07-11

## UAVSAR 2009-2017 OBSERVATIONS OF DEFORMATION IN THE IMPERIAL VALLEY REGION

Parker Jay, Donnellan Andrea y Fielding Eric
*Jet Propulsion Laboratory/Calfornia Institute of Technology*
jay.w.parker@jpl.nasa.gov

The NASA UAVSAR aircraft has been repeatedly imaging displacement in the California Imperial Valley since 2009, with additional interferometric radar images collected in the Mexicali area in the period 2012-2014. While UAVSAR temporal and spatial coverage of this region does not capture the full deformation story, such as details of the Cerro Prieto-Imperial fault interaction zone reported by others, we focus here on opportunities for discerning faults and processes within the opportunity presented by aircraft radar displacement images in this limited time period. Before the 2010 M 7.2 El Mayor-Cucapah (EMC) event, UAVSAR captures an anomalous 2-km wide region of anomalous deformation just north of the mapped Cerro Prieto fault and coinciding with an earthquake swarm including a November 4, 2009 M4.1 event. In the coseismic and early post-seismic period, the few-cm level relative surface deformation and imaged slipping minor faults in the Yuha Desert, western Imperial Valley, show correspondence with the exceptionally active aftershocks from the EMC event past its northern rupture terminus. Coseismic slip has been documented on additional minor near-border faults by the California Geological Survey relying in part on UAVSAR interferograms to guide field visits. Edge detection analysis reveals a network of minor triggered northwest -trending dextral surface fractures, crossed by northeast-trending sinistral fractures, spaced unevenly at roughly 3 km intervals. In the following period we have documented seven years of additional slip on the Yuha fault and an extension of the Laguna Salada fault, that appear to be driven by stress propagation from buried afterslip in the wake of this major earthquake. The observations of the Yuha Desert and Salton Trough suggest that the 2010 M7.2 El Mayor - Cucapah earthquake rupture, the Laguna Salada fault in Baja California, Mexico, and the Elsinore fault in California are part of the same fault system. While details of faults farther east in the agricultural Imperial Valley are hampered by radar image decoherence, UAVSAR and GNSS observations show considerable post-seismic deformation in much of the southern Salton Trough in California.

SE07-12

## DESPLAZAMIENTOS SUPERFICIALES 3D DEL CENTRO DE DISPERSIÓN CERRO PRIETO USANDO INSAR

García Meza Ignacio Francisco y González Ortega Javier Alejandro
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
ifgarcia@cicese.edu.mx

En el Valle de Mexicali, Baja California, México se localiza el Centro de Dispersión Cerro Prieto (CDCP), zona en la que se ha observado durante décadas deformación superficial originada por desplazamientos tridimensionales en su superficie (3D, Norte, Este y Vertical), debido a la actividad tectónica y antropogénica. En este trabajo se estimaron las tasas de desplazamiento superficial 3D en el CDCP, a partir de la técnica geodésico-satelital de Interferometría de Imágenes de Radar de Apertura Sintética (InSAR, por sus siglas en inglés). Para esto, se efectuó el proceso interferométrico con datos de los sensores Sentinel 1A/B, RADARSAT-2 en sus pasos orbitales ascendente y descendente en conjunto con datos del sistema aéreo UAVSAR en sus pasos hacia el Este y el Oeste. El uso de estos datos provee una combinación geométrica semi-ortogonal, la cual permite la descomposición adecuada del vector tridimensional de desplazamiento. Se procesaron y analizaron 1435 pares interferométricos para elaborar series temporales de los diferentes conjuntos SAR, utilizando el método Subconjunto de Líneas Base Pequeñas (SBAS, por sus siglas en inglés) en dirección de la línea de vista del radar en el período febrero/2012-diciembre/2019. Utilizando un formalismo de inversión de mínimos cuadrados ponderado, se obtuvieron los desplazamientos superficiales 3D en el CDCP, cuya tasa máxima de desplazamiento para la componente Norte es de ~50 mm/año, Este ~30 mm/año y Vertical > 150 mm/año. Los resultados se validaron con observaciones GPS (estaciones continuas y temporales) de la Red Geodésica del Noroeste de México, obteniendo diferencias menores a 15 mm en cada componente de desplazamiento, destacando una solución eficiente del algoritmo de inversión aquí propuesto. Las tasas de desplazamiento vertical obtenidas a partir de la descomposición del vector tridimensional de desplazamiento para las zonas de explotación del Campo Geotérmico Cerro Prieto y de recarga, indican un incremento del 10% y 13% respectivamente, desde el período febrero/2012-noviembre/2014 a abril/2015-abril/2016. En este análisis, se consideró la posible contribución de ambas componentes horizontales (Norte/Este), a diferencia del caso 2D en donde la componente Norte es poco sensible. Finalmente, el campo de velocidad 3D se utilizó para la estimación de la tasa del tensor de deformación en el CDCP, la cual resultó un orden de magnitud mayor (35 $\mu$strain/año) respecto a la estimada tectónicamente para la región (1.5 $\mu$strain/año), lo que representa el 96% de la deformación asociada con la actividad antropogénica en el CDCP.

SE07-13

## DEXTRAL TRANSCURRENT AND RIFTING PLATE BOUNDARY TECTONICS IN THE BRAWLEY SEISMIC ZONE, LOCATED BETWEEN THE IMPERIAL AND SAN ANDREAS FAULTS IN THE SALTON TROUGH, SOUTHERN CALIFORNIA, USA

Hauksson Egill, Stock Joann Miriam y Husker Allen
*California Institute of Technology, Caltech*
hauksson@caltech.edu

The Brawley Seismic Zone (BSZ) extends for 30 km north-northwest across the Salton Trough, from the Imperial fault in the south to the southernmost tip of the San Andreas fault (SAF) . It accommodates dextral transcurrent plate motion and rifting along the Pacific North-America plate boundary at rates of up to 17 mm/yr. We analyze 40 years of seismicity in the BSZ to determine its current mode of crustal deformation. The BSZ has linear seismicity distributions that often are accommodated simultaneously on conjugate faults. These sequences rarely reactivate previous seismicity alignments even when they are located within a distance of less than 1 km. This seismicity consists mostly of short-duration earthquake sequences of up to 10 days duration, with foreshocks, mainshock, and aftershocks. Sometimes these sequences are labeled swarms because they include several events of similar size as the mainshock. These faults are more complex than what is shown in the Southern California Earthquake Center (SCEC) Community fault model. The BSZ has a 12° change in strike that is collocated with a 4-6 km right lateral offset at the Salton Buttes volcanic zone at the south end of the Salton

Sea. These tectonic features reflect the rift tectonics of crustal thinning as well as recent volcanism. Thus the BSZ consists of two zones, the 12 km long BSZ-north that extends from Bombay Beach in the north, to the south end of the Salton Sea. The 18 km long BSZ-south extends from the Salton Buttes southward to the Imperial fault. The seismicity rate and the spatial geometrical complexity vary between BSZ-north and BSZ-south, which may reflect the dominant influence of the San Andreas fault on the tectonics in the BSZ-north. The BSZ-north had six sequences with M>4.0 mainshocks in the last 20 years. All of these sequences except the 1999 sequence, which was triggered by the 1999 Mw7.1 Hector Mine mainshock, elevated concerns about potential activation of the SAF itself. These sequences are characterized by dominantly northeast trending strike-slip faults except for the 2020 sequence that exhibited normal faulting. Although none of these sequences appeared to be caused by slip on northwest trending faults, there is a strong linear boundary at the eastern edge of the background seismicity that corresponds with a hypothetical southeast extension of the SAF. In contrast, the 18 km long BSZ-south exhibits conjugate faulting, with aftershocks defining linear distributions striking either north-northeast or east-northeast. Since 1981 these sequences form spatially complex patterns, and do not define regular ladder-like structures from sequence to sequence. Since 1981 a total of seven sequences of M>3.9, including three sequences with mainshock magnitudes of M5.8, M5.3 and M5.1, have occurred in the BSZ-south. The state of stress, as determined from focal mechanisms, shows that the conjugate strike-slip faulting is simultaneously accommodating crustal extension and thinning as well as the dominant dextral transcurrent Pacific North-America plate motion.

SE07-14

## SHALLOW FAULTING IN THE IMPERIAL VALLEY: THE IMPERIAL AND MICHOACÁN FAULT SYSTEMS

Sahakian Valerie[1], Derosier B.[1], Rockwell T.[1] y Stock Joann Miriam[2]
[1]*University of Oregon, USA*
[2]*California Institute of Technology, Caltech*
vjs@uoregon.edu

Within the Imperial Valley, California, the Imperial Fault (IF) is often considered the region's primary boundary fault, hosting two >M6 earthquakes in the past century, and with a presumed 30-45 mm/yr slip rate. However, this does not agree with geologic slip rates, nor studies of seismicity lineaments and geodetic campaigns. The region's strain partitioning and interactions with other faults are not well-understood. Despite indirect evidence of other major regional faults, it is difficult to obtain a full picture of this system and the interaction between structures. Anthropogenic modifications obscure the surface, and we lack shallow subsurface geologic and imaging data. To better define the structural configuration of the plate boundary strain in this region, we collected high-resolution subsurface seismic imaging data in the All American Canal, crossing the Imperial, Dixieland, and Michoacán faults. With an acoustic compressed high intensity radar pulse (CHIRP) system, we imaged shallow deformation (~5-25m depth) on the mapped trace of the IF, as well as the proposed Michoacán fault (MF) and its adjacent stepover. Integrating our data with nearby terrestrial cores and cone penetrometer surveys provides age constraints on IF deformation. These data suggest that the MF, unmapped in the United States, is highly active, and likely produces dynamic or off-fault deformation within its stepover to the Dixieland Fault. Together, these data support more active strain partitioning than previously documented in this region.

SE07-15

## INICIO DE LA INSTRUMENTACIÓN SISMOLÓGICA EN LA ZONA URBANA MEXICALI, POSTERIOR A UN ENJAMBRE SÍSMICO EN VALLE MEXICALI 2008

Mendoza Garcilazo Luis, Acosta Chang José, Reyes Serrano Rogelio, Ruiz Cruz Euclides, Granados Hernández Orlando, Vázquez Hernández Sergio y Arellano Zepeda Gustavo
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
lmendoza@cicese.mx

Se presenta la formación de las Redes Acelerométricas Urbanas de Baja California, iniciada en 2008 y su evolución y crecimiento hasta 2021. Un enjambre de sismos durante 23 dias, en febrero de 2008 en las cercanías del volcán Cerro Prieto y la consecuente atención de autoridades y sector privado, les permite entender la importancia de instrumentar zonas urbanas, por lo que unen esfuerzos para la adquisición de una red sísmica urbana. Después de 10 años de funcionamiento en Mexicali y 7 años en Tijuana, se presentan resultados preliminares en ambas ciudades. En Mexicali en 11 años de funcionamiento se cuenta con 216 registros en 11 sitios de la zona urbana de sismos cercanos, media distancia y lejanos, con aceleraciones pico máximas desde 0.1 a 10 % g, que permitirán analizar la respuesta de suelos y corroborar los espectros del reglamento de construcción para Mexicali. Para Tijuana, se cuenta con un registro de un sismo magnitud 3.5 localizado en la parte central de la actual mancha urbana, cuyo plano de falla obtenido con estaciones de la red, muestra una falla de desplazamiento lateral derecho de rumbo, acorde con la tectónica local, que sugiere aumentar la atención de si debajo de la zona urbana existe una falla activa que une la falla san Miguel al sureste de Tijuana con el sistema de fallas de la bahia de San Diego al noroeste de la misma. Adicionalmente, la donación de 56 acelerométros utilizados en 2018 por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS siglas en inglés) en un experimento sobre respuesta sismica de suelos en la bahía San Francisco, Ca., y su posterior envio a CICESE, permitirá mejorar la cobertura instrumental de las 5 principales zonas urbanas de Baja California, a iniciar a finales de 2021.

Sesión especial

# FILOSOFÍA, LÓGICA, METODOLOGÍA Y EPISTEMOLOGÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Organizadores:
Octavio Lázaro Mancilla
Eduardo Juayek Sotelo

SE08-1 PLÁTICA INVITADA

## ¿DEBEN CAMBIAR DE PARADIGMA LAS CIENCIAS DE LA TIERRA?

Álvarez Román
*Universidad Nacional Autónoma de México*
ralva@prodigy.net.mx

Difícilmente hay información sobre filosofía de la Ciencias de la Tierra. El geocientífico rara vez se plantea preguntas de tipo filosófico. Las filosofías de la biología, psicología y las ciencias sociales exploran si los estudios de la naturaleza humana pueden adquirir objetividad o están inevitablemente moldeados por valores y relaciones sociales. Si el paradigma de la filosofía de la biología es la vida, el de las Ciencias de la Tierra debe ser el planeta que sustenta esa vida: la Tierra, el Geos, que es un ente físico cuya relativización respecto a lo viviente resultaría insólita. Hasta ahora podríamos decir que la filosofía de las ciencias de la Tierra ha sido geocéntrica. Pero estas consideraciones habrá que extenderlas a los planetas que natural o artificialmente podrían sustentar vida, ahora que están más al alcance de la humanidad. Las teorías sobre las características del ente Tierra han cambiado con el tiempo y el avance del conocimiento y así han cambiado también las consideraciones filosóficas. En el tiempo en que se pensaba que la Tierra era plana, podría considerarse una pregunta válida: ¿en dónde termina la Tierra y se inicia el abismo?; las ilustraciones de la época muestran barcos despeñándose en ese terminus. Una pregunta filosófica válida entonces pudo haber sido qué mecanismo restituía el agua que se perdía en el abismo, ya que el nivel del mar no cambiaba perceptiblemente en el tiempo. Hoy nos podemos preguntar sobre la existencia objetiva del geoide, que nos sirve de referencia para varios estudios terrestres y que puede ser descrito mediante diferentes aproximaciones. Como ejemplo de cómo cambian los paradigmas con el tiempo desde los inicios de la filosofía, consideremos a la Escuela Peripatética de Aristóteles; "peripatein" significa dar vueltas. A Aristóteles le gustaba discutir temas con sus alumnos mientras caminaban a la intemperie por un prado que había cerca de la escuela, ahí "daban vueltas" discutiendo sobre filosofía. Después de la muerte de Aristóteles la escuela se preocupó más por investigaciones científicas y naturalistas que filosóficas. En la era moderna, la Filosofía propiamente dicha inició en el Siglo XX bajo el positivismo lógico. Sanders, Peirce & Popper se movieron del positivismo para establecer la filosofía moderna. Kuhn (1962) propuso que el progreso en ciencia no es simplemente la acumulación de conocimiento, sino que sigue un paradigma, que es un conjunto de preguntas, conceptos y prácticas que definen a una disciplina en determinado periodo histórico. Con los avances en la astronáutica podríamos estar cambiando de paradigma en las Ciencias de la Tierra, para considerar no solo a nuestro planeta como objeto de estudio sino a toda clase de objetos interplanetarios capaces de ser habitados o visitados por plataformas construidas en la Tierra.

SE08-2

## LA IMPORTANCIA DE LA EPISTEMOLOGÍA EN LA CIENCIAS DE LA TIERRA O QUÉ TAN PSEUDO CIENCIAS SON ALGUNOS SABERES SOBRE LA TIERRA

Lázaro-Mancilla Octavio
*Universidad Autónoma de Baja California*
olazaro@uabc.edu.mx

A lo largo de la historia y en diferentes culturas ha habido algunos acercamientos para explicar los fenómenos terrestres yendo desde los aspectos míticos, mágicos, religiosos, filosóficos y científicos. Esta plática hace una reflexión en lo general sobre la importancia de la epistemología en las ciencias de la tierra y la aplicación de la misma en sus investigaciones sin dejar a un lado la lógica y la metodología. En lo particular trata lo referente a las posibles pseudociencias en las ciencias de la tierra.

SE08-3

## LA TECTÓNICA DE PLACAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA TERMODINÁMICA, COMO EJEMPLO PARA MEJORAR EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE CIENCIAS BÁSICAS EN LAS CARRERAS DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Arellano Gil Javier, Reyes Sainos Brenda Sofía, Soto Ayala Rogelio, Pérez Martínez Ana Laura y Muñoz Hernández Genaro
*Facultad de Ingeniería, UNAM*
arellano@unam.mx

Debido a la nueva forma de trabajo docente en las universidades, es importante elaborar materiales didácticos digitales que contribuyan al logro de aprendizajes significativos en los estudiantes de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, por lo que, con el Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación, de la UNAM, se está elaborando el libro digital "Termodinámica para Ciencias de la Tierra: Fundamentos y aplicaciones", que incluye el capítulo denominado "La Termodinámica y la Tectónica de Placas", el cual tiene como objetivo proveer de la teoría necesaria de Termodinámica para explicar los procesos geodinámicos que ocurren desde el interior de la Tierra hasta la superficie de la misma, mediante el conocimiento y aplicación de las leyes de la Termodinámica y de las propiedades de las sustancias. La Tierra experimenta constantes cambios, los cuales se manifiestan en la superficie a modo de varios fenómenos geológicos (erupciones y actividad volcánica, formación de orógenos, sismos, fallamiento, formación de cuencas, etc.); estos fenómenos son originados por la energía interna y externa de la Tierra donde la energía interna se libera en un flujo de calor. La geodinámica interna de la Tierra se basa principalmente en los movimientos de las placas litosféricas producidos por las corrientes convectivas en el manto; estos movimientos generan un ciclo geológico interno en donde las rocas se trasforman por cambios en las condiciones de presión, temperatura y densidad conforme a la profundidad a la que se encuentran o son sometidas; a estos cambios se les denominan gradiente geotérmico y gradiente de presión, los que están controlados por dos mecanismos dominantes que trasporta el calor en la Tierra; la conducción y la advección. El gradiente geotérmico se refiere al aumento gradual de la temperatura conforme a la profundidad, este varia de un lugar a otro, pero en una zona con gradiente normal las temperaturas aumentan en una media de 20°C/km a 30°C/km; en la parte del manto y el núcleo se calcula que la temperatura aumenta en menor medida, pero se observa un aumento drástico de está en la zona de la capa "D" (importante en la tectónica por su papel en las zonas de subducción y los Hot spots) donde la temperatura aumenta drásticamente de los 3 000°C a los 4 500°C y se calcula que puede superar los 6 700 °C en el centro de la Tierra. Mientras el gradiente de presión se refiere al aumento gradual en las condiciones de presión conforme aumenta la profundidad, en condiciones normales, esta presión aumenta 100 MPa por cada 3 km de profundidad o por cada km de profundidad aumenta 30 MPa en la presión; es importante recalcar que este gradiente no es exacto ya que la presión puede variar de acuerdo con la densidad y a las propiedades elásticas que tienen las rocas en las diferentes capas de la Tierra.

SE08-4

## FILOSOFÍA Y EXPERIENCIA PERSONAL SOBRE LOS REGISTROS GEOFÍSICOS EN POZOS DE AGUA

Juayek Sotelo Eduardo
*Geofísica Juayek y Estudios y Construcciones Geoyek, S.A. de C.V.*
ejuayek@gmail.com

Esta plática trata sobre mi trayectoria profesional de más de 48 años en la rama geofísica, conocida como geohidrología. Estará basada en mi experiencia personal, la cual tiene mayor enfoque en los registros geofísicos para pozos de agua y estudios para localización de acuíferos, comentaré algunas anécdotas que puedan ayudar a los jóvenes en su carrera y trataré de motivarlos para dar lo mejor de ellos mismos en su trayectoria profesional. De manera general está será la temática de mi participación en esta sesión especial.

SE08-5

## SOBRE EL VÍNCULO ENTRE EL MÉTODO DE LA INGENIERÍA Y EL MÉTODO CIENTÍFICO EN GEOFÍSICA

Lázaro-Mancilla Octavio
*Universidad Autónoma de Baja California*
olazaro@uabc.edu.mx

Hace unos años durante una sesión de trabajo del encuentro del Southern California Earthquake Center hubo una tentativa de interacción entre ingenieros sísmicos y sismólogos, una reunión similar posterior se llevó a cabo en México en la Universidad Autónoma de Baja California, después del sismo de Magnitud Mw 7.2 en Mexicali en 2010. Ambas reuniones tuvieron un factor común, aparte de la incomodidad y la desconfianza que se percibía en el ambiente, ya que se hablaban lenguajes provenientes de mundos muy diferentes; ¿qué fue lo que pasó?, tal vez que cada uno de esos profesionales tenía una visión e intereses muy diferentes respecto a los sismos y sus efectos. En esta platica se expondrá los aspectos metodológicos que nos pueden ayudar a entender ambas situaciones. Desde el punto de vista de la Ingeniería de acuerdo a Reséndiz (2009), la ingeniería tiene como funciones primordiales el diagnosticar en que consiste un problema para entenderlo y plantearlo y después diseñar soluciones al mismo y en el mejor de los casos realizar su manufactura. Por otro lado, respecto a la ciencia según Dieterich (2011), todo surge del interés por conocer un fenómeno, lo cual implica delimitar el problema no sólo de manera espacial y temporal sino también de manera semántica, para después plantear el propósito de la investigación mediante enunciados propositivos u oraciones tópicas, quedando al final sólo delimitar los recursos propios para la investigación. Obviamente hay que construir el marco de referencia que incluye el marco conceptual, el marco contextual, el marco histórico y el marco teórico para después formular la hipótesis y posteriormente contrastarla ya con observaciones o experimentos y de los resultados obtenidos tener conclusiones en función de las oraciones tópicas que han dado lugar a las hipótesis. Esta ponencia trata sobre el vínculo existente entre el método científico y el método de la ingeniería en lo general según Lázaro (2013) y en particular en geofísica.
Referencias: Dieterich, H., 2011, Nueva Guía para la Investigación Científica. Grupo Editorial Orfila Valentín. México. Lázaro-Mancilla, O., 2013, Enfoque teórico-práctico de Metodología de la Investigación, o sobre la vinculación del Método Científico y el Método de la Ingeniería. Una Experiencia Docente. 1er. Congreso Internacional Virtual de Investigación en Educación Superior. México Reséndiz-Nuñez, D., 2009, El Rompecabezas de la Ingeniería: por qué y cómo se transforma el mundo. Fondo de Cultura Económica, México.

SE08-6 PLÁTICA INVITADA

## ¿CÓMO HE USADO LA LÓGICA Y LA EPISTEMOLOGÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA? (PLÁTICA INVITADA)

Herrera Revilla Ismael
*Consejo Consultivo de Ciencias*
iherrerarevilla@gmail.com

Plática Invitada relacionada con la experiencia como investigador en Ciencias de Tierra del Dr. Ismael Herrera Revilla, Premio Nacional de Ciencias, Fundador de CONACYT, Premio de la Academia Mexicana de Ciencias, Premio Luis Elizondo, Medalla al Mérito Académico por la Universidad México-Americana del Norte, de Reynosa, Medalla al Mérito Ciudadano por el Gobierno Estatal de Tamaulipas, Investigador Nacional de Excelencia del Sistema Nacional de Investigadores, Brown Distinguished Alumnus Award de la Universidad Brown en 2001.

Sesión especial

# RESILIENCIA COSTERA

Organizadores:
Paulo Salles Afonso de Almeida
Alec Torres Freyermuth
Elsa Noreña Barroso
Gema Hidalgo Rodríguez

SE10-1

## SPATIO-TEMPORAL ASSESSMENT OF BEACH RESILIENCE ON AN URBANIZED BARRIER ISLAND

Mendoza Ponce E. Tonatiuh[1], Torres-Freyermuth Alec[2], Ojeda Elena[3], Medellín Gabriela[2], Rioja Rodolfo[4], Salles Paulo[2] y Turki Imen[1]
[1]*Universite Rouen*
[2]*Instituto de Ingeniería, UNAM*
[3]*Universite Caen*
[4]*Facultad de Ciencias, UNAM*
ernesto.tonatiuh@univ-rouen.fr

Beach width, dune presence, and vegetation coverage increase beach resilience to storms. However, the northern Yucatan coast has been exposed to an urban boom since the 1960's, increasing in recent decades deriving into beach erosion problems. This has been partly ascribed to both poor coastal management and highly (natural) dynamic of barrier islands. Although the coastal area in Mexico is regulated by several authorities, there are gaps in its regulation which has caused dune degradation and/or dune vegetation removal due to the increase of coastal infrastructure that reduces the beach resilience against extreme events. Moreover, the lack of long-term nourishment projects has motivated the construction of unauthorized coastal structures including rock revetments and groins, and the implementation of mitigation measures by the government including the construction of coastal structures which have caused down-drift erosion. We propose a Coastal Resilience Index (CRI), based on photogrammetry acquired by Unmanned Aerial Vehicle flights, evaluated along a series of transects along a 7-km stretch of coast. Six different flights were conducted over fourteen months (October and December 2016, July, September, October and December 2017) to assess the CRI trajectories. The CRI is based on the relation of the three indicators that denote the relative resilience of the coast due to the seasonal variation: the beach width, coastal structure influence zone (considering the addition-removal of coastal structures) and changes in the vegetation coverage. The CRI was divided into three categories: Low resilience (LR), Medium Resilience (MR) and High Resilience (HR). The evolution of the CRI during the study shows that the percentage of transects within the LR classification decreased from 40% to 30% during the first three months of the survey (October - December 2016). By July 2017 the percentage of transects had increased up to 45% and also the coastal structures which increased by 60% in the same time period. As a consequence, the percentage of LR transects increased up to 48% by September and up to 55% in October 2017. By the end of the study period (December 2017), the percentage of LR transects presented a slight decrease down to 51%. The percentage of transects classified as MR increased over the first two surveyed months from 16% to 21%. However, when the number of coastal structures increased (July 2017) this percentage gradually decreased from 35 down to 29%, by the end of the survey this percentage of transects had a slight increase to 34%. The percentage of HR transects was higher in October and December 2016, (43% and 49%). However, from July to October 2017 the HR steadily decreased (in accordance with the increase of coastal structures) from 35% down to 29 % with a small increase up to 34% by the end of the study period. The CRI presents a large spatial and temporal evolution owing mostly to the presence of new coastal structures with an overall increase of the LR and an overall decrease of HR values, hence decreasing the beach resilience in the study area.

SE10-2

## SOLUCIONES ADAPTATIVAS EN LA PROTECCIÓN DE TALUDES COSTEROS MEDIANTE EL USO DE TÉCNICAS DE PERFILAMIENTO

Toro Vladimir G.[1], López Isabel C.[1], Palacio Carlos A.[1], Correa Ivan D.[1], Bustamante Alba C.[1], Jaramillo-Vélez Alfredo[1], Gutierrez Carlos E.[1], Gómez Jaime E.[2], Ossa Juana M.[2], Duque Angela[2], Torres Juan G.[1], Orejuela Ferney[1], Vargas Kisay[1], Moya Marcial[1], Oquendo Luis A.[1], Zapata José M.[1], Julio-Bravo Esneider[1], Correa Mauricio A.[1], Chávez-Ceron Valeria[3], Silva-Casarin Rodolfo[3] y Hinestroza-Mena Kelis M.[4]
[1]*Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental*
[2]*Departamento Administrativo para la Gestión del Riesgo de Desastres de Antioquia*
[3]*Instituto de Ingeniería, UNAM*
[4]*Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá*
vladimir.toro@udea.edu.co

Los acantilados labrados en rocas alteradas química y físicamente son fácilmente erosionados por el oleaje, viento y lluvia, situación común a lo largo de la línea de costa del Caribe sur de Colombia donde se experimentan tasas de erosión de hasta 6 m/año. En la región se ha aplicado una metodología empírica, perfilando los taludes a pendientes entre 40 y 55° respecto a la horizontal en varios sectores acantilados de los departamentos de Antioquia y Córdoba. La Universidad de Antioquia, en colaboración del Departamento Administrativo para la Gestión del Riesgo de Desastres de Antioquia (DAGRAN), ha modificado y complementado los procedimientos, realizando un perfilamiento con dos pendientes sobre un escarpe acantilado fuertemente erosional de 10 m de altura y 100 m longitud de línea de costa: 15° en la parte baja intermareal y 35° en la parte media y superior, -supra mareal. El ángulo de 15° en la parte baja del talud, desarrollada en 3m lineales, se trazó para conformar una pendiente de transición cercana a la pendiente natural de la playa (7°). En este espacio se dispusieron elementos construidos con cemento, fibra y suelo retirado del perfil. En la parte cercana a la interfaz tierra–océano (submareal) se dispusieron linealmente rocas de ~ 40 cm de diámetro. El objetivo de los elementos y las rocas fue crear una condición para que el oleaje disipe energía por fricción de fondo y turbulencia. La pendiente de 35° se vegetó con especies nativas que han permitido aumentar la resistencia a la erosión del talud. Como complemento al perfilamiento del talud, en la parte superior de este, a 5 m del inicio de la pendiente, se construyó un filtro lineal paralelo a la línea de costa para incrementar el flujo subterráneo de agua y abatir el nivel freático. Esto con el fin de evitar que el agua sub-superficial entre al talud y que, en época de lluvia, genere canales de escorrentía que podrían posteriormente convertirse en cárcavas que facilitan la erosión sub-aérea. A la fecha, los resultados del experimento muestran una respuesta del talud adecuada en la zona intervenida con respecto al área no intervenida. La zona alta del perfil se ha mantenido estable, en gran parte debido al mantenimiento preventivo que se ha realizado. La parte baja del talud no ha presentado retrocesos significativos, comparado con las zonas no intervenidas donde se han presentado erosiones de 0.15 m/mes (1 m en seis meses). El costo de intervención de esta metodología es bajo en comparación con el costo de otro tipo de soluciones estructurales tradicionales. Como trabajo futuro se adelantan análisis geotécnicos del talud y se mantiene el monitoreo del perfil por medio de usos de drones y perfiles perpendiculares de playa

SE10-3

## RESILIENCIA DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN ANTE PERTURBACIONES NATURALES Y ANTROPOGÉNICAS

Rodríguez-Burguette Julián, Arriaga Jaime, López-Ramade Eduardo, Torres-Freyermuth Alec, Medellín Gabriela, Salles Paulo y Appendini Christian M.
*Universidad Nacional Autónoma de México*
burguette07@gmail.com

La costa norte de la península de Yucatán está expuesta a perturbaciones naturales (tormentas) y antropogénicas (infraestructura costera). Para evaluar su resiliencia es necesario generar información que permita evaluar los diferentes estresores y shocks que afectan esta zona, así como la respuesta del sistema a lo largo del tiempo. En el marco del proyecto "Dinámica costera en el tramo Telchac-Celestún (Yucatán): Diagnóstico y posibles medidas de mitigación" se generan bases de datos de oleaje, nivel del mar, evolución de la línea de costa, e infraestructura costera basada en información de acceso libre. Los datos de oleaje corresponden a nodos localizados frente a la costa de Yucatán. Por otro lado, se utilizaron imágenes de satélite para extraer la línea de costa y la presencia de estructuras costeras a lo largo de los últimos 5 años. Las bases de datos obtenidas a partir de re-análisis e imágenes de satélite fueron validadas con mediciones de campo de alta resolución espacio-temporal realizadas en la playa de Sisal, Yucatán. Las bases de datos permiten generar trayectorias de la línea de costa y su respuesta a las diferentes perturbaciones que afectan el sistema a lo largo de 160 km de costa. Agradecemos el apoyo financiero de DUMAC A. C., CONACYT (CB-284819, LN271544), y la DGAPA UNAM (PAPIIT IN101218), asi como el apoyo técnico proporcionado por el M.I. Juan Alberto Gómez Liera, el ISC Gonzalo Uriel Martín Ruiz, Oc. Camilo Rendón Valdez, y el Dr. José López González.

SE10-4

## RESILIENCIA SOCIAL DE NEGOCIOS TURÍSTICOS DE LA COSTA DE YUCATÁN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

De Yta Castillo Diana[1], Vidal Hernández Laura Elena[2], Ávila Foucat V. Sophie[3] y Hernández Herrera Isis C.[4]
[1]*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Facultad de Ciencias Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación Universidad Nacional Autónoma de México, CONACYT-Facultad de Ciencias UMDI-Sisal UNAM*
[2]*Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, UNAM*
[3]*Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM*
[4]*ENES Mérida, UNAM*
dianadeyta3@gmail.com

La resiliencia de los componentes de un socioecosistema costero contribuye a la resiliencia de todo el socioecosistema. En un socioecosistema costero, los negocios turísticos son de suma importancia porque contribuyen a la generación de empleo, ingresos y, por consiguiente, al bienestar comunitario, mismos que son afectados por fenómenos hidrometeorológicos derivados del cambio climático. El sector turismo está especialmente expuesto a los efectos del cambio climático, por lo que la supervivencia de esta actividad económica está en riesgo. En México, los estudios sobre la resiliencia social de negocios del sector turístico frente al cambio climático son escasos, por lo que el presente estudio contribuye llenar ese vacío en la literatura académica al medir la resiliencia social de negocios de hospedaje, operadores turísticos y restaurantes de los socioecosistemas costeros de Progreso, San Felipe y Sisal en Yucatán. Se realizaron encuestas a 107 dueños/gerentes/encargados de negocios turísticos de las tres comunidades costeras para conocer su percepción sobre la resiliencia social del negocio ante variaciones y efectos del clima. De esta forma, se presentan los resultados descriptivos de la resiliencia social del negocio turístico y de las características de los dueños/gerentes/encargados y de los negocios. Se concluye acerca de la importancia de medir la resiliencia social de los negocios del sector turismo con la finalidad de sugerir estrategias de política pública que puedan coadyuvar a aumentar la resiliencia de los socioecosistemas costeros.

SE10-5

## AN INTERDISCIPLINARY RESEARCH PROJECT FOR THE MITIGATION OF MEGATHRUST-EARTHQUAKE AND TSUNAMI DISASTERS IN MEXICO: SATREPS 2016-2022

Ito Yoshihiro[1], Cruz-Atienza Víctor M.[2] y Members Satreps[1]
[1]*Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
ito.yoshihiro.4w@kyoto-u.ac.jp

The Pacific coast of Mexico faces a high risk of disasters due to megathrust earthquakes and tsunamis owing to the subduction of the Cocos oceanic plate beneath the North-American continental plate along the middle American trench. Therefore, it is urgently required to pay attention to manage the associated risks in Mexico, integrating lessons learned after the 2011 Tohoku-Oki earthquake. An interdisciplinary research project between Japan and Mexico has been undertaking since 2016, which was financially supported by “SATREPS”, a Japanese government program that promotes international collaborative research, and UNAM through the Institute of Geophysics and the Coordination of Oceanographic Platforms. This six-year collaborative research project aims to simulate plausible earthquake/tsunami scenarios based on onshore and offshore seismological-geodetic observations and models. Currently, we are also developing earthquake/tsunami hazard maps and tsunami evacuation guidelines using earthquake/tsunami engineering techniques to mitigate the damage due to future megathrust earthquakes along the coastline. We are also conducting a relevant educational program in the coastal communities, from the viewpoint of social science, which has been directed to the Latin American community and thus developed in Spanish. This program aims to address global issues, such as disaster mitigation from megathrust earthquakes and the associated tsunamis, and to provide research outcomes with practical benefits to Japanese and Mexican societies. Additionally, the project also aims to integrate disaster science as a part of the global challenge to support both the Latin American and Japanese governments long-term strategies to implement sustainable social development. After six-years of research activities in Mexico, we have already developed a research plan and active scheme to mitigate disasters associated with earthquakes and tsunamis through monitoring crustal deformation and seismicity, modeling earthquake/tsunami scenarios inferred from a vast geophysical observational network, and educational material regarding tsunami evacuation based on realistic earthquake/tsunami scenario. These schemes have been prepared to be distributed to other communities, especially in Latin America. Project Website: http://areas.geofisica.unam.mx/sismologia/satreps

SE10-6

## RETOS DE GOBERNANZA ADAPTATIVA LOCAL ANTE EL RIESGO COSTERO: CASO DE YUCATÁN

Vidal Hernández Laura[1], Cuevas Jiménez Alfonso[2] y Ávila Sophie[3]
[1]*Facultad de Ciencias, UNAM*
[2]*Universidad Marista de Mérida*
[3]*Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM*
laurae.vidal@ciencias.unam.mx

Los estudios sobre respuestas adaptativas gubernamentales al cambio climático (CC) se centran en el diseño de políticas públicas y en la creación de instituciones que abordan compromisos internacionales; sin embargo, escasamente se realizan estudios sobre cómo los gobiernos locales incorporan criterios de adaptación y sobre los retos que enfrentan. En México poco más de 44 mil comunidades rurales enfrentan riesgo costero amplificado por el CC. Esta investigación tiene como objetivo diseñar una metodología que identifique los retos de la gobernanza adaptativa local al riesgo costero para contribuir a incrementar su resiliencia. Se empleó un análisis de convergencia temática y espacial de instrumentos regulatorios y no regulatorios de la costa de Yucatán y un análisis de incoherencias-coherencia entre instrumentos que se contrastó con las observaciones de actores clave de comunidades costeras. Los resultados mostraron reducidas, aunque consistentes medidas regulatorias de adaptación con diferencias espaciales entre comunidades. La percepción y atención al riesgo costero se aborda de manera fragmentada por ámbito político que limita su eficiencia en la gobernanza local. Domina el paradigma predominante del riesgo enfocado las amenazas y marginalmente en disminuir la vulnerabilidad física de las comunidades. Se concluye sobre los retos normativos, administrativos y técnicos locales para la adaptación, enfatizando en la ausencia de visión intersectorial para enfrentar este reto ambiental de manera holística.

SE10-7

## EL FUTURO DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA DE LA COSTA NOROESTE DE YUCATÁN

Canul-Macario Cesar[1], Salles Paulo[2] y Pacheco Roger[2]
[1]*Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros, II-UNAM*
[2]*Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera (LANRESC), Laboratorios Nacionales CONACYT*
ccanulm@iingen.unam.mx

Las zonas costeras son importantes para México ya que albergan una gran biodiversidad, son polos de atracción turística e inversión inmobiliaria y son, indudablemente, zonas con actividades socioeconómicas prioritarias. Sin embargo, debido a su cercanía con el mar, la gran concentración de actividades antrópicas y un continuo crecimiento de población, las hacen vulnerables a múltiples problemas socio-ambientales. Uno de los principales problemas es el abastecimiento de agua dulce, que en las zonas costeras, depende de los acuíferos costeros que son vulnerables a intrusión salina. La costa noroeste de Yucatán no es la excepción, ya que tiene todos los síntomas de una zona costera en crecimiento y una dependencia del acuífero cárstico y costero que abastece las poblaciones costeras. Estudios recientes muestran que esta fuente de abastecimiento tiene características hidrogeológicas que lo hacen más vulnerable a la intrusión salina debido a (a) una alta transmisividad y difusividad hidráulica del acuífero cárstico, (b) una fuerte interacción entre nivel medio del mar y la salinidad del acuífero, (c) un confinamiento costero que permite que estos efectos se manifiesten varios kilómetros tierra adentro y (d) una evidente vulnerabilidad a salinización debido al cambio climático. En la búsqueda de un entendimiento de este acuífero, se ha realizado una caracterización y monitoreo desde 2017. Se ha desarrollado un modelo conceptual del acuífero costero y luego se ha construido un modelo numérico que contempla el flujo subterráneo, la salinidad del acuífero y el efecto de densidad variable. Estos elementos permitieron calibrar y validar el modelo numérico, que posteriormente sirvió para implementar escenarios de cambio climático que exponen el posible incremento de salinidad en el acuífero durante estas condiciones. Los resultados muestran que (a) el acuífero costero de la costa noroeste de Yucatán muestra una correlación directa con la posición del nivel medio del mar en relación con otros forzantes hidrológicos, (b) el confinamiento costero, el bajo gradiente hidráulico y la correlación con los forzantes marinos permiten que la interfase salina sea dinámica varios kilómetros tierra adentro, (c) se observa que muchas fuentes de abastecimiento de las poblaciones costeras podrían verse comprometidas frente al efecto del cambio climático y (d) que se tiene una necesidad inminente de desarrollar estrategias de adaptación de las poblaciones costeras para estas condiciones futuras.

SE10-8

## IMPLICACIONES DE UN RELLENO DE PLAYA PARA SISAL, MÉXICO

Franklin Gemma Louise[1], Torres-Freyermuth Alec[2], Gómez Juan A.[2], Medellín Gabriela[2] y Appendini Christian M.[2]
[1]*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - Universidad Nacional Autónoma de México, CONACYT-UNAM*
[2]*Universidad Nacional Autónoma de México*
gfranklin@iingen.unam.mx

La mayoría de las costas del mundo experimentan erosión a largo plazo, afectando su resiliencia. Uno de los métodos empleados para intentar reducir la erosión, es el relleno de las playas con arena o bypass de arena. Una de las costas donde emplean esta técnica es la costa de los Países Bajos, donde se llevó a cabo un proyecto piloto llamado el Sand Motor. En este proyecto, un mega-relleno fue realizado para dejar que los proceso naturales distribuyan la arena. A pesar de las condiciones de oleaje generalmente de baja energía, la Península de Yucatán ha experimentado la erosión de sus playas desde los 1960s. El transporte litoral en esta zona esta controlado por la energía y la dirección del oleaje incidente. El transporte potencial de sedimento a lo largo de esta región es entre 20,000 y 60,000 m3 yr#1 (hacia al oeste) dependiendo de la orientación de la playa. La erosión en la zona es causada por la construcción de escolleras distribuidas a todo lo largo de la costa. Las tasas de erosión muestran alta variabilidad a lo largo de la costa, debido a cambios en la orientación de la costa y la presencia de estructuras costeras. Se observa una acreción de arena al Este de las estructuras y una erosión al Oeste. En el caso de Sisal, un dragado y bypass de arena fueron realizados a inicios de diciembre 2020, con una duración de más de cinco debido al azolvamiento del canal del puerto. Por medio de datos medidos in situ, este trabajo evalúa el efecto del relleno llevado a cabo en Sisal y sus implicaciones para la resiliencia de la costa. Agradecemos el apoyo financiero de CONACYT a través de los proyectos Cátedras CONACYT - 1146, INFR-2014-01-225561, CB-284819, LANRESC [299063], TAMU-CONACYT 19-20-013 y de la DGAPA UNAM (PAPIIT IN101218 y PAPIIT IA100418) y a Camilo Rendón Valdez y José López por su apoyo técnico y Gonzalo Martin Ruiz por su apoyo en computo.

SE10-9

## MODELACIÓN NUMÉRICA DE TSUNAMIS EN EL SERVICIO MAREOGRÁFICO NACIONAL

Gómez-Ramos Octavio[1], Miyashita Takuya[2], Mori Nobuhito[2] y López-Espinoza Erika Danaé[3]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*
[3]*Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*
octavio@igeofisica.unam.mx

Desde hace casi 70 años el Servicio Mareográfico Nacional (SMN) ha monitoreado el nivel del mar en costas mexicanas, y ha mantenido colaboraciones con diversas instituciones nacionales e internacionales. En la actualidad, una de las colaboraciones más importantes es la que se tiene con el Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis (SINAT), de la cual el SMN es uno de sus fundadores, así como con el Centro de Alerta de tsunamis (CAT) de la Secretaría de Marina. En esta plática se mostrará cómo es que el Servicio Mareográfico Nacional colabora con

el procedimiento de alertamiento de tsunamis en México, así como los esfuerzos que se han hecho en el área de modelación numérica de tsunamis mediante la colaboración que se tiene con el Instituto de Investigación para la Prevención de Desastres de la Universidad de Kyoto (DPRI-KU), en el contexto del proyecto "Hazard Assessment of Large Earthquakes and Tsunamis in the Mexican Pacific Coast for Disaster Mitigation".

SE10-10

## RESILIENCIA DE SISAL (YUCATÁN) ANTE EL PASO DE LOS HURACANES GAMMA Y DELTA

Torres-Freyermuth Alec, Medellín Gabriela, Kurczyn Alejandro, Pacheco-Castro Roger, Arriaga Jaime, Appendini Christian M., Allende-Arandía Ma. Eugenia, Gómez-Liera Juan A., Franklin Gemma L. y Zavala-Hidalgo Jorge
*Universidad Nacional Autónoma de México*
atorresf@ii.unam.mx

La costa norte de la Península de Yucatán (PY), caracterizada por la presencia de islas de barrera y geología karstica, fue impactada por los huracanes Gamma y Delta en Octubre de 2020. Fuerte precipitación, vientos y corrientes costeras intensas, y oleaje energético ocasionaron inundaciones y erosión en algunas zonas costeras de la región. Observaciones de la atmósfera, la zona costera, y el océano fueron obtenidas en la localidad de Sisal, Yucatán, ubicada al noroeste de la PY, durante el paso de estos ciclones. Durante el huracán Gamma se registró una alta precipitación y vientos de más de 20 m/s, mientras que el huracán Delta se registró una menor precipitación y una mayor marea de tormenta (>0.5 m). Los cambios de la morfología de la playa, a lo largo de 4-km de costa, mostraron gradientes longitudinales asociados a la presencia de estructuras y arribazones de macrófitas. La mayor inundación ocurrió en la parte posterior de la isla de barrera (zonas aledañas a la ciénega), asociada a la fuerte precipitación y el consecuente aumento en el nivel del acuífero costero. Mediciones previas, durante y posteriores a la ocurrencia de estos eventos permitieron evaluar la capacidad de recuperación del sistema ante este tipo de perturbaciones naturales. Finalmente, se evaluaron las predicciones de dos sistemas de modelado costero implementados para la alerta temprana ante la inundación de esta zona costera. Las predicciones de la hidrodinámica, para estos eventos con trayectorias desde tierra, presentaron diferencias significantes con respecto a las observaciones sin importar el modelo utilizado, la resolución del forzamiento y la malla. Esto sugiere la necesidad de calibrar los modelos para este tipo de fenómenos que representan un peligro importante en la región. Agradecemos el apoyo técnico de José López González, Gonzalo Uriel Martín Ruiz, Sergio Camilo Rendón Valdez, y Pablo Ruiz Salcines y el apoyo financiero del CONACYT (CB-284819, LN271544) y la DGAPA UNAM (PAPIIT IN101218). Asimismo, agradecemos al Grupo de Interacción OcéanonAtmósfera del CCA-UNAM por proveer información de su modelo de predicción.

Sesión especial

# 3A REUNIÓN DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE ARQUEOMETRÍA DE OCCIDENTE: TÉCNICAS ARQUEOMÉTRICAS EN MÉXICO Y LATINOAMÉRICA EN EL SIGLO XXI

Organizadores:

Rodrigo Esparza
Blanca Maldonado
Avto Gogichaishvili
Francisco Sánchez

SE11-1 PLÁTICA INVITADA

## FLUCTUACIONES DIRECCIONALES DEL CAMPO MAGNÉTICO DE MÉXICO EN LOS ÚLTIMOS TRES MILENIO Y SUS IMPLICACIONES

Garcia-Ruiz Rafael[1], Gogichaishvili Avto[1], Pavón-Carrasco Javier[2] y Pérez Nayeli[1]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Universidad Complutense de Madrid*
asrael.rafael@gmail.com

El conocimiento del Campo Magnético de la Tierra, necesita de datos confiables, tanto direccionales como de intensidad, los cuales repercuten en una mejor comprensión de la evolución paleosecular regional. México cuenta con un gran acervo cultural, por las diversas culturas prehispánicas que se desarrollaron a lo largo de su territorio, aportando un sin número de artefactos arqueológicos como lo son, cerámicas, hornos, suelos y paredes quemadas entre otros, que junto a los flujos geológicos de la Faja Volcánica TransMexicana, permiten la obtención de datos confiables arqueomagnéticos. A la fecha gracias a los esfuerzos de la comunidad científica y las publicaciones desarrolladas, es posible el tener una base de datos lo bastante robusta como para desarrollar las primeras curvas de variación paleosecular direccional y poder observar los cambios más drásticos e importantes en los últimos tres milenios así como contribuir al conocimiento global del campo arqueomagnético, de igual manera su desarrollo tiene implicaciones importantes en dataciones arqueológicas y geológicas dentro del periodo estudiado.

SE11-2

## LOS HORNOS DE CAL EN MONTE ALBÁN ESTUDIO ARQUEOMAGNÉTICO Y ARQUEOMÉTRICO

Ortiz Soledad[1], Robles García Nelly[2], De Lucio Oscar G.[3], Gogichaishvili Avto[4], García Ríos Dante[2], Cejudo Rubén[4], Cervantes-Solano Miguel Ángel[4], Morales Juan[4] y García Rafael[4]
[1]*Estancia Posdoctoral – CONACYT, Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Delegación INAH Oaxaca*
[3]*Instituto de Física, UNAM*
[4]*Instituto de Geofísica, UNAM*
sole.ortiz.ruiz@gmail.com

Las investigaciones arqueológicas derivadas del Proyecto de Conservación de los Edificios Dañados por los Sismos del 2017 en Monte Albán y Atzompa permitieron en diciembre del 2020 el descubrimiento de dos estructuras que contenían cal, durante el 2021 se iniciaron las investigaciones arqueomagnéticas y arqueométricas que nos permiten presentar los primeros hornos de cal hallados en Monte Albán y fechados entre los años 713 y 883 d.C. y 1076 y 1321 d.C. permitiendo acercarnos al análisis de la producción de cal en la región zapoteca durante el Clásico y el Posclásico mesoamericano. El uso de los hornos de cal en Monte Albán alcanzó temperaturas entre los 750ºC y los 800ºC permite sugerir que los artesanos de Monte Albán tenían los conocimientos y procesos estandarizados al momento de desarrollar la industria de la cal en la región zapoteca. El hallazgo de los hornos de cal en esta región nos permite discutir la producción de cal en Mesoamérica y la distribución del conocimiento y la tecnología utilizada para dicha actividad. En este trabajo presentamos los resultados de los análisis arqueométricos y arqueomagnéticos de las muestras recuperados al interior de los hornos así como de unas muestras de piso recuperadas en edificios cercanos a los hornos. Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado a Soledad Ortiz mediante la estancia posdoctoral. Este trabajo fue parcialmente financiado por el proyecto Ciencia de Frontera CONACyT 731762; y se agradece el apoyo del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural (LANCIC) proyectos LN293904, LN299076 y LN314846 sede Instituto de Física de la UNAM.

SE11-3

## CATÁLOGO DE DATACIONES CRONOLÓGICAS ABSOLUTAS DISPONIBLES PARA LA ZONA ARQUEOLÓGICA LA QUEMADA, ZACATECAS (NORTE DE MESOAMÉRICA)

García Pimentel Alejandra Guadalupe[1], Torreblanca Carlos[2], García Rafael[1], Cervantes-Solano Miguel Ángel[3], Cejudo Rubén[1], Gogichaishvili Avto[1], Rivera Belmontes Juan Gerardo[4] y Morales Contreras Juan Julio[1]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*INAH, delegación Zacatecas*
[3]*ENES Morelia, UNAM*
[4]*INAH*
aalejandra9_15@hotmail.com

La zona arqueológica La Quemada es uno de los asentamientos más grandes e importantes dentro de la frontera Norte de Mesoamérica, se localiza en el municipio de Villanueva en el Estado de Zacatecas. Las investigaciones arqueológicas han permitido definir la secuencia ocupacional del sitio en tres fases: fase Malpaso (400 d.C. - 600/650 d.C.) compartiendo decoración inciso-esgrafiado con la cerámica Canutillo, correspondiente a la cultura Chalchihuites; fase La Quemada (600/650 d.C. - 850 d.C.) en la cual el sitio presentó su mayor crecimiento arquitectónico y se consolidó como centro de poder; en la fase Ciudadela (850 d.C. – 1000 d.C.) se presentó el proceso de abandono y un fuerte incendio. Los primeros datos cronológicos para La Quemada corresponden a métodos radiométricos y fueron producto de los trabajos de campo realizados por Pedro Armillas en los años 1951 y 1952, obteniendo 3 fechas, posteriormente, en los años 1963 y 1964 obtendría 7 fechas más para la Quemada y 2 para el sitio Presa de Ambosco. En 1986, Peter Jiménez y Charles Trombold obtuvieron 4 fechas para el sitio Las Adjuntas ubicada a 4 km de la Quemada. Posteriormente, de las excavaciones realizadas en el periodo del año 1988 a 1993, por SUNY Buffalo, en La Quemada, se obtuvieron 39 dataciones y en 1997, Ben A. Nelson publicó los contextos estratigráficos de las mismas. En 2017, Paula Turkon et al., publicó 6 fechas obtenidas por métodos dendrocronológicos correspondientes a la Quemada. Finalmente, en 2019 y 2020, se publicaron las últimas edades absolutas obtenidas para la Quemada, en esta ocasión fueron obtenidas por métodos arqueomagnéticos. El primero de estos estudios (López et al., 2019) arrojó dos edades y del segundo estudio (Torreblanca et al., 2020) se obtuvieron 4 edades más. Con lo que se construyó un catálogo que contiene 66 dataciones absolutas, se realizó una clasificación y análisis estadístico para las edades absolutas existentes que permitió identificar la cantidad de estructuras fechadas por métodos absolutos, las estructuras más jóvenes, así como las más antiguas, los periodos temporales de uso de cada una de ellas y lo más importante, este análisis permite observar en orden cronológico el desarrollo constructivo de La Quemada, Zacatecas. Se observó que más de la mitad de las edades se encuentran dentro del intervalo que va del año 600 d.C. al 800 d.C., el cual corresponde a la fase ocupacional La Quemada. De acuerdo al método de datación, se agruparon los intervalos de edad disponibles para cada estructura y se encontró que un fogón en la cancha del Juego de Pelota cuenta con una edad más reciente hacia 1623 d.C., lo cual indica su uso durante el período de la Conquista de México; y que las estructuras Terraza 18 y Midden 11 son las más antiguas, al presentar edades entre el año 130 d.C. y 170 d.C.

SE11-4

## ESTUDIO ARQUEOMAGNÉTICO DE DOS FOGONES UBICADOS EN EL SITIO ARQUEOLÓGICO EL OCOTE (AGUASCALIENTES)

García Pimentel Alejandra Guadalupe[1], Pelz Ana[2], García Rafael[1], Cejudo Rubén[1], Gogichaishvili Avto[1], Cervantes-Solano Miguel Ángel[3] y Morales Contreras Juan Julio[1]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Centro INAH Aguascalientes*
[3]*ENES Morelia, UNAM*
alejandra9_15@hotmail.com

La zona arqueológica El Ocote es un asentamiento prehispánico distribuido sobre la cima y las laderas del cerro Los Tecuanes, 40 km al Suroeste de la capital del Estado de Aguascalientes, México. Los trabajos de investigación en el sitio comenzaron en el año 2000, los cuales indican que el sitio tuvo su desarrollo durante el periodo Epiclásico, entre los años 650 d.C. y 900 d.C. Todavía no es posible definir los primeros pobladores del asentamiento, sin embargo, es claro que fueron grupos anteriores a las tribus chichimecas (Pelz 2012, 2013). El Ocote fue un asentamiento sedentario que practicó la agricultura, la pesca, la alfarería y la caza; intercambiando productos principalmente con la zona de occidente, las costas y la región del Bajío. Se realizó un muestreo arqueomagnético que permitió la obtención de dos muestras de fogones localizados en el sitio. La primera muestra se ubicó en el Cuadrante I, en el Cuadro M-8 de la cuadrícula de control para excavación. Se encontraba próximo a restos de semillas quemadas, similarmente a otras estructuras del sitio que también se han interpretado como fogones, sin embargo, no se detectaron fragmentos de ceniza o carbón en su interior. La segunda muestra se localizó en la parte alta del cerro, sobre la Plataforma 2 y tampoco se localizaron fragmentos de ceniza o carbón en su interior. Se prepararon 98 especímenes cúbicos y se midió la magnetización remanente natural a todos ellos, utilizando un magnetómetro de giro JR6, posteriormente se realizó un proceso de desmagnetización por campos alternos, a los 96 especímenes, utilizando campos de 0 a 90 mT para eliminar magnetizaciones secundarias y obtener sus paleodirecciones medias. Adicionalmente se realizaron experimentos de magnetismo de roca para definir la naturaleza de los portadores magnéticos responsables de la magnetización termorremanente. Finalmente, se realizará el cálculo de las paleodirecciones medias para cada uno de los fogones utilizando la estadística fisheriana (Fisher, 1953), con la finalidad de realizar la datación arqueomagnética de los mismos mediante la herramienta de datación de Matlab (Pavón-Carrasco et al., 2011) comparándolas con el modelo geomagnético SHA.DIF.14K (Pavón-Carrasco et al., 2014) utilizando la curva de variación paleosecular más reciente para México. Lo anterior nos permitirá obtener la fecha más probable del último uso de dichos fogones, logrando realizar una aportación a la cronología absoluta del sitio.

SE11-5

## UN ACERCAMIENTO A LA CARACTERIZACIÓN ARQUEOMÉTRICA DE LOS ENGOBES BLANCOS DE LAS CERÁMICAS DEL PERÍODO FORMATIVO DE ZAZACATLA, MORELOS Y OJO DE AGUA, ESTADO DE MÉXICO

Sánchez Tornero Francisco Javier[1] y Sugiura Yoko[2]
[1]*CUCSH, Universidad de Guadalajara*
[2]*El Colegio Mexiquense, A.C.*
arqueosantor@hotmail.com

Se sometieron las muestras cerámicas con engobe blanco del periodo Formativo medio (ca. 900-400 a.C.) recuperadas en el sitio arqueológico de Zazacatla, Morelos y el manantial de Ojo de Agua, Edo. de México, a microscopía electrónica de barrido (MEB) y microanálisis por dispersión de energías de rayos X (EDX) y se obtuvieron los resultados siguientes: las primeras sugieren que el engobe blanco está constituido por calcita (CO3Ca) y silicatos (arcilla), mientras que el engobe blanco de las muestras de Ojo de Agua, se elaboró con diatomea fósil. Con base en los resultados arqueométricos, se discutirán acerca de las diferencias, entre los dos sitios mencionados, en el uso de materia prima para elaborar el pigmento blanco, color que se caracteriza la cerámica del Formativo.

SE11-6

## PROYECTO JICALÁN VIEJO: UN ENFOQUE ARQUEOMÉTRICO Y TECNOLÓGICO

Maldonado Alvarez Blanca Estela
*El Colegio de Michoacán, A.C., COLMICH*
bem171@gmail.com

El cobre y sus aleaciones fueron la materia prima por excelencia para la mayoría de las industrias metalúrgicas precolombinas. En la antigua Mesoamérica, el cobre no sólo era el metal predominante, sino también el material base más ampliamente utilizado. Cuando los colonizadores asumieron el control de la industria del cobre local en 1533, emplearon mineros y fundidores nativos, quienes durante décadas siguieron utilizando las técnicas metalúrgicas que ya conocían. Durante los siguientes 300 años de dominio español, se extrajeron diferentes minerales del subsuelo. El cobre fue extraído principalmente de minas de la Cuenca del Balsas, que siguen contándose hoy entre los depósitos minerales más importantes de México. A partir de un extenso análisis iconológico del documento pictográfico conocido como el Lienzo de Jicalán o Lienzo de Jucutacato (segunda mitad del siglo XVI), en 2003 un equipo de investigadores de El Colegio de Michoacán, A.C., llevó a cabo una prospección arqueológica preliminar de Jicalán. El sitio fue identificado como el famoso Xiuhquilan, el lugar clave de la historia minera narrada en el lienzo. Sus habitantes eran hablantes de náhuatl que decían haber migrado a Michoacán desde el oriente de Mesoamérica en tiempos primordiales y asumían una identidad tolteca-nonohualca. Una de las características más sobresalientes del sitio es la presencia de grandes depósitos de escoria. Muestras recuperadas de la superficie del sitio fueron analizadas científicamente. Los resultados de los análisis demostraron que la escoria de Jicalán se deriva del procesamiento de calcopirita y que los especialistas indígenas emplearon un método altamente reductivo, sofisticado y eficiente para obtener cobre de este mineral, aunque se desconoce el tipo de hornos e implementos empleados en el proceso extractivo. El proyecto sentó las bases para futuras excavaciones sistemáticas que permitirán ampliar la información no sólo del sitio, sino del resto de Mesoamérica, así como del propio lienzo y otros documentos históricos. Las investigaciones realizadas en Jicalán y otros sitios en Michoacán, han producido importante evidencia de extracción metalúrgica, en forma principalmente de escorias de fundición. Sin embargo, se han registrado pocos artefactos asociados con el procesamiento de mineral y se desconoce a la fecha el método de fundición empleado en dicha actividad. Hasta el momento, no existen estudios sistemáticos de hornos de fundición mesoamericanos. La presente propuesta se deriva del planteamiento de un proyecto de más largo aliento, encaminado a la exploración de la secuencial tecnológica de la minería y metalurgia mesoamericana, mediante el uso de múltiples líneas de evidencia, incluyendo información geológica, arqueológica, arqueométrica, histórica, etnográfica y experimental. Se espera que los datos arqueológicos y arqueométricos obtenidos, hagan posible documentar por primera vez, talleres de extracción metalúrgica en Mesoamérica. El propósito del presente trabajo, es discutir los métodos arqueométricos que se emplearán en la investigación.

SE11-7

## ESTUDIOS ARQUEOMÉTRICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS PETROGRABADOS EN LA PRESA DE LA LUZ, JESÚS MARÍA, JALISCO

Esparza López Juan Rodrigo[1], López Delgado Verónica[2], Gogichaishvili Avto[2], Cejudo Rubén[3] y Yoshida Teuraki[4]
[1]*El Colegio de Michoacán, A.C., COLMICH*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica y Centro de Investigación en Geografía Ambiental*
[4]*Universidad de Tokai, Japón*
jresparza@yahoo.com

Desde el año de 2012 iniciamos los trabajos de registro e investigación de los petrograbados hallados en las inmediaciones de la Presa de la Luz, municipio de Jesús María, Jalisco. En el trabajo de investigación, además de nuestro objetivo que ha sido el registro de los mismos, se ha puesto en marcha un trabajo de estudio y conservación de los propios petrograbados a través de varias técnicas básicas y otras innovadoras que se estarán haciendo en la próxima temporada. Uno de las dificultades de estos motivos arqueológicos es su fechamiento, pues no teniendo otro indicador para fechar se asocian con otros elementos que están cercanos o en el mismo contexto, como basamentos, cerámica, lítica, entre otros. En estos estudios se utilizó la técnica de arqueomagnetismo, además de fotografía 3D y con dron, también se están por hacer algunos estudios de fitolitos, polen y residuos químicos. Los primeros resultados señalan una relación con asentamientos que son del periodo Epiclásico (entre el 600 al 900 d.C.), pero con una influencia del centro de México, principalmente de Teotihuacan.

SE11-8 PLÁTICA INVITADA

## REALIDAD AUMENTADA, FOTOGRAMETRÍA Y MODELADO 3D PARA LA DOCUMENTACIÓN DE MANIFESTACIONES GRÁFICAS RUPESTRES

Moreno Nava Ignacio, Martínez Reyes José, Ortiz Soriano Agustina, Vera Romero Iván, Estrada Jaramillo Melitón, Villa Fajardo Moises Ramón, Rosiles Salas Javier y Navarrete Vela Juan Pablo
*Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo*
imoreno@ucemich.edu.mx

Las manifestaciones gráficas rupestres (MGR), si bien no han sido estudiadas tan ampliamente como otros materiales arqueológicos (Rodríguez Mota, 2014) constituyen un temática investigativa con amplias posibilidades de integración con las nuevas tecnologías. Desde el Laboratorio de Gestión Cultural y Humanidades Digitales en conjunto con el Cuerpo Académico UC-CA-3 de la Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo se encuentran en proceso una serie de trabajos para la documentación de este tipo de vestigios en la región Ciénega de Chapala del Estado de Michoacán. Los datos de ubicaciones de MGR fueron obtenidos durante el desarrollo del proyecto PADES UCEMICH 2019 – 2_ ”Interpretación y socialización permanente de los patrimonios culturales y naturales de la región Ciénega de Chapala del Estado de Michoacán para su puesta en valor mediante productos turísticos”, que tiene entre sus objetivos la producción de contenidos de interpretación patrimonial en formatos audiovisuales y digitales, haciendo uso de técnicas y herramientas de la gestión cultural y las humanidades digitales. En el caso de las MGR se busca propiciar procesos de valoración por parte de la sociedad, poniendo en relevancia la importancia de su conservación mediante un formato de curso corto montado en la plataforma digital MOODLE donde por medio de actividades didácticas se integran diversos modelos y estrategias de educación patrimonial. Las ubicaciones de las MGR no son compartidas al público en general, pero si los materiales generados que sirven para apreciarlas, conocerlas y explicar su importancia para la arqueología regional. El registro de los MGR se realiza mediante el uso de técnicas no invasivas como realidad aumentada con la aplicación GeoCam Pro, registrando coordenadas, orientación, altura e inclinación. Se efectúa también un registro de sus dimensiones. La documentación visual se lleva a cabo mediante fotografías, utilizando un equipo Canon EOS Rebel SL3® con lente EF-S 18-55mm IS STM en modo manual, a 3552 x 2664 pixeles. En el caso de MGR con pigmentos se lleva a cabo procesamiento digital, utilizando un procedimiento de reconstrucción basado en algoritmos de estiramiento de decorrelación del plugin DStretch del software ImageJ, desarrollado por Harman (2005). Los materiales fotográficos son utilizados como insumo para el software open source de fotogrametría VisualSFM (Wu, 2011), construyendo el 3D usando la técnica de estructura por movimiento (SFM) y produciendo una nube de puntos que representa fielmente la superficie. VisualSFM extrae los parámetros de la cámara y el lente de las etiquetas EXIF de las imágenes (Falkingham, 2013), conformando una “nube de puntos” no densificada, generando un esbozo del objeto o superficie fotografiada. Posteriormente se realiza una reconstrucción densa mediante el uso de CMVS / PMVS de Yasutaka Furukawa. Después se procede a producir una malla con textura fotográfica utilizando el software Meshlab, software de código abierto para procesar y editar mallas triangulares en 3D (Cignoni, Callieri, Corsini, Dellepiane, Ganovelli & Ranzuglia, 2008). Meshlab permite la exportación de archivos glTF or GLB para la visualización mediante un visor 3D online, permitiendo así su integración como contenidos didácticos e interactivos del curso.

Sesión especial

# TECNOLOGÍAS APLICADAS A LAS CIENCIAS DEL SUELO

Organizadores:
Ángeles Gallegos
Francisco Bautista

SE12-1

## HERRAMIENTAS POCO CONVENCIONALES PARA LA DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELO EN CAMPO

Bautista Francisco y Gallegos Ángeles
*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
leptosol@ciga.unam.mx

La descripción del perfil de los suelos y del sitio donde se localiza el perfil son fuente de información imprescindible para la evaluación de la calidad de los suelos, por este motivo y gracias a los avances tecnológicos, en los últimos años se han generado una gran cantidad de sensores denominados en inglés "Proximal soil sensing" o sensores cercanos del suelo, incluso el denominado "kit soil doctor" para evaluar la fertilidad y salud del suelo o incluso el "Global Soil Doctors Programme" de la FAO que consiste en la formación de recursos humanos campesinos que puedan y comprendan el uso de herramientas de campo para evaluar la calidad de sus suelos. El objetivo de este trabajo fue describir las nuevas herramientas generadas para el estudio del perfil del suelo y del sitio de estudio, así como explicar la forma en la que se mejora el conocimiento de la morfología y funcionamiento del perfil del suelo. En este sentido, el primer paso para la generación de información edafológica de calidad es contar con los insumos adecuados para realizar una buena descripción del perfil del suelo, lo más cuantitativa posible. Por lo que en este trabajo se proponen y describen los materiales, herramientas y equipos necesarios para armar un kit de campo completo que permita realizar un buen muestreo de suelos. Algunos de los materiales propuestos son: GPS o dispositivo con aplicación móvil que muestre las coordenadas de ubicación en tiempo real; clinómetro digital; colorímetro numérico de campo; microscopio de campo para el registro de rasgos pedológicos; medidor digital de pH directo en suelos sin dilución; medidor digital de conductividad eléctrica y temperatura; cámara digital; escáner 3D para densidad aparente y rasgos pedológicos; espectrómetro digital de XRF de campo para contenidos totales; sensor de susceptibilidad magnética; pistola de infrarrojo portátil; radar de penetración terrestre; sensor de resistividad; cámaras para respiración del suelo; analizador NIR portátil; penetrómetro, entre otros, así como dispositivo móvil (tableta o teléfono inteligente) con las aplicaciones Cal-Eda, COS+, Soil Calculator Simple, Color Grab y Visio-tek. Los insumos propuestos conforman un conjunto de herramientas de muestreo completo que permitirá la generación de información edafológica de calidad para el análisis de la morfología y funcionamiento del perfil del suelo en campo que permitirá la obtención de información cuantitativa de forma rápida, precisa y exacta. La ciencia del suelo del siglo XXI nos dirige no sólo hacia la actualización de los métodos de estudio de los suelos, sino también a la de las herramientas utilizados para el muestreo y descripción de los perfiles de suelos.

SE12-2

## MORFOMETRÍA DIGITAL DE FRAGMENTOS GRUESOS Y DELIMITACIÓN DE HORIZONTES EN PERFILES DE SUELO USANDO FOTOGRAFÍAS DIGITALES

Gallegos Ángeles y Bautista Francisco
*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
angelesgallegostavera@gmail.com

Durante muchos años la evaluación de algunas propiedades del suelo como la delineación de horizontes, la pedregosidad, así como diversos rasgos pedológicos como moteados, concreciones e incluso la cantidad de raíces, todas ellas se han evaluado de forma cualitativa o semicuantitativa, actualmente la generación de tecnologías (cámaras digitales) y recursos informáticos (hardware y software) se está utilizando para mejorar la cuantificación de las propiedades del perfil del suelo. El objetivo de este estudio fue desarrollar un método para la delimitación de horizontes y cuantificación de fragmentos gruesos en perfiles de suelo de áreas volcánicas utilizando imágenes digitales. La delimitación de los horizontes del perfil del suelo incluyó las siguientes fases: preprocesamiento de la imagen digital, extracción de sistemas de color de la imagen preprocesada, segmentación k-medias de los sistemas de color HSV y CIE L*a*b*, delimitación y determinación de las características de los horizontes. Los fragmentos gruesos se cuantificaron en tres fases: análisis de superpíxeles de la imagen, clasificación de los objetos de la imagen, y extracción y cuantificación de los fragmentos gruesos. Se utilizaron las imágenes de un Eutric Andic Cambisol (Loamic, Ochric) y un Mollic Silandic Andosol (Loamic) para el entrenamiento del método. Para la delimitación del horizonte, el sistema de color HSV funcionó mejor para el Eutric Andic Cambisol (Loamic, Ochric), y el sistema CIE L*a*b* para el Eutric Skeletic Mollic Silandic Andosol (Loamic). Con la imagen RGB y el componente S del sistema HSV se obtuvo un rendimiento similar en el cálculo del volumen de fragmentos gruesos para el Eutric Andic Cambisol (Loamic, Ochric), mientras que el componente S funcionó mejor para el Eutric Skeletic Mollic Silandic Andosol (Loamic). El procesamiento supervisado de las imágenes de los perfiles de suelo produjo los mejores resultados de la prueba del método. Creamos un sistema gráfico de toma de decisiones para la delimitación de horizontes de suelo y cuantificación de fragmentos gruesos en imágenes digitales de perfiles de suelo. Los resultados de este trabajo permiten una mejor selección de métodos para procesar imágenes digitales de los perfiles del suelo y para la transición de estimaciones visuales realizadas por expertos a la cuantificación digital de las propiedades del suelo, lo cual permitirá la evaluación edafoecológica, es decir, calcular las propiedades del suelo en unidades de superficies, como por ejemplo t/ha, L/m², entre otras, para luego ser utilizadas en modelos cuantitativos de las funciones ambientales de los suelos o de los servicios ecosistémicos del suelo, es decir, la ciencia del suelo del siglo XXI.

SE12-3 PLÁTICA INVITADA

## TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA PARA DETERMINAR LA ZONA SATURADA EN SUELOS CULTIVADOS CON ELAEIS GUINEENSIS EN TABASCO

Sánchez Hernández Rufo, Chávez Hernández Guillermo, Galicia García Pamela, Estrada Botello Maximiano Antonio, Sánchez García María Dolores y Bolaina Vasconcelos Jonathan
*Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*
rufo.sanchez@ujat.mx

La geofísica aplicada se usa frecuentemente en ámbitos específicos de la industria minera e hidrocarburos. Sin embargo, recientemente las técnicas geofísicas se han extendidos a otros ámbitos, como las ciencias ambientales. Las aplicaciones de la geofísica al campo de la agricultura, permite determinar algunas características espaciales del recurso hídrico que subyace en áreas de cultivo, con la finalidad de lograr una mejor gestión y conservación del agua. Durante la última década en el sur de México, ha crecido vertiginosamente la superficie cultivada de palma de aceite (Elaeis guineensis), un cultivo que ha traído beneficios económicos y generación de empleos. Sin embargo, los pocos estudios de impacto ambiental que el cultivo puede tener en el corto, mediano y largo plazo, ha provocado que también al cultivo, se le atribuyan efectos adversos, como deforestación, degradación de suelos y en particular, agotamiento excesivo del agua que subyace en el suelo cultivado. Dentro de los métodos geofísicos prospectivos, la tomografía de resistividad eléctrica (TRE) ofrece rapidez en la ejecución de las medidas, poder de resolución, bajo costo, profundidad de investigación y es una prueba no destructiva. Por ello, se utilizó la TRE en tres áreas cultivadas con palma de aceite de 5, 11 y 25 años de edad, así como de un pastizal aledaño a las plantaciones de la oleaginosa antes mencionada, con la finalidad de generar información sobre la hipotética sobre extracción hídrica causada por el cultivo de palma de aceite. En cada área se realizaron 5 perfiles con arreglo dipolo-dipolo de 120 metros de longitud, separados cada 5 metros. Los primeros 40 metros iniciaron en pastizales y se internaron 80 metros dentro de las plantaciones de palma de aceite de cada edad. Mediante un resistivímetro Syscal Junior de IRIS INSTRUMENT, se calculó la distribución de la resistividad eléctrica de un gran número de medidas de resistividad aparente del subsuelo, que permitió generar una imagen eléctrica, que muestra la distribución de la resistividad verdadera del subsuelo. En cada línea se realizó la inversión de datos a través del software Res2Dinv, para generar un modelo 2D, poniendo énfasis en el nivel de la profundidad de la zona saturada, tanto en las plantaciones de palma de aceite, como del pastizal respectivamente. Los resultados muestran que el nivel de la zona saturada es más profundo en las plantaciones de palma con respecto al pastizal, particularmente en plantaciones de 25 años. Aunque la medición se realizó durante la temporada de lluvias, la zona de saturación en el subsuelo, es más profunda en plantaciones de palma de aceite que en pastizales, lo que sugiere que el cultivo abate más agua que los pastizales aledaños. La técnica geofísica de la TRE ofreció buenos resultados en la prospección de la zona saturada en áreas cultivadas con palma de aceite. Da indicios no concluyentes que, en temporadas de lluvia, la palma aceitera abate más agua del subsuelo respecto al pastizal, sin embargo, para fortalecer estos hallazgos, es necesario realizar estudios más exhaustivos, en épocas criticas de sequía.

SE12-4

## EL USO DE DRONES PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS AFLORAMIENTOS DE ROCA EN LEPTOSOLS DEL KARST RECIENTE DE YUCATÁN

Gijón Yescas Neftaly[1], Aguilar Duarte Yameli[2] y Bautista Zúñiga Francisco[3]
[1]*Universidad Autónoma de Yucatán*
[2]*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*
[3]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
nefthally@gmail.com

En todos los inventarios regionales de carbono orgánico en el suelo se han reportado valores altos, lo cual contrasta con los inventarios realizados a nivel de parcela. Esta situación ha ocurrido debido a que las bases de datos de suelos oficiales no incluyen la densidad aparente, ni la pedregosidad, ni los afloramientos rocosos. En trabajos previos ya se han reportado valores de densidad aparente y de pedregosidad, pero sobre la discontinuidad del suelo por los afloramientos de roca no han sido tomados en cuenta en los cálculos del carbono orgánico por unidad de superficie en reportes previos. En la actualidad, las tecnologías como los drones y técnicas de fotogrametría representan oportunidades para una caracterización más rápida y de bajo costo de los afloramientos rocosos presente en el área de interés. El objetivo de este trabajo fue la cuantificación de los afloramientos de roca de una parcela mediante el uso de imágenes de alta resolución obtenidas con drones. Se visitó un terreno perteneciente a la localidad de Nohuayún en el municipio de Tetiz al noroeste de Yucatán entre los 20º 58' y 34 LN y los 89º 58' 13" LO. Esta localidad se ubica en planicies kársticas de menos de 10 msnm con clima semiárido con lluvias en verano (BS1(h')w) y con vegetación de selva baja caducifolia. Se realizó un sobrevuelo en el área de estudio a una altura de 60 m con traslapes frontal y lateral de 75% y 70% respectivamente, utilizando un dron Phantom 3 standard. El procesamiento fotogramétrico de las imágenes se realizó en línea utilizando el portal DroneDeploy.

Se realizó una clasificación supervisada con el ortomosaico obtenido (resolución 2.64 cm/px), en conjunto con el sistema de información geográfica QGIS y la herramienta SCP (semi-automatic classification plugin). La superficie evaluada fue de 2.24 ha sobrevolada en seis minutos utilizando los parámetros de vuelo descritos. Las coberturas fueron las siguientes: i) vegetación con 9425 m2 que representaron el 42% de la superficie; ii) suelos con 6885 m2 que representan el 31% y iii) afloramientos de roca, con 6120 m2 que representa el 27% de la superficie total. Las imágenes de alta resolución obtenidas con drones nos permitieron observar, analizar y cuantificar en poco tiempo, la presencia, distribución, superficie y porcentaje de suelos, afloramientos rocas y vegetación. Se comprobó que los suelos son discontinuos y que al no incluir este dato en los cálculos de las toneladas de carbono orgánico del suelo por hectárea se sobreestima su contenido en un 27% más.

SE12-5 PLÁTICA INVITADA

## ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE DOLINAS DEL ESTADO DE YUCATÁN CON INSUMOS DE ALTA RESOLUCIÓN OBTENIDOS CON DRONES

Gijón Yescas Neftaly[1], Aguilar Duarte Yameli[2] y Estrada Medina Héctor[1]
[1]*Universidad Autónoma de Yucatán*
[2]*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*
nefthally@gmail.com

Los antecedentes de los estudios morfométricos sobre depresiones kársticas en Yucatán se han enfocado en la identificación de formas en planta mediante mapas topográficos y modelos digitales de elevación. No obstante, con el uso de estos insumos solo se han generado aproximaciones de la cantidad y dimensiones de las dolinas. El objetivo del estudio es realizar el análisis morfométrico tridimensional de dolinas en dos morfoambientes del estado de Yucatán, para identificar patrones morfológicos. Se realizaron sobrevuelos con dron en la zona centro y oriente del estado de Yucatán. Las imágenes aéreas capturadas se procesaron fotogramétricamente, obteniendo ortomosaicos y nubes de puntos. Con el procesamiento de las nubes de puntos se generaron los modelos digitales del terreno de las dolinas y posteriormente se calcularon sus parámetros morfométricos (altimétricos y planimétricos). El área total que se sobrevoló en la zona centro y oriente fue de 373.28 ha y 289.80 ha respectivamente. En la zona oriente se registró una mayor densidad de dolinas por vuelo, capturando hasta siete dolinas por sitio, mientras que en la zona centro se capturó un máximo de dos dolinas. En total se registraron 33 dolinas; 22 en el oriente y 11 en el centro del estado. Con el uso de drones fue posible capturar nuevas dolinas (4 en el centro y 20 en el oriente) que no estaban registradas en los mapas topográficos escala 1:50000 y en los inventarios de cenotes del gobierno estatal. En la zona centro del estado se registraron las dolinas con los perímetros más grandes, asimismo, en esta zona se presentó la mayor variación de alturas en el perímetro ( 8.79 m). La mayoría de las dolinas de la zona oriente (72%) y centro (54%) presentaron formas circulares y subcirculares. Las dolinas con la mayor y menor profundidad se ubicaron en la zona oriente. Con el uso de modelos digitales del terreno fue posible realizar una delineación más precisa del perímetro de las dolinas además de calcular sus parámetros morfométricos con mayor confiabilidad.

SE12-6

## SABIDURÍA CAMPESINA, CONOCIMIENTO TÉCNICO Y APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA EVALUACIÓN DE TIERRAS PARA CULTIVO DE CAFÉ

Bautista Francisco[1], López Dante[2], Palma David[3] y Gallegos Ángeles[1]
[1]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[2]*Universidad Autónoma de Chapingo*
[3]*Colegio de Postgraduados, COLPOS*
leptosol@ciga.unam.mx

Las plantaciones de café orgánico son agroecosistemas que conservan el suelo y la biodiversidad; sin embargo, en las montañas de la Mixteca Alta la apertura de tierras para el cultivo del café no siempre es exitosa, lo cual repercute en la degradación de los ecosistemas y en pérdidas económicas ante la falta de modelos de aptitud del suelo. El objetivo fue la evaluación de tierras para el cultivo del café, considerando la sabiduría campesina, el conocimiento técnico y el aprendizaje automático. Con la sabiduría campesina se realizó un mapa de la altitud que está relacionada con el clima y con el cultivo del café. Se describieron 28 perfiles de suelos y características de los sitios como altitud y pendiente en parcelas de cultivo del café, se clasificaron con base en la sabiduría campesina como suelos aptos (A1), moderadamente aptos (A2) y no aptos (NA). Se analizaron las propiedades físicas y químicas de las muestras de suelo por horizontes, los datos se convirtieron a unidades por unidades de superficie (evaluación edafo-ecológica), con estos datos se realizó un análisis discriminante utilizando las propiedades físicas y químicas del suelo como variables clasificatorias y los niveles de aptitud como variables de agrupación. Se realizó un análisis de aprendizaje automático (AA) para identificar las propiedades del suelo y de los sitios que influyen en la aptitud para el cultivo del café. Se evaluaron las funciones ambientales de cada suelo. Los campesinos clasificaron 15, 7 y 6 cafetales como A1, A2 y NA, respectivamente. La evaluación campesina de la aptitud de los suelos para el cultivo de café tuvo 86% de casos correctamente asignados utilizando las propiedades físicas y químicas de los suelos por perfil, es decir, la sabiduría campesina tuvo soporte químico y físico de las propiedades del suelo. La profundidad del perfil del suelo, capacidad de intercambio de cationes y la conductividad eléctrica fueron las propiedades de los suelos que permitieron formar las clases de aptitud. El aprendizaje automático permitió identificar el valor umbral de la aptitud para el cultivo del café, la profundidad del perfil del suelo (94 cm), la altitud del sitio (1669 msnm) y la conductividad eléctrica del suelo (0.08 dS m-1). En términos generales, los suelos cultivados con café mantienen altos niveles en sus funciones ambientales, por ejemplo, la naturalidad del perfil del suelo en todos los casos es muy alta debido a que no se utiliza ningún tipo de labranza. La retención de nutrimentos de los suelos fue alta debido a los altos valores de CIC; sin embargo, las altas precipitaciones impiden que se lleve a cabo esta función del suelo. La estrategia metodológica utilizada de manera secuencial (sabiduría local, análisis multivariado y aprendizaje automático) permitió identificar las propiedades más importantes de los suelos y de los sitios en la evaluación de la aptitud de la tierra. El cultivo de café cumple con las condiciones de seguridad del suelo debido a que se preservan las funciones ambientales aún con el cultivo de café.

SE12-7

## USO DE LA GEOESTADÍSTICA EN LA ELABORACIÓN DE MAPAS PARCELARIOS PARA EVALUAR LOS EFECTOS DE LA QUEMA AGRÍCOLA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Estrada Medina Héctor[1], Arita Morales Sofía[1], Álvarez-Rivera Osar[1], López Díaz Mariana[1] y Bautista Zúñiga Francisco[2]
[1]*Universidad Autónoma de Yucatán*
[2]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
hector.estrada@correo.uady.mx

En sitios con alta heterogeneidad edáfica, la evaluación de los efectos de las prácticas de manejo sobre las propiedades del suelo se dificulta; ya que, si se desconoce la variación de los atributos a medir, no se puede calcular de manera precisa el tamaño muestral. Una posible solución. para superficies pequeñas (menos de 2 hectáreas). es la elaboración de mapas parcelarios en los cuales se pueden realizar muestreos sistemáticos antes y después de la implementación de una práctica de manejo a evaluar, esto para comparar visual y cuantitativamente sus efectos. En el presente estudio, se evaluaron los efectos de la quema agrícola sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo en una parcela de 40x40m, en la cual se tomaron muestras antes y después de la quema, mediante un muestreo sistemático en forma de cuadrícula de 5x5 m. La quema se realizó de acuerdo con las costumbres de la zona (sistema roza-tumba-quema). Las muestras de suelo fueron colectadas de 0-30 cm, o hasta donde se encontró la roca dura, en cada intersección de la cuadrícula (N= 81 muestras). Cada punto fue georeferenciado, a partir de las coordenadas UTM del vértice inicial. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas a 2 mm y se les realizaron los siguientes análisis: color, contenido de arenas, limos y arcillas, capacidad de campo, estabilidad de los agregados (mayores y menores a 2mm), pH (1:2), conductividad eléctrica (1:5), potencial redox, capacidad de intercambio de cationes y contenidos de C, N, P, K, Na, Ca, Mg. Con los datos de cada variable se elaboraron mapas con resolución a 1m utilizando el método de interpolación Kriging en el programa surfer Versión 11. Los resultados de los promedios, antes y después de la quema, de las 81 muestras fueron suficientes para identificar cambios en la mayoría de las variables analizadas. Se observó que la capacidad de campo, pH, conductividad eléctrica, y los contenidos de P, K y Na aumentaron después de la quema mientras que el potencial redox y capacidad de intercambio de cationes disminuyeron. Los contenidos de carbono, calcio y magnesio no presentaron diferencias significativas. En los mapas fue posible identificar las zonas con las mayores diferencias antes y después de la quema, lo que puede ayudar a una mejor interpretación y entendimiento de los efectos de la quema, así como de las subsecuentes prácticas de manejo, como, por ejemplo, explicar las diferencias espaciales en el rendimiento de los cultivos. Con los datos de antes y después de la quema, fue posible elaborar, para cada variable, un tercer mapa, donde se muestran visual y cuantitativamente los sitios de la parcela de estudio donde hubo aumento o disminución de los valores de las variables evaluadas. Esta metodología nos podría permitir también realizar una gestión más adecuada del recurso suelo, ya que permite conocer la dinámica espacial y temporal de las propiedades fisicoquímicas, y con esto realizar un uno más eficiente del recurso suelo (ubicando mejores sitios de siembra, lugares más adecuados para ciertas especies, etc.).

SE12-8

## MAPEO DIGITAL DE SUELOS EN PLANICIE Y LOMERÍOS DEL ESTADO DE TABASCO, MÉXICO

López Antonio[1], Bautista Francisco[2], Zavala Joel[1], Palma David Jesús[1] y Rincón Joaquín Alberto[1]
[1]*Colegio de Postgraduados, COLPOS*
[2]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
candyanto@hotmail.com

La información detallada de suelo, su variabilidad espacial y distribución es fundamental para enfrentar los problemas regionales y locales, lograr su manejo sustentable y uso eficiente. En la actualidad existe una constante demanda de información espacial del suelo, en respuesta a esta demanda, las técnicas de

mapeo digital de suelos (MDS) se consideran una forma eficiente de generar información y explicar su distribución espacial. El MDS es una base de datos espacial de propiedades del suelo, estas propiedades en combinación con los factores formadores forman un conjunto de datos y, mediante la aplicación de la geoestadística, permiten interpolar y predecir las propiedades en áreas no muestreadas, y generar mapas de suelos en menor tiempo y costo. El objetivo de este trabajo fue identificar y caracterizar zonas de manejo mediante la predicción espacial y el mapeo digital de atributos del suelo de interés, basado en la validación geoestadística. El estudio se realizó en dos paisajes geomorfológicos denominados planicie y lomerío, se localizan en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, en una superficie de 29 398 ha, entre las coordenadas geográficas 17°49'00" y 18°01'00" de latitud norte, y 93°31'30" y 93°44'30" longitud oeste, altitud de 0 a 34 msnm. Se describieron 43 perfiles de suelos en tres transectos, considerando los paisajes geomorfológicos, la variabilidad de las formas del terreno y el tipo de roca. La descripción y muestreo de suelo se basó en el manual de descripción de suelos de Cuanalo (1990) y FAO (2009). Las muestras de suelo se analizaron de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Las propiedades químicas analizadas al horizonte A fueron: pH, K, Ca, Mg, Na y CIC. El software Soil & Enveroment, se usó para el análisis de las determinaciones edafológicas: Capacidad de campo (CC), Volumen poroso total (VPT), capacidad de aireación (CA) y conductividad hidráulica (KI). Se construyó una base de datos del suelo georreferenciada y se realizó la interpolación kriging usando el software GS+ obteniendo los mapas de las propiedades del suelo. Los resultados evidencian que el área de estudio presentó condiciones de variabilidad en los atributos del suelo. El análisis de la estadística clásica determinó que el Ca, CIC, CC y VPT presentaron alta variabilidad. El Mg, CA y KI presentaron una variabilidad mediana, y el pH, K y Na, presentaron baja variabilidad. El modelo que mejor describió la variabilidad de las propiedades del suelo fue el Gaussiano, los parámetros del semivariograma se consideran aceptables obteniendo un coeficiente de determinación mayor de r2 0.65. El uso de técnicas geoestadísticas permitió detectar y establecer zonas de manejo. Los mapas generados por el método de kriging facilitaron la identificación de áreas con diferente variabilidad de cada parámetro, Además, es posible diferenciar niveles altos a bajos de cada parámetro, con base en clasificaciones establecidas. Con esta cartografía digital es posible realizar recomendaciones de manejo agronómico en función de la necesidad de cada sistema de producción agrícola, para especies tolerantes a la acidez, y variedades que toleran sequía y excesos de humedad en el suelo.

SE12-9 CARTEL

## ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO EN SUELOS DE ZONAS VOLCÁNICAS CON TÉCNICAS DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO

Gallegos Ángeles y Bautista Francisco
*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
angelesgallegostavera@gmail.com

Gracias al desarrollo de nuevas tecnologías de análisis de patrones de datos, como el aprendizaje automático (AA), se han desarrollado en todo el mundo una gran cantidad de modelos de inferencia de propiedades de los suelos de difícil medición (funciones de pedotransferencia). Sin embargo, existen pocos modelos que consideren las características particulares de los suelos de zonas volcánicas. El objetivo de este estudio fue la generación y comparación de funciones de pedotransferencia desarrolladas con técnicas de AA para la estimación de la densidad aparente (DA) y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de suelos de zonas volcánicas. El área de estudio corresponde al estado de Michoacán, México. Para la generación de las funciones de pedotransferencia se utilizaron los algoritmos de aprendizaje supervisado M5Rules, M5P y Random Forest con las opciones de prueba validación cruzada, set de entrenamiento y división porcentual del software Weka 3.8.4. Se utilizaron como variables predictoras para la DA la presencia de alófano, forma y estabilidad de la estructura, pH, materia orgánica, CIC y clase textural de 123 horizontes de perfiles de suelos. En el caso de la CIC, se utilizaron la forma de la estructura, DA, pH, materia orgánica y clase textural de 340 horizontes de perfiles de suelos. Para la selección de los mejores modelos de estimación se compararon sus coeficientes de correlación y la congruencia teórica con base en conocimiento experto. Para la DA, el set de entrenamiento obtuvo los mejores coeficientes de correlación, le siguieron la división porcentual y validación cruzada. El modelo generado con random forest obtuvo la mejor precisión de estimación (0.97), sin embargo, los modelos generados con M5P y M5Rules presentaron mayor congruencia teórica. En el caso de la CIC, los modelos generados con set de entrenamiento alcanzaron los mejores coeficientes de correlación, la división porcentual y validación cruzada presentaron precisiones similares. El modelo con mejor precisión fue el de random forest (0.96), y el que mostró mayor congruencia teórica fue el M5P. El uso de técnicas de AA permitió la generación de modelos de estimación de la DA y CIC de suelos de zonas volcánicas con precisión y congruencia teórica aceptables. En general, recomendamos utilizar las funciones de pedotransferencia generadas con el algoritmo M5P. Por otro lado, aunque el análisis de patrones de datos permite dar un enfoque cuantitativo y conocer la precisión de los modelos de estimación, la congruencia de los modelos siempre debe comprobarse con base en conocimiento teórico experto.

SE12-10 CARTEL

## EL MAGNETISMO Y EL COLOR DEL SUELO COMO INDICADORES RÁPIDOS PARA IDENTIFICAR EL EFECTO DE LA QUEMA AGRÍCOLA

Iniesta Lizeth[1], García Rafael[2], Bautista Francisco[3], Sánchez Rufo[4] y Gogichaishvili Avto[2]
[1]*ENES Morelia, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[4]*DACA, UJAT*
iniestalize@gmail.com

En la norma oficial mexicana se dice "la quema en terrenos agrícolas frecuentemente resulta más perjudicial que benéfica, sobre todo porque contribuye, entre otras cosas, a la degradación del suelo". Sin embargo, el uso del fuego en el cultivo de la caña de azúcar tiene un claro beneficio agrícola. Esta situación propicia las siguientes preguntas: ¿El fuego agrícola en el cultivo de la caña que tanto afecta al suelo? ¿A qué profundidad considerando que el suelo es un aislante térmico? ¿Existe un indicador rápido y fácil de medir para darle seguimiento? La evaluación de su severidad del fuego y sus impactos en el suelo aún son temas poco estudiados. Las técnicas magnéticas y de color permiten medir el impacto del uso del fuego en la agricultura detectando las trasformaciones de los minerales de hierro y el color del suelo. El objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de la quema agrícola en el suelo mediante indicadores físicos del suelo como es el caso del color y susceptibilidad magnética y complementar con indicadores químicos (pH, CE y P). Mediante la selección aleatoria de 10 puntos de muestreo en un cañaveral de 10 hectáreas, se tomaron muestras de suelo cada 2 cm hasta un máximo de 20 cm, antes y después de la quema. Se realizaron análisis de color, análisis de susceptibilidad magnética y análisis a variables edáficas (pH, CE y P). Se registró una temperatura máxima de 550°C al ras del suelo, pero su temperatura decreció rápidamente ya que en los primeros 2 cm de profundidad se obtuvieron temperaturas inferiores a los 149°C, lo cual es un indicador de las zonas sujetas a cambios mineralógicos. Los indicadores Tempilaq® en conjunto con las piezas cerámicas registraron una temperatura máxima de 550°C al ras del suelo, pero su temperatura decreció rápidamente con respecto a las profundidades iniciales ya que en los primeros 2 cm de profundidad se obtuvieron temperaturas inferiores a los 149°C, lo cual es un indicador de las zonas sujetas a cambios mineralógicos. Se registró un incremento en los parámetros de color a*, b* y un descenso en la luminosidad debido al oscurecimiento de las muestras por el efecto de la quema, los suelos presentan un incremento en sus tonalidades oscuras detectado en cada uno de los parámetros del color, así como por los índices de color. La susceptibilidad magnética aumentó dentro de los primeros seis centímetros de profundidad. Ambos métodos proxis están relacionados con el incremento del fósforo y la conductividad eléctrica. Los métodos proxys de color y magnetismo resultaron buenos indicadores de las zonas afectadas con la quema. El uso de las técnicas magnéticas y el color permitieron caracterizar un suelo agrícola sujeto a la quema para tener un mejor entendimiento de los procesos relacionados y las zonas de mayor impacto, dichos análisis y resultados no se realizan de manera convencional en suelos y tienen la ventaja de ser más rápidos y económicos.

Sesión especial

# METALES PESADOS EN SUELOS Y POLVOS URBANOS

Organizadores:

Anahí Aguilera
Francisco Bautista
Avto Goguitchaichvili

SE13-1

## LOS DAÑOS EN LA SALUD PROVOCADOS POR LOS METALES PESADOS: UNA REVISIÓN

Soto José Luis[1], Santoyo Miguel[2], Aguilera Anahí[1] y Bautista Francisco[2]
[1]*Instituto Tecnológico de Morelia*
[2]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
jluis.itm@gmail.com

Los metales pesados (MP) son componentes naturales de la corteza de tierra, algunos de ellos cumplen funciones en el humano debido a que forman parte de su metabolismo, mientras que otros resultan ser tóxicos aún en bajas concentraciones. Las actividades industriales y el flujo vehicular emiten elevadas concentraciones de MP al ambiente, estos tienen la capacidad de acumularse en los tejidos de los organismos, teniendo efectos en la salud de la población. El objetivo de este trabajo fue la reseña sobre los MP y sus afectaciones a la salud. Se realizó una revisión bibliográfica sobre el tema, considerando al Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V y Zn. Por ejemplo, el plomo es un elemento altamente tóxico, su uso generalizado ha sido fuente de contaminación, principalmente por la explotación minera, metalurgia, fabricación y reciclaje de baterías, su contenido en pinturas y gasolinas. Es un elemento persistente en el ambiente, llegando a permanecer por varios años. Su peligrosidad radica en que es un agente neurotóxico y cancerígeno. Las acciones tóxicas del plomo se atribuyen a la sustitución por el Ca, ya que el Pb tiene afinidad por los sitios de acción molecular del Ca, actuando como sustituto en varios eventos regulatorios intracelulares que controlan el funcionamiento de las proteínas. Estas acciones moleculares pueden tener efectos en algunos sistemas y aparatos, el efecto de mayor consecuencia es en la función cerebral, ya que la sustitución del Ca por Pb afecta la transmisión de señales en el sistema nerviosos central afectando la sinapsis de las células nerviosas, teniendo como resultado una disminución en el desarrollo del cerebro. Los huesos son otras estructuras donde es almacenado el plomo, siendo liberado al sistema circulatorio durante periodos de deficiencia de calcio, como por ejemplo en el embarazo, provocando daños irreversibles en el feto en desarrollo. Cabe destacar que las manifestaciones de la toxicidad dependen no sólo de la magnitud de la exposición sino también de las características de la persona expuesta, la neurotoxicidad del plomo es más crítica para el feto en desarrollo y el niño en crecimiento que para los adultos. Siendo los efectos toxicológicos del Pb mayores en poblaciones que viven en condiciones de pobreza, situación que se ha expresado como una fuente de injusticia ambiental a nivel mundial, ya que no se cuenta con las normas regulatorias que evalúen los niéveles de Pb en este sector de la población. Las consecuencias por exposición a MP resultan costosas a largo plazo en términos de inteligencia, crecimiento, atención y del desarrollo de enfermedades crónicas. Los MP que más daño causan a la población son Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn. Siendo el Cr y Pb contaminantes emergentes con elevado riesgo a la salud, donde el Pb por su mayor presencia en el ambiente, provoca daños visibles como náuseas, dolor abdominal, diarrea, hormigueo en las extremidades, dificultad para respirar y cáncer. Sin embargo, se pueden presentar daños no visibles como endurecimiento en alveolos, cansancio, falta de apetito, disminución en hemoglobina y lesiones en páncreas.

SE13-2 PLÁTICA INVITADA

## PROSPECCIÓN MAGNÉTICA Y CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LA PRESA DE RESIDUOS MINEROS GUERRERO II, TAXCO, GUERRERO

Morales Juan
*Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, LIMNA*
jmorales@geofisica.unam.mx

La actividad minera en Taxco ha dejado siete depósitos de residuos mineros, los cuales representan severos problemas de salud para la comunidad, en particular, y para el medio ambiente en general. El objetivo del estudio consiste en la represa de residuos mineros Guerrero II (la más joven de la región), ubicada al sur de Taxco de Alarcón, en la parte norte del estado de Guerrero, México. En este estudio se presentan los resultados de una prospección vertical de susceptibilidad magnética y la respectiva caracterización geoquímica de 27 muestras de relaves de Guerrero II. Los resultados del método magnético evidencian diferentes capas de depósito de mineral de composición variable, en concordancia con la columna estratigráfica. El corto período de evolución de esta joven presa se ve corroborado por la relación prácticamente constante y cercana a 1 del parámetro S-300 (bajo grado de oxidación de la mineralogía magnética) y por el carácter principalmente alcalino del pH a través de la mayor parte de la presa. La mayoría de los valores máximos de concentración de EPT están por debajo de los niveles máximos permisibles para uso agrícola/residencial, excepto los de Pb y Zn. La preparación simple de las muestras y la estimación rápida de la concentración magnética y elemental por FRX, junto con una distribución de muestreo sistemática adecuada, da como resultado un método proxy ventajoso para una evaluación rápida y rentable de los metales pesados de las presas de desechos mineros.

SE13-3

## EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LIMOS POR METALES PESADOS EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA FUNDIDORA AVALOS, CHIHUAHUA, CHIHUAHUA

Gallegos Medina José Andrés y Campos Trujillo Alfredo
*Centro de Investigación en Materiales Avanzados, CIMAV*
a271447andres@gmail.com

La pérdida de suelo por contaminación es un problema grave debido a que es uno de los principales sustratos con los que la humanidad tiene contacto, por consiguiente, su contaminación pueda deberse a diferentes factores, como lo son las actividades industriales-mineras. Uno de los casos es el pasivo ambiental ubicado en la ciudad de Chihuahua, Chih., llamada Fundidora Avalos, la cual inició operaciones en el año 1908, a cargo de la compañía The American Smelting and Refining Company (ASARCO). En el año 1997 la planta concluyó sus actividades debido a que la materia prima (mineral de plomo) se redujo y a los costos elevados de producción, dejando así un cúmulo de escorias de fundición, pudiendo ocasionar contaminación de zonas aledañas a la misma por metales pesados. El pasivo ambiental paso a cargo del Gobierno de Chihuahua en el año 2004 y no se han realizado acciones para mitigar el problema, conforme a la NOM-157-SEMARNAT-2009 de reparación y remediación de sitios-jales mineros en un plan de manejo y, por lo tanto, el material continúa expuesto hasta la fecha. Con el objetivo de tener un panorama más amplio del grado de contaminación, se realizó la evaluación en limos por contaminación de metales pesados de las zonas aledañas, basándose en estudios previos y en la recolección-análisis-evaluación de muestras del área afectada (zonas aledañas) de la Fundidora Avalos. Se analizaron los metales pesados: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plomo (Pb), y Cinc (Zn), en 95 puntos de muestreo. Con ello se obtuvo el grado de contaminación por medio del Factor de Enriquecimiento, Índice de Geoacumulación, mapas e isolíneas de concentración, mostrando los lugares con mayores concentraciones y enriquecimientos respecto a los metales pesados.

SE13-4 PLÁTICA INVITADA

## MECANISMO DE ATENUACIÓN DE ARSÉNICO Y PLOMO EN SUELOS URBANOS

Gutiérrez-Ruiz Margarita Eugenia, Romero Francisco, Martínez Gerardo, Villalobos Mario, Ceniceros Gómez Agueda Elena y Amaro-Ramírez Daniel
*Universidad Nacional Autónoma de México*
ginny@unam.mx

Se presentan algunos aspectos relevantes del primer caso de remediación en México, un predio de 64 h contaminado por la metalurgia, localizado en el centro geográfico de la Ciudad de Monterrey. El objetivo del estudio fue llevar a cabo un diagnóstico ambiental del predio, el desarrollo de un modelo conceptual para establecer los criterios de restauración y la propuesta conceptual de zonificación, considerando el diseño urbano. Se desarrolló un modelo interdisciplinario que permitió el trabajo de diferentes disciplinas que generaron la información para determinar el nivel de riesgo, el comportamiento de contaminantes en el suelo y la selección de métodos analíticos. Se identificaron las fuentes de elementos potencialmente tóxicos (EPT) y sus concentraciones en suelo, subsuelo y acuíferos. Para el agua se hicieron determinaciones in situ y ex situ. Con base en las concentraciones totales y solubles de As y Pb en suelos, elementos seleccionados como trazadores, se identificaron las zonas del predio que representaban el mayor riesgo y se llevó a cabo una regionalización. Los resultados del suelo indicaron la ocurrencia de un importante proceso de atenuación natural. La transformación del As2O3 y arseniatos de calcio en arseniatos de metales transicionales de baja solubilidad, las especies más estables cuando se alcanza el equilibrio. Se presenta la evidencia experimental que se obtuvo a través de: a) mediciones de As total y soluble en agua los suelos contaminados y su comparación con la solubilidad de las especies originales de As presentes en los residuos; b) análisis de muestras de suelo con alto contenido de As total y bajo de As soluble, por SEM-EDS (microscopía electrónica de barrido - espectroscopia de rayos X por dispersión de energía), c) análisis de FRX utilizando una fuente generada por un sincrotrón y d) análisis por TEM. Complementariamente se llevaron a cabo simulaciones termodinámicas de cada una de las muestras. Los resultados del SEM-EDS y de FRX-sincrotrón indicaron una asociación predominante entre As, Pb y Zn, y poca o ninguna de As con Fe. Los cálculos de solubilidad termodinámica, utilizando los contenidos elementales totales y datos de arseniatos de metales pesados puros, apoyaron esta hipótesis. Los resultados de la simulación de As indicaron que entre un pH de 4 y 10 se puede formar duftita PbCuAsO4(OH), y entre 6 y 8.5 precipita la hidroximimetita Pb5(AsO4)3(OH), lo cual se confirmó mediante el análisis por microscopia electrónica de transmisión (TEM) que también indicó la presencia de duftita CuPbAsO4 (OH) e hidroximimetita Pb5 (AsO4)3 (OH). Otros resultados importantes fue que la contaminación del acuífero se debía a la construcción de pozos de monitoreo y no a la lixiviación de EPT de los suelos, pues existe una capa de arcillas que abarca todo el predio en estudio. Asimismo, una falla a nivel regional que se había propuesto con base en un estudio magnetométrico, resultó una interpretación errónea de la presencia de dos tipos de residuo, uno salino con alta solubilidad y bajo magnetismo y otro de baja solubilidad, con alto magnetismo.

SE13-5

## PRESENCIA DE METALES PESADOS EN EL POLVO URBANO DE GÓMEZ PALACIO, DURANGO: UN RIESGO A LA POBLACIÓN

Santoyo Miguel[1], Aguilera Anahí[1], Puente Cristo[2] y Bautista Francisco[1]
[1]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[2]*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*
miguel.santoyo425@gmail.com

La urbanización de las ciudades crece de manera acelerada en el mundo, esto genera contaminación ambiental, derivados de procesos industriales, flujo vehicular, entre otros. Entre los contaminantes dispersados se encuentran los metales pesados (MP), los cuales se adhieren a partículas provenientes del suelo, lo que se conoce como polvo urbano (PU), que es depositado sobre las calles. La presencia de MP en el PU constituye un riesgo a la salud de la población, principalmente los tamaños de partícula <10 $\mu$m, porque pueden ingresar a través del contacto dérmico, ingesta e inhalación. Gómez palacios, Durango, es una de las ciudades más pobladas de México, ubicada en el norte del país, tiene una de las zonas industriales más grandes y se desconoce el grado de contaminación por MP contenidos en el PU. Por lo que este estudio evaluó la presencia de metales pesados en el PU del exterior e interior de las viviendas para conocer el riesgo potencial a la salud. Se recolectaron 42 muestras de PU del exterior e interior de las viviendas. Las muestras se secaron a la sombra a temperatura ambiente durante una semana, posteriormente fueron tamizadas con una malla del número 60 (0.250mm). Los análisis se realizaron con un equipo móvil de fluorescencia de rayos X. Para cada muestra, se realizó la medición por triplicado. Se realizó un análisis una ANOVA de un factor para comparar diferencias significativas en el interior y exterior de las viviendas. Así mismo se calculó el grado de contaminación mediante el factor de contaminación (CF), la estimación de la ingesta diaria para las tres principales vías: ingestión, inhalación, contacto dérmico, así como el riesgo cancerígeno, utilizando la metodología de la USEPA. Se detectaron 16 elementos, con el siguiente patrón de concentración: PU del exterior, K>Fe>Ca>Ti>Zn>Mn>Sr>Zr>Rb>V>Pb>Cu>Y>Cr>Ni>Sn y PU del interior, Fe>K>Ca>Ti>Zn>Mn>Sr>Rb>Zr>Pb>Cu>V>Cr>Y>Ni>Sn. El Cu, Pb, y Zn tuvieron mayores concentraciones en el PU del interior de las viviendas. Los resultados obtenidos del CF mostraron que el Cu y Pb presentan una contaminación moderada, mientras que el Zn mostro contaminación elevada. En cuanto al riesgo de contraer cáncer, el Pb y Zn mostraron la posibilidad de presentar efectos cancerígenos. Los resultados indicaron que el Pb y Zn son peligrosos para la salud humana. Estos resultados pueden ser de utilidad para generar y aplicar políticas para reducir las emisiones de los MP, principalmente los de mayor peligrosidad a la salud humana reportados en este estudio.

SE13-6

## CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y BIOACCESIBILIDAD PULMONAR DE ELEMENTOS TÓXICOS EN EL POLVO URBANO DE SAN LUIS POTOSÍ

Rodríguez Rodríguez Rodrigo Merced[1], Meza-Figueroa Diana[2], Robles Morua Agustín[3], Tuxpan Vargas José[1] y Martínez-Villegas Nadia[1]
[1]*Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica*
[2]*Universidad de Sonora*
[3]*Instituto Tecnológico de Sonora*
rodrigo.rodriguez@ipicyt.edu.mx

En zonas áridas y semiáridas las temperaturas extremas, la baja pero intensa precipitación y altos índices erosivos pueden provocar cambios en la acumulación y transporte de polvo urbano y sus elementos potencialmente tóxicos aumentando la exposición y el riesgo al medio ambiente y a los humanos. Por lo anterior, los objetivos de esta investigación fueron: i) evaluar la variabilidad espacio-temporal de la composición elemental del polvo urbano por Fluorescencia de Rayos X a tamaños de partícula <20$\mu$m en 38 muestras recolectadas antes y después de la temporada de lluvias en la ciudad de San Luis Potosí, en el semidesierto chihuahuense, ii) identificar el tamaño de partícula, morfología y composición de partículas individuales por microscopía electrónica de barrido utilizando el software Phenom ParticleMetric X y iii) determinar su bioaccesibilidad pulmonar mediante pruebas in vitro, utilizando el líquido lisosomal artificial (ALF). Los resultados de este trabajo nos permitieron obtener concentraciones máximas de Fe, Zn, Mn, Pb, Cu, Sc, Zr, Sr, As, Cr y v de 75,022 mg/kg, 20,008 mg/kg, 3,455 mg/kg, 776 mg/kg, 889 mg/kg, 563 mg/kg, 900 mg/kg, 393 mg/kg, 284 mg/kg, 253 mg/kg y 92 mg/kg, respectivamente, distribuidas en la zona oeste de la ciudad, donde, se ubica una planta metalúrgica. El tamaño de partículas reveló que los polvos tienen partículas <2.5$\mu$m, mientras que la composición morfológica y química de partículas individuales reveló la presencia de formas irregulares, fibrosas y prismáticas con tamaños de hasta 10$\mu$m y alta concentración en peso de Fe, Pb, Cr, Sr y Zn. La bioaccesibilidad pulmonar mostró porcentajes >50% para Sr y de 20% Zn. Para Cu, Fe y Mn los porcentajes de bioaccesibilidad fueron <20%. Para Cr el porcentaje de bioaccesibilidad fue >40% en 3 muestras y el de Pb fue del 30% en una sola muestra. Lo anterior sugiere que existe un riesgo de exposición a la población por la inhalación de partículas de polvo urbano contaminadas con elementos potencialmente tóxicos bioaccesibles.

SE13-7

## EL COLOR COMO NUEVA TÉCNICA PROXY PARA LA IDENTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN EL POLVO URBANO

Bautista Francisco[1], Aguilar Yameli[2], Quintana Patricia[3], Aguilar Daniel[3], Gogichaishvili Avto[4] y Trejo Rudy[5]
[1]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[2]*INIFAP*
[3]*CINVESTAV*
[4]*Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica, UNAM*
[5]*UADY*
leptosol@ciga.unam.mx

La contaminación por metales pesados (MP) en ambientes urbanos es un problema que podría estar afectando la salud de la población, por esta razón urge diseñar sistemas de monitoreo de MP en suelos y polvos urbanos. El objetivo de este trabajo fue investigar la posibilidad de utilizar el color del polvo de las calles como indicador de contaminación por MP en 86 muestras de la ciudad de Mérida. Las muestras fueron analizadas con un colorímetro y con el sistema RGB, las tablas Munsell, con un equipo móvil de FRX se midieron las concentraciones de los MP y con se analizaron los minerales de las muestras con una análisis de DRX en muestras seleccionadas. Se realizaron análisis multivariados y análisis de varianza de los MP por grupos de color. Los resultados revelan que las cartas de color y los índices de color de Munsell (IH e IS) se pueden utilizar como indicadores indirectos para muestras de polvo contaminadas con metales como plomo, zinc y cobre. Existe una baja contaminación por metales pesados y óxidos en las muestras de polvo de carreteras de color marrón grisáceo (I) y marrón grisáceo oscuro (IV); contaminación media en muestras de polvo de carreteras grises (II); y alta contaminación en muestras de polvo de carreteras con colores gris oscuro (III) y gris muy oscuro (V). Los cinco colores de las muestras de polvo de carreteras de la ciudad de Mérida, México, pueden utilizarse como guía para descartar o seleccionar muestras contaminadas con metales pesados y óxidos de Ti y Fe. Es decir, el color del polvo de la carretera se puede utilizar como técnica indirecta. Por lo tanto, para monitorear la contaminación de metales pesados en el polvo de la carretera, las muestras de color marrón grisáceo y marrón grisáceo oscuro pueden descartarse del análisis químico. Una estrategia para evitar daños a la salud por el polvo de las carreteras debe comenzar limpiando las carreteras principales y las áreas con polvo gris oscuro y gris muy oscuro.

SE13-8 PLÁTICA INVITADA

## LA FORMA URBANA Y LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONTAMINACIÓN DEL POLVO DE LAS CALLES POR METALES PESADOS - UN ENFOQUE ECONOMÉTRICO

Bautista Dorian[1], Bautista Francisco[1] y Gogichaishvili Avto[2]
[1]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
dobautistah@gmail.com

Introducción. La contaminación del polvo de las calles por metales pesados (MP) ha cobrado interés debido a sus efectos potencialmente dañinos para la población. En la literatura académica en química y ciencias ambientales, el principal enfoque ha sido evaluar los niveles reportados en diferentes ciudades con potenciales niveles de fondo. Asimismo, se sugiere la asociación entre la presencia de metales pesados con características del entorno urbano (forma urbana) a partir de comparaciones simples del contenido de MP en el polvo de calles ubicadas en diferentes usos del suelo o avenidas con diferentes intensidades de tráfico. Existiendo evidencia mixta en este sentido. En la medida en que exista una relación entre la forma urbana y el contenido de MP en polvos de calles, esta se tiene que estudiar de una manera más sistemática y completa a través de modelos espaciales econométricos como es común en otro tipo de estudios urbanos. Desde este punto de vista la distribución espacial de la contaminación incluiría el efecto tanto de las fuentes como de posibles puntos de acumulación. Materiales y métodos. Se aplicó un análisis de clusters espaciales de polvo y metales. Se aplicaron regresiones lineales simples, regresiones espaciales así como regresiones ponderadas geográficamente. Resultados. Es así que se presentan los principales resultados del estudio de la relación entre la forma urbana de la Ciudad de México con los niveles de un grupo de metales pesados considerados relacionados con el tráfico vial. Las variables que resultaron significativas se discuten, se presentan las limitaciones del estudio, así como las líneas a futuro en investigación. Conclusión. La modelación econométrica representa una perspectiva robusta para el estudio de la distribución espacial de la contaminación por metales pesados en polvos de calles. Es así que se enriquecen las herramientas estadísticas en el campo, y se complementan con los enfoques actuales.

SE13-9

## CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL POLVO DE LA CIUDAD DE MÉXICO: FUENTES Y EVALUACIÓN DE RIESGOS A LA SALUD HUMANA

Aguilera Anahí[1], Bautista Francisco[1], Gutiérrez-Ruiz Margarita[2], Ceniceros Gómez Agueda Elena[2], Cejudo Rubén[3] y Gogichaishvili Avto[3]
[1]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[2]*Facultad de Química, UNAM*
[3]*Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica, UNAM*
anahi.aguilera16@gmail.com

En las grandes ciudades industrializadas, toneladas de partículas que contienen metales pesados se liberan al ambiente y se acumulan en las superficies de las calles. Estas partículas suponen un riesgo potencial para la salud humana debido a su composición y tamaño. En este estudio se identificaron los niveles de contaminación por metales pesados utilizando el factor de contaminación (FC), índice de geoacumulación (Igeo) e índice de carga contaminante (PLI); las principales fuentes de emisión se estimaron con métodos multivariados y los riesgos para la salud humana se calcularon con la metodología de la USEPA. Las concentraciones de metales pesados, en 482 muestras de polvo urbano de la Ciudad de México, se obtuvieron mediante digestión ácida asistida por microondas e ICP-OES. Los resultados indicaron que los metales pesados con mayor contaminación en el polvo urbano de la Ciudad de México fueron el Pb, Zn y Cu; en segundo lugar, el Ni y Cr; considerando el FC e Igeo, con dos niveles de fondo (valor global para suelos y primer decil de la distribución de frecuencias). El uso del primer decil puede ser limitante ya que homogeneizó la variación de los FC, mientras que el valor de fondo mundial para suelos mostró mayores diferencias en los niveles de contaminación. El PLI indicó que el nivel de contaminación por los metales pesados más contaminantes (Pb, Zn, Cu, Ni y Cr) fue moderado, independientemente del valor de fondo considerado. El Cu, Cr, Pb y Zn, en el polvo urbano de la Ciudad de México, deben tener un origen similar ya que estos elementos estuvieron asociados; reconociendo que estos elementos están relacionados con el tráfico vehicular, este sector podría ser señalado como uno de los más, si no es que el más influyente, en la contaminación por metales pesados en el polvo urbano de la Ciudad de México. El Cr y Pb podrían provenir del cromato de plomo usado en la pintura amarilla, se ha reportado que el Cu se origina en el desgaste de los frenos, el Zn es emitido por los neumáticos y los aditivos del aceite de motor, y el Cr puede tener su origen en las emisiones de escape. El Fe, Mn, V y Al también deben tener un origen común; estos pueden provenir de fuentes naturales o una combinación de fuentes naturales y antrópicas. Los niveles más altos de Cr y Pb en el polvo urbano representaron un riesgo para la salud de los niños. Con la idea de mejorar la salud de la población de la ciudad más grande del país, propusimos categorías de acción según los niveles de contaminación identificados por el FC; esperamos que estos límites de contaminación ayuden a lanzar políticas públicas para disminuir la carga contaminante de metales pesados en el polvo urbano de la Ciudad de México.

SE13-10

## RIESGOS A LA SALUD Y NIVELES DE CONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS EN POLVOS URBANOS DEL INTERIOR Y EXTERIOR DE LAS CASAS DE LA CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN

Torres Becerril Mario, Aguilera Anahí, López Dante y Bautista Francisco
*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
torres_bm27@hotmail.com

Morelia, Michoacán es una ciudad colonial que tiene una acelerada urbanización debido al crecimiento de la población. Este aumento se ha visto reflejado el incremento de las actividades humanas y procesos antropogénicos que generan contaminantes como los polvos urbanos (PU). Los PU contienen elementos tóxicos, entre los que se encuentran los metales pesados. La inhalación, ingesta o contacto de estos elementos debido a su degradación en pequeñas partículas pueden tener un riesgo tanto cancerígeno como no cancerígeno y por lo tanto un tema a estudiar, ya que este tipo de elementos no solo se podrían encontrar en las calles, sino en el interior de hogares. El objetivo del presente trabajo es determinar la concentración de los metales pesados, grado de contaminación y posible riesgo a la salud en polvos urbanos del interior y exterior de las casas de Morelia, Michoacán. Para la investigación se realizó una colecta de muestras (30-50 g de polvo) en el interior y exterior de 60 casas. La colecta se realizó durante 4 semanas, obteniendo 4 muestras exteriores y 4 exteriores que fueron almacenadas en bolsas de plástico, retirándole previamente los residuos de mayor tamaño. Las muestras se tamizaron usando una malla del número 60. El análisis de los metales pesados se hizo con un espectrofotómetro portátil de FRX. Para cada muestra, se realizó la medición por triplicado (con un tiempo de integración de 60 s cada una). Se realizó un análisis estadístico descriptivo y una comparación de concentraciones de metales pesados encontrados en el interior y exterior. De igual manera se calculó el grado de contaminación mediante el factor de contaminación (CF), la estimación de la ingesta diaria para las tres principales vías: ingestión, inhalación, contacto dérmico, así como la dosis diaria media para estimar el riesgo carcinogénico. Los elementos encontrados en mayor concentración fueron: Ca>Fe>K>Ti>Zn, mientras que en menor concentración (>1000 ppm) se encontraron: Mn>Sr>Zr>Pb>Cu>Cr>V>Ni>Rb>Y. En el caso del Ca, K y Zn se encontraron mayores concentraciones en el interior de las viviendas. Los elementos potencialmente tóxicos como el Pb presentaron mayores concentraciones en el exterior de las viviendas, mientras que, en el Cu, Ni, Zn y Zr fue lo contrario. De acuerdo con el factor de contaminación se identificó que el Cu, Ti y Zn presentaron una contaminación considerable; sin embargo, no son de riesgo carcinógeno. En cuanto a los metales carcinogénicos, como el Cr, Ni y Pb la contaminación es moderada, a excepción del exterior donde la contaminación por Pb es considerable y requiere atención. Se concluye que los metales pesados que se encuentran en mayor concentración en los polvos urbanos no son cancerígenos. Sin embargo, la contaminación por plomo en el exterior es considerable, por lo que se requieren medidas de saneamiento en algunos sitios de la cuidad.

SE13-11

## METALES PESADOS EN EL POLVO URBANO DENTRO Y FUERA DE LOS HOGARES EN MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

Andrade Arcaeli[1], Aguilera Anahí[1], Aguilar Yameli[2] y Bautista Francisco[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*
arcaeli.andrade@umich.mx

Las actividades antrópicas, como las industriales y el tráfico vehicular, liberan metales pesados (MP) al ambiente exterior y pueden ingresar en los ambientes interiores a través del polvo urbano (PU). Los MP no pueden ser degradados o destruidos y pueden incorporarse en el cuerpo humano por inhalación, ingestión y contacto dérmico, representado un riesgo a la salud humana. El objetivo de este estudio fue comparar la contaminación por MP en el PU del interior y exterior de las viviendas en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Se recolectó PU en el interior y exterior de 51 viviendas, a través de un muestreo participativo, durante 4 semanas (mayo 2020). Se obtuvo un total de 396 muestras, (203 en el interior y 193 en el exterior) de las viviendas. Las muestras se tamizaron con una malla del número 60. Para medir las concentraciones de los MP se colocaron 3 g de muestra de PU seco en una copa de teflón con una ventana inferior de película de Mylar (poliéster) de 3,6 $\mu$m de espesor y se midieron por triplicado con un espectrómetro portátil de FRX Genius 7000 de Skyray Instruments, con tubo de rayos X de 50 kV con un detector de deriva de silicio de ventana de berilio de área grande. Se realizó un análisis estadístico descriptivo de las concentraciones mensuales y se calculó el factor de contaminación (FC) utilizando el primer decil de la distribución de frecuencias del interior y del exterior, como valor de fondo. Para identificar si había diferencias en las concentraciones al interior y exterior se utilizó la prueba de ANOVA, con una transformación logarítmica. El riesgo a la salud humana se evaluó con la metodología de la USEPA. La mediana del FC mostró una contaminación moderada para todos los MP (Cu, Pb, Zn, Mn y Fe), en el exterior e interior. Mientras que los valores máximos del FC indicaron una contaminación alta para el Cu, Pb, Zn y Mn, al exterior; y para el Cu, Pb y Zn, al interior. Se encontraron diferencias significativas en las concentraciones mensuales de los MP, siendo más altas en el interior; además, las correlaciones de cada metal entre el interior y exterior fueron bajas ($r<0.5$), lo que sugiere que las fuentes en cada ambiente pueden ser diferentes. La mediana del índice de riesgo no carcinogénico (HI) no representó un riesgo para la salud de los niños ni de los adultos. Sin embargo, la mediana del HI del Pb al interior indicó que los niños podrían padecer malestares debido a la exposición a este metal (HI = 0.14); además el valor máximo del HI para el Pb al exterior sí representó un riesgo para la salud (HI = 2.11) de los niños de Mérida. Debido a que la población pasa largos periodos en ambientes interiores es indispensable seguir investigando las fuentes de contaminación en el interior y buscar medidas para disminuir la exposición.

SE13-12

## MAPAS PROBABILÍSTICOS USANDO KRIGING INDICADOR DE METALES PESADOS EN LOS POLVOS URBANOS DE LA CIUDAD DE TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO

Cortés Esquivel José Luis[1], Bautista Zúñiga Francisco[2], Quintana Owen Patricia[1], Cejudo Rubén[3] y Aguilar Treviño Daniel[1]
[1]*CINVESTAV Unidad Mérida*
[2]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[3]*Laboratorio Universitario de Geofisica Ambiental, Instituto de Geofisica, UNAM*
josel.cortes@cinvestav.mx

La contaminación ambiental causada por metales pesados (MP) en las grandes ciudades es uno de los problemas mas graves que enfrentamos como sociedad en las últimas décadas. Estudios han demostrado una asociación directa entre los MP y algunas afecciones en el organismo tales como el cáncer. Los niveles de contaminación en las ciudades dependen en gran medida de la infraestructura y de los diferentes tipos de uso de suelo, sin embargo, las ciudades industriales son las más afectadas. Según la OMS, la ciudad de Toluca en el Edo de México ocupa el segundo lugar dentro de las ciudades más contaminadas en México, esto principalmente asociado a la actividad industrial y al alto tráfico de automotores, estos, emiten una nube de contaminación que contiene una mezcla de MP, polen, CO2, entre otros, que por gravedad caen al suelo y se depositan en el suelo en forma de polvo urbano, sin embargo, estudios de diagnóstico de contaminación por MP en polvos urbanos no se realizan de manera periódica, esto debido a los altos costos de análisis, la cantidad de muestras y el tiempo para realizar estos diagnósticos, por

lo que es urgente identificar las zonas con mayor contaminación por MP y con ellos dar herramientas a los tomadores de decisiones para enfrentar este problema. El objetivo de este trabajo fue analizar la distribución espacial de los MP como el Cr, Cu, Ni, Pb, V y Zn a partir de Kriging indicador utilizando tres umbrales e identificar las zonas con mayor contaminación por MP en Toluca en el Edo. de México. Se recolectaron 89 muestras de polvo urbano a la largo de toda la Ciudad de Toluca, Posteriormente se analizaron los elementos a partir de Fluorescencia de Rayos X (FRX), los resultados se integraron a una base de datos que fue analizada a partir de análisis geoestadísticos con el método de kriging indicador donde se utilizaron índices de contaminación (IC) de 3, 6 y 12 como umbrales de contaminación, se obtuvieron semivariogramas con modelos de tipo Exponencial y Gaussiano y r2 que van de 0.91 a 0.97. Por último, se realizó un mapa algebraico para identificar la intersección de las clases más altas propuestos con los IC, por lo que se concluyó que: I) Los mapas con umbrales propuestos con IC obtenidos con el kriging indicador muestran que la zona centro de la ciudad tiene mayor probabilidad de contaminación con Cr, Cu, Ni, Pb, V y Zn, siendo el Pb el MP que cubre una mayor zona y; II) El mapa de la integración de las clases de mayor concentración de cada MP por umbral permite identificar las zonas de la ciudad más contaminada y, por lo tanto, la superficie de alta prioridad de atención para el desarrollo de acciones de mitigación de contaminación en polvos urbanos por MP.

SE13-13

## RED NEURONAL ARTIFICIAL Y PARÁMETROS MAGNÉTICOS PARA EL MONITOREO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN POLVO URBANO

Cejudo Ruiz Rubén[1], Gogichaishvili Avto[1], Bautista Zúñiga Francisco[2], Quintana Patricia[3], Aguilar Daniel[3], Cortés José Luis[3], Pelcastre Jessica[4] y Cervantes-Solano Miguel Ángel[5]
[1]*Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[3]*CINVESTAV Unidad Mérida*
[4]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[5]*Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia, UNAM*
xinef2005@yahoo.com.mx

La concentración de metales pesados (MP) en las ciudades es un tema relevante, ya que genera varios problemas ambientales y de salud. Las poblaciones que se encuentran cerca de áreas con niveles altos de concentración de MP, tienen una mayor probabilidad de desarrollar enfermedades crónicas degenerativas (cardio-cerebro-vascular) o cáncer. Estudios realizados en varias ciudades del mundo, han mostrado que tienen áreas con niveles elevados de: cromo (Cr), cobre (Cu) plomo (Pb), vanadio (V) y zinc (Zn). Los análisis para determinar la concentración de MP se hacen mediante análisis geoquímico, los cuales resultan ser costos, por lo que, muchos de los estudios son de tipo diagnóstico. Por tal motivo, surge la necesidad de disponer de un instrumento, el cual permitan hacer una clasificación a priori de los sitios con altos concentración de MP de forma alterna, con el fin de optimizar recursos. En los últimos años, se ha explorado el uso de parámetros magnéticos con análisis multivariante para clasificar sitios contaminados por MP. Sin embargo, no siempre se obtienen resultados concluyentes. Actualmente, el uso de los sistemas computacionales ha abierto la posibilidad de usar modelos de redes neuronales artificiales, los cuales pueden hacer un procesamiento de datos para el reconocimiento de patrones. Los modelos de redes neuronales artificiales (RNA) tienen mayor sensibilidad y precisión para la clasificación de datos en comparación con los clasificadores tradicionales. Con este objetivo, hemos desarrollado y entrenado una red neuronal artificial, la cual es capaz de hacer una clasificación de sitios contaminados en tres grupos (sin contaminación, medianamente contaminados y altamente contaminados) mediante el uso de parámetros magnético y la evaluación del índice de contaminación de carga (PLI). El método fue probado en 140 muestras de polvo urbano de las calles de la Ciudad de México (CDMX), las cuales fueron recolectadas en 2011 (84 muestras) y 2013 (56 muestras) en el mes de abril. Se determinó tres parámetros magnéticos: susceptibilidad específica, porcentaje de la susceptibilidad dependiente de la frecuencia, magnetización remanente isotermal de saturación. Se determinó la concentración de Cr, Cu, Pb, V y Zn mediante un espectrómetro portátil de Fluorescencia de Rayos X. Se estableció una concentración de fondo (CF) para polvo urbano mediante el valor del primer cuartil (Q1) de 49 muestras de uso de suelo de tipo residencial y finalmente se evaluó el PLI. Se compararon los resultados de clasificación obtenidos de un análisis determinante y el modelo de RNA, los tres parámetros magnéticos se usaron como las variables predictores y el valor de PLI como factor de clasificación. Como resultado, se logró clasificar correctamente 82 muestras mediante el modelo de RNA, de las cuales 52 muestras fueron clasificadas con valor de PLI # 1 o sin contaminación; 28 muestras con PLI # (1, 2], contaminación moderada y 3 muestras con calor de PLI > 2 contaminación alta. El modelo de RNA, es capaz de clasificar sitios con problemas de contaminación por elementos pesados usando parámetros magnéticos de forma más concluyente que un análisis determinante.

SE13-14

## SOFTWARE PARA EL MONITOREO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Bautista Francisco[1] y Pacheco Aristeo[2]
[1]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[2]*Acts with science*
leptosol@ciga.unam.mx

El software “Sistema de monitoreo de la contaminación por metales pesados en la CDMX” (SMCMP)v1.0 permite almacenar, ordenar y depurar la información de matrices ambientales en polvos, suelos y plantas, además de bloques de datos de las propiedades magnéticas. El control y gestión de una gran cantidad de datos en sitios contaminados con metales pesados es de gran importancia en la toma de decisiones a fin de dar un correcto seguimiento a la contaminación y cálculo de los índices de contaminación en un contexto geográficamente explicito. El software está escrito en lenguaje de programación Java con el motor de base de datos relacional H2® capaz de funcionar en cualquier sistema operativo que soporte la máquina virtual de Oracle® 8 o su contraparte de código abierto OpenJDK® 8 con un impacto mínimo en los recursos del ordenador. El software es capaz de registrar y gestionar la información recopilada por las apps “Suelos urbanos”, “Polvos urbanos” y “Plantas urbanas” desarrolladas para la plataforma de “Android® 4+”. Estas apps tienen por objetivo recopilar los datos de las muestras en campo de una manera rápida, sencilla y con alta eficiencia en el ordenamiento y procesamiento de los datos en un servidor público o privado para posteriormente ser procesados por el SMCMP. Estructura lógica de los datos. Los registros de datos están organizados en matrices de datos ambientales (plantas, polvos y suelos) y bloques de propiedades magnéticas. Cada registro es asociado a un sitio, el cual a la vez está asociada a un país, estado, ciudad y delegación. Los bloques de datos están asociados con la matriz ambiental de procedencia permitiendo registrar propiedades magnéticas, colorimétricas y químicas. Funciones lógicas del software. Gestión y control de información de la ciudad de interés e información georreferencia de los sitios de muestreo; administración y registro de las matrices ambientales de suelos, polvos y plantas asociadas a los sitios; registro y control de los horizontes de suelo asociados a la matriz de suelos; registro y control de los bloques de datos de los elementos mayores, elementos potencialmente tóxicos, propiedades de color, propiedades magnéticas y óxidos asociados a las matrices de datos. Control e integridad de datos en la conversión de unidades mg/kg a mg/m² de los elementos potencialmente tóxicos; cálculo de los índices como el factor de contaminación, la carga contaminante, geoacomulación y grado de contaminación. El software genera las gráficas de las propiedades magnéticas: susceptibilidad, susceptibilidad normalizada, susceptibilidad volumétrica, curvas H vs MRI, curvas T vs K, Cocientes de S y datos atípicos. Además de las gráficas geoquímicas: caja y muescas; cotejamiento de puntos en el mapa; generación de archivo de georreferencia KML con las coordenadas de los sitios de análisis. El software es de operación amigable y confiable, será una herramienta clave en los sistemas de monitoreo de la contaminación por metales pesados.

SE13-15

## DISTRIBUCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AGUA DE LAGUNA DE BUSTILLOS, CHIHUAHUA, MÉXICO

Ochoa Rivero Jesus Manuel[1], Reyes Gómez Víctor Manuel[2], Fuentes Hernández Hugo Alberto[2], Ponce García Omar Castor[3] y De La Mora Orozco Celia[3]
[1]*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*
[2]*INECOL*
[3]*INIFAP*
ochoa.jesus@inifap.gob.mx

La Laguna de Bustillos es un cuerpo de agua muy importante para Chihuahua, México, pero previamente se ha reportado contaminación del agua por diferentes fuentes en esta área. El objetivo de este estudio fue determinar los principales parámetros fisicoquímicos y la ocurrencia de As en el agua de la Laguna Bustillos. El área de muestreo para recolectar el agua se obtuvo al azar. El área se dividió en cuadrantes de 4,34 km2 utilizando el software geográfico Fishnet ArcMap © 10.4. Luego, se designaron aleatoriamente 22 cuadrantes como sitios de muestreo. En cada sitio de muestreo, durante el mes de agosto de 2018 se recolectaron muestras de agua a una profundidad de 0.50 m. Se obtuvieron y analizaron un total de 22 muestras de agua siguiendo los Estándares Mexicanos para la recolección de aguas residuales (NMX-AA-014-1980). Los parámetros fisicoquímicos como: pH, temperatura (T), conductividad eléctrica (ECw), potencial redox (Eh), sólidos disueltos totales (SDT) y temperatura (° C) se midieron in situ con el equipo portátil Myron L® FS6FCE PoolPro. La concentración de arsénico (As) en las muestras de agua se analizó mediante ICP-MS (espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente) Perkin Elmer Modelo ELAN 6100®. Los parámetros fisicoquímicos en general se encuentran dentro de los aceptables para descargas de aguas residuales en aguas corporales (NOM-001-SEMARNAT-1996). Los niveles de As mostraron que 21 puntos excedieron los estándares (0.010 mg / L - OMS; 0.025 mg / L - Mexico) y variaron (0.15-0.45 $\mu$g / L) propuestos por Bissen y Frimmel, 2003 para agua dulce (lagos y ríos). Solo un sitio presentó concentraciones por debajo de la reglamentación. El aporte de este problema se puede atribuir a la composición geológica de la laguna y a actividades antrópicas como agropecuarias en la zona. La contaminación por arsénico en la Laguna de Bustillos representa una

exposición de riesgo para la vida acuática y los humanos debido al uso de riego para los cultivos. Todas las muestras de agua excedieron lo señalado por la OMS. Se recomienda seguir monitoreando el agua y las fuentes naturales y antropegénicas de As y encontrar una solución como la biorremediación u otro tratamiento para utilizar el agua de Bustillos de manera segura.

SE13-16 CARTEL

## MODELOS GEOESPACIALES DE LA DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, JALISCO

Vázquez Limón Carlos[1], Cejudo Rubén[2], Gogichaishvili Avto[2], Bautista Zúñiga Francisco[3] y Peña García Laura Elizabeth[4]
[1]*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
[2]*Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM*
[4]*Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias*
carlos.vazquezli@alumno.buap.mx

La contaminación en la Zona Metropolitana de Guadalajara por metales pesados se debe a la emisión de partículas de la actividad antropogénica que se acumulan en los sedimentos urbanos, suelo y organismos vivos, lo cual incrementa la concentración natural. La continua adición de partículas puede elevar la concentración natural de metales pesados a niveles tóxicos, los cuales puede generar problemas severos de salud y ambientales. El objetivo principal de este trabajo fue valorar la concentración de elementos tóxicos y potencialmente toxico en polvo urbano de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), comparar sus niveles de concentración con los límites permisibles establecidos en la Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para suelo contaminado y se evalúa el índice de carga contaminante con el fin de evaluar la contaminación en la zona metropolitana. Se recolectaron 134 muestras de polvo urbano de la ZMG de diferentes tipos de vialidades y usos de suelo. Las mediciones de concentración de metales pesados fueron obtenidas mediante espectrometría de Fluorescencia de Rayos X para los elementos de: cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), níquel (Ni), plomo (Pb), vanadio (V) y zinc (Zn). Los valores de concentración de los metales pesados obtenidos del PU de la ZMG evaluados en términos de la NOM oficial mexicana, se encuentran mayormente por debajo del límite permisible de suelos contaminados para varios sitios, en especial para el contenido de Cr, Ni y Pb. Por otra parte, se encontraron sitios con concentraciones superiores al límite permisibles de la norma oficial mexicana para la concentración de Cu, V y Zn Los modelos de distribución espacial de concentración de elementos y del índice de carga de contaminación (PLI) mostró que, los niveles más altos de concentración de metales pesados se encentraban en la zona centro y sureste de la ciudad. Las áreas que se encuentran próximas a la zona industrial, suelen presentar valores de PLI>1, por lo que hay indicios de una contaminación por metales pesado. La Zona Metropolita de Guadalajara exhibió sitios puntuales, en donde se observó un incremento importante de la concentración de metales pesados, los cuales rebasan los límites permisibles de la Norma Oficial Mexicana para suelos contaminado, lo que sugiere la posibilidad de fuentes de tipo puntuales. Por otra parte, se hallaron varios sitios en la zona periurbano, los cuales no presentaron niveles concentraciones alto, por lo que, sus valores de concentración pueden ser usadas como condiciones iniciales para evaluación futuras.

Sesión especial

# CARACTERIZACIÓN ESTÁTICA DE YACIMIENTOS PETROLEROS Y SUS IMPLICACIONES EN LA TOMA DE DECISIONES

Organizadores:
Julio César González Hernández
Erick Osorio Santiago

SE14-1

## VELOCITY MODEL IMPACT ON HYDROCARBON VOLUME CALCULATION

Rodríguez León Yuriri, González Juárez Itzamna y Huicochea Campos Moises
*Schlumberger*
yleon2@slb.com

A common practice in uncertainty analysis is to quantify the uncertainty of hydrocarbon pore volume in static models by varying petrophysical properties and facies distributions. However, in poorly characterized static models, or when dealing with little information, the time-depth conversion often accounts for more than 50% of the gross rock volume uncertainty. And this step occurs before considering the distribution of petrophysical properties. Velocity modeling is a process which should therefore be considered as part of the uncertainty analysis since it modifies directly the gross rock volume in an important way, and hence its affects are reflected in the final hydrocarbon pore volume calculation. In this paper, we describe how we implemented a complete workflow considering possible variations in the various steps prior to volume calculation and evaluating how best to quantify velocity model uncertainty. This workflow consists of two main steps. The first is a sensitivity analysis to rank those variables with a major impact and, the second, the uncertainty analysis to measure the risk in exploiting a field. Both analyses were applied in the three main stages of static model construction: rock volume calculation considering velocity model construction, 3D property modeling for petrophysical model distribution in 3D models and volumetric estimation. The range in gross rock volume is achieved by varying the velocity model used to depth convert horizons and to treat faults when building the structural framework. For property modeling, variation is obtained by modifying geostatistical parameters. Finally, as a result of the previous steps, we estimate the hydrocarbon pore volume variation. The methodology was applied in an onshore field in the Mexico South Region, extending the traditional approach for uncertainty analysis by including the velocity model construction analysis and the estimation of uncertainties. Our sensitivity analysis revealed how important it is to consider the impact of velocity model uncertainties in volume calculation.

SE14-2

## SISMOGRAMA SINTÉTICO DE UN REGISTRO GEOFÍSICO A PARTIR DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER Y LA PROPIEDAD DE CONVOLUCIÓN

Sánchez Limón José de Jesús, Espinoza Fernández Estefanía, González Hernández Julio César, Vázquez Rosas Gema, Vázquez Limón Carlos Eduardo, Tolentino Parra Karen Leidy, Villegas López Guadalupe, Martínez Mirón Yleana Claudia, González Guevara José Luis y Pensado Castillo Juan Luis
*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
jose.sanchezlim@alumno.buap.mx

Los sismogramas realizados en campo pueden contener errores debido a las condiciones naturales que se presenten en la zona; más aún, suelen tener una resolución vertical menor a los registros geofísicos. Por esta razón, se realizó un código que genera un sismograma sintético a través de la Transformada Discreta de Fourier (DFT). Así mismo, y a partir de la propiedad de la convolución, generar en el dominio de las frecuencias dicho sismograma. Con el resultado obtenido se realizó una correlación con el análisis de un registro de pozos. De igual forma, se realizó una selección de ondículas, optando por la que permite una mejor caracterización de la fuente en los sismogramas debido a sus características geométricas, para tal propósito se genera un código en lenguaje de programación Matlab ®. Finalmente, con base en la interpretación conjunta del registro de pozos y el sismograma sintético se discuten los resultados que podrán ser aplicados a etapas posteriores de la interpretación, tal como una sección geológica.

SE14-3

## CARACTERIZACIÓN DE LA LITOLOGÍA DEL SUBSUELO USANDO DATOS HIDROACÚSTICOS EN ÁREAS POTENCIALES DE EXPLOTACIÓN DE HIDROCARBUROS EN EL CINTURÓN PLEGADO DE PERDIDO, GOLFO DE MÉXICO

Mortera Gutiérrez Carlos Angel[1], Millan Motolinia María del Carmen[2], Bandy William Lee[1], Aguilar Anaya Diego Armando[3], Huerta Flores Tania Paulina[2] y Ladino Alvarez Ricardo Arturo[2]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Laboratorio Universitario de Cartografía Oceánica, UNAM*
[3]*Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM*
cmortera@geofisica.unam.mx

Como parte del proyecto de Investigación desarollado por el Consorcio de Investigacion en el Golfo de Mexico (CIGOM) que estudio y genero una extensa base de datos y conocimientos de las condiciones oceanograficas y ecologicas en el sector mexicano del Golfo de Mexico para la mitigacion en escenarios de posibles derrames de hidrocarburos por la explotación de hidrocarburos, el grupo de geofisica marina del Instituto de Geofisica de la UNAM integro una base de datos hidroacusticos de alta resolucion espacial en la provincia del Cinturón Plegado de Perdido, producto de una adquisición sistemática de mediciones de batimetría multihaz y retrodispersión acústica del lecho marino en el talud continental (entre 400 a 2,800 metros de profundidad) , aunado al registro simultaneo de perfiles sísmicos de alta resolución del subsuelo (hasta unos 100 metros de penetración) y perfiles de imágenes acústicas de la columna de agua. Esta investigación en base al uso de los datos hidroacústicos nos ha provisto de nuevos conocimientos del estado físico del lecho marino en Perdido, caracterizando su fisiografía, litología y zonas de mayor riesgo en el talud continental. El mallado de perfiles sísmicos de alta resolución se ha empleado para caracterizar sistemáticamente la litología somera del subsuelo en la parte superior del lecho. Las imágenes acústicas han sido utilizadas para identificar plumas de hidrocarburos ascendentes en la columna de agua y su posible asociación a sitios de chapopoteras en aguas profundas. Esta base de datos georeferenciados es utilizada para su desplegado gráfico en SIG en el análisis de las estructuras en el lecho que comprometiese el desarrollo de la infraestructura submarina a grandes profundidades. Esta metodología en datos hidroacústicos reexamina en mayor detalle la litología somera en áreas dentro de los bloques licitados en la ronda 1.4 de aguas profundas de Perdido en la convocatoria del CNH.

Sesión especial

# RESULTADOS PRELIMINARES DEL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DEL 2021 MW7.1 EN ACAPULCO, GUERRERO

Organizadores:

Arturo Iglesias Mendoza
Gerardo Suárez Reinoso
Raúl Daniel Corona Fernández

SE16-1

## MODELO DE DESLIZAMIENTO DEL SISMO DEL 8 DE SEPTIEMBRE DE 2021 EN ACAPULCO, GUERRERO UTILIZANDO ONDAS P Y SH TELESISMICAS

Martínez López María del Rosario[1] y Mendoza Carlos[2]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Centro de Geociencias, UNAM*
rosariomar55@hotmail.com

En este trabajo se presenta la aplicación de un procedimiento de inversión de falla finita para obtener un modelo de deslizamiento para el sismo de Acapulco, Guerrero del 8 de septiembre de 2021. Se invirtieron ondas P y SH telesísmicas de banda ancha en velocidad y se hicieron pruebas para determinar los parámetros de la fuente que mejor ajustan los datos. Se utilizó la geometría de la falla reportada por el Global CMT Project (rumbo 277°, buzamiento 21° y ángulo de deslizamiento 71°) con dimensiones de 80x80 km, celdas de 5x5 km, profundidad del hipocentro de 15 km y una velocidad de ruptura de 2.7 km/s. Se determinó un tiempo de dislocación de 3 s, un momento sísmico de 4e26 dinas-cm (Mw 7.0), un deslizamiento máximo de 186 cm y un área de ruptura rectangular de ~35x45 km. El modelo obtenido en este trabajo es similar, en la zona principal de deslizamiento y en el deslizamiento máximo, al que se obtuvo de forma automática en tiempo casi real. Además, se está examinando la incertidumbre en el modelo utilizando un simple procedimiento de muestreo donde se realizan más de 200 inversiones independientes tomando en cuenta los posibles errores en la geometría de la falla, la profundidad del hipocentro y la velocidad de ruptura. Los modelos obtenidos a partir de este proceso determinan el promedio y la desviación estándar del deslizamiento en cada celda. Los resultados pueden ayudar a entender el proceso de generación del sismo del 8 de septiembre y su relación con el doblete de M7.1 y M7.0 de 1962 en la misma zona.

SE16-2

## ANÁLISIS RÁPIDO DE LA FUENTE SÍSMICA UTLIZANDO ONDAS P TELESÍSMICAS: EL SISMO DE ACAPULCO, GUERRERO DEL 8 DE SEPTIEMBRE 2021

Mendoza Carlos[1] y Martínez López María del Rosario[2]
[1]*Centro de Geociencias, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
mendozac@geociencias.unam.mx

Obtuvimos un modelo preliminar del deslizamiento cosísmico una hora después del sismo Mw 7 de Acapulco del 8 de septiembre 2021 (01:47 UTC) utilizando un procedimiento rápido de inversión de ondas P telesísmicas en desplazamiento. Se utilizó el mecanismo focal publicado en línea por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) para definir la orientación de la falla con el hipocentro a 12.6km de profundidad. Se utilizó una falla de 80km x 80km dividida en 256 celdas, permitiendo un tiempo máximo de dislocación de 5s. El procedimiento rápido utiliza formas de onda registradas en tiempo real para realizar dos inversiones consecutivas: una para cada uno de los planos nodales del mecanismo focal. El modelo que le corresponde al evento se selecciona posteriormente tomando en cuenta el marco sismotectónico de la región. Para el sismo de Acapulco, el plano nodal con buzamiento hacia el noreste corresponde al plano de falla, consistente con la subducción de la placa de Cocos bajo Norteamérica. Para este plano, los resultados muestran una fuente simple que cubre un área de aproximadamente 40km x 40km y un valor máximo de deslizamiento de 1.9m. El área de ruptura es similar a la determinada por el USGS utilizando registros de ondas de cuerpo y ondas superficiales. El análisis rápido de las ondas P telesísmicas recupera caracteristicas de la fuente de primer orden que pueden ser de utilidad para el diseño de programas de alerta temprana en México.

SE16-3

## A SOURCE STUDY OF THE ACAPULCO EARTHQUAKE OF 8 SEPTEMBER, 2021 (MW7.0)

Iglesias Arturo[1], Singh Shri Krishna[1], Castro Artola Oscar Alberto[2], Pérez-Campos Xyoli[1], Espíndola Castro Víctor Hugo[1], Arroyo Danny[3] y Franco Sánchez Sara Ivonne[1]
[1]*Universidad Nacional Autónoma de México*
[2]*Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas*
[3]*Universidad Autónoma Metropolitana*
arturo@geofisica.unam.mx

The earthquake of 2021 broke a segment of plate interface below Acapulco that might have ruptured during the 11 May 1962 (Ms7.0) earthquake. The earthquake initiated offshore Acapulco (16.7700N, 99.9420W) and propagated downdip towards NE. This source directivity is confirmed from (a) an analysis of local and regional recordings as a function of azimuth, (b) aftershock distribution, and (c) kinematic inversion of near-source and regional filtered (0.025-0.4 Hz) displacement seismograms. The inversion is performed in the frequency domain starting with fault plane geometry consistent with Global CMT solution (#=277°, #=21°, #=71°). Slip is distributed over an area of ~20 km X 30 km with the large slip area located at the NE end of the fault plane. Source characteristics of the 2021 earthquake, retrieved from teleseismic data, is very similar to other Mexican subduction thrust earthquakes in the magnitude 7.0 -7.5 range (see Table). The moment rate function (MRF) of the 2021 event, reported by NEIC, U.S. Geological Survey from finite-fault modeling, is simple. Moment rate spectrum (MRS) obtained by patching the spectrum of the MRF at lower frequencies with the spectrum computed from teleseismic P waves at higher frequencies is well fit by an #2-source with stress drop of 1 MPa. Our estimated radiated seismic energy, Er, from teleseismic P-waves is 8.0x1014J , so that the normalized energy, Er/M0, is 2.2x10-5. REEF, a measure of source complexity (Ye et al., 2018), is 5.8, a small value (implying simple source) but similar to other 5 recent Mexican earthquakes (see Table). It is known that Mexican subduction thrust earthquakes produce relatively small number of mb # 5 aftershocks. In 3 weeks after the 2021 earthquake, the largest aftershock had a magnitude of Mw4.3. Table. Source parameters of six Mexican subduction thrust earthquakes Event Mw ER/M0 REEF* 1995, Copala 7.3 1.83x10-5 4.5 2012, Pinotepa 7.5 2.96 x10-5 4.4 2014, Papanoa 7.3 1.03 x10-5 10.1 2018, Pinotepa 7.2 1.04 x10-5 25.2 2020, Huatulco 7.4 2.39 x10-5 6.1 2021, Acapulco 7.0 2.20 x10-5 5.8 *REEF: Radiated energy enhancement factor

SE16-4

## COSEISMIC DEFORMATION AND SLIP DISTRIBUTION OF THE MW7.1 (2021) ACAPULCO EARTHQUAKE

Cruz-Atienza Víctor M.[1], Solano Darío[2], Tago Josué[2], Franco Sara I.[1], Villafuerte Carlos[3], Kostoglodov Vladimir[1], Kazachkina Ekaterina[1], Real Jorge[1], Iglesias Arturo[1], Singh Shri Krishna[1], Ito Yoshihiro[4] y Becel Anne[5]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[3]*École Normale Supérieur, Paris*
[4]*Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*
[5]*Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University*
cruz@geofisica.unam.mx

The Mw7.1 thrust earthquake of September 8, 2021 is certainly the best near-field recorded event in Mexican history. About 21 strong motion, 15 GPS, 3 OBPs (Ocean Bottom Pressure recorders) and 2 GPS-Acoustic (between 1,000 and 3,500 m below the sea level) stations may have recorded the event within 110 km of the epicenter. Although records from autonomous sites are still to come, the dataset available three weeks after the rupture is much larger than for any other Mexican earthquake. The relocated hypocenter indicates an offshore rupture initiation 7 km southwest from the Acapulco Bay. Three InSAR coseismic images generated from Sentinel satellite scenes and 15 well-distributed estimates of three-component displacements reveal a deformation pattern suggesting a main rupture patch east of Acapulco. Simultaneous inversion of the whole data set by means of ELADIN (ELastostatic Adjoint INversion method), a recently introduced and powerful technique (Tago et al., GJInt, 2021), confirms this conjecture and thus (1) suggests a rupture directivity to the north-northeast, (2) rules out a repeat of the May 1962 earthquake doublet (M7.0 and M7.1) a few kilometers to the west, and (3) confirms an overlap of the slip distribution with the aftershock region of the 1957 M7.8 earthquake that toppled the ”Angel de la Independencia” in Mexico City. We will discuss some possible implications of our preliminary results in the framework of the regional slow seismicity since 2017 (i.e., three Mw7 slow slip events in Guerrero) (Cruz-Atienza et al., NatComm, 2021) and recent offshore observations in the Guerrero seismic gap (Plata-Martinez et al., NatComm, 2021; Cruz-Atienza et al., SRL, 2018). Near-term research prospects offshore the Guerrero seismic gap from large seismic profiles aboard the R/V Langseth in 2022 will also be presented. Acknowledgments: We are very grateful for the seismological records provided by CIRES A.C. (SASMEX network), the ”Instituto de Ingeniería” of UNAM and Gerardo Suárez.

SE16-5

## IS THE ACAPULCO EARTHQUAKE OF 8 SEPTEMBER 2021 (MW 7.0) A REPEAT OF THE 11 MAY 1962 EARTHQUAKE?

Corona-Fernandez Raúl Daniel[1], Singh Shri Krishna[2] y Santoyo Miguel A.[2]
[1]*Posgrado, UNAM*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
geofisica.corona@gmail.com

Small repeating earthquakes have been reported in many regions. Repeating earthquakes at M 6 level have been documented in the Parkfield region of San Andreas fault mostly based on the similarity of Galitzin seismograms recorded at DeBilt (DBN), Netherlands (Bakun et al., 2005). To our knowledge, no repeating earthquake at M 7 level has been reported in the literature. Here we present evidence that the Acapulco earthquakes of 2021 (Mw7.0) and May 11, 1962 are repeated events. It comes from the comparison of the seismograms of these two events at DBN (azimuth = 370; # = 860). We digitized and vectorized the Galitzin seismogram of the 1962 event and resampled it at 40 Hz. No correction was made for possible uneven rotation of the recording drum. As this seismograph is no longer in operation, the broadband seismogram of the 2021 earthquake at DBN was deconvolved by the instrumental response and convolved with the response of the nominal Galitzin seismometer. Comparison reveals some differences in the two traces, especially in the P and PP waves, very likely related to the difference in the source complexity. Minor differences persist at later times also. Beyond 1000 s the traces are very similar albeit slightly misaligned, probably due to uneven rotation of the recording drum. The amplitude of the 2021 trace is ~15% greater than the 11 May 1962 trace. This may be due to slightly greater magnitude of the 2021 earthquake or due to

the difference in the nominal and true response of the DBN Galitzin seismograph (Dost and Haak, 2006). In spite of the differences, the overall resemblance of the traces is extraordinarily unique. We conclude that the two events were repeat of each other; they ruptured the same asperity with very similar source characteristics. Support for repeated events also comes from: (1) nearly the same uplift (~17 cm) at a tide-gauge station in the Acapulco Bay, (2) (Ms, mB) pair of (7.03, 7.04) and (7.05, 7.1) for the 2021 and 11 May 1962 earthquakes, respectively (H. Kanamori, personal communication, 2021). We finally note that the resemblance between 2021 and the doublet of 19 May 1962 is poor.

SE16-6

## ¿HUBO ACTIVACIÓN DE SISMOS REPETITIVOS PREVIO AL SISMO DEL 7 DE SEPTIEMBRE DEL 2021 MW7.1 EN ACAPULCO, GUERRERO?

Domínguez Ramírez Luis Antonio
*Universidad Nacional Autónoma de México*
ladominguez@enesmorelia.unam.mx

El sismo del 7 de septiembre del 2021 ocurrió en el borde de las zonas de ruptura de los sismos lentos del estado de Guerrero. Esta zona había sido identificada previamente como una región donde ocurren sismos repetitivos de forma relativamente estable a lo largo de la brecha de Guerrero. En este estudio, buscamos identificar la posible variación de los cambios en los sismos repetitivos previas a este evento. Estos cambios han sido identificados en diversas regiones del mundo, por ejemplo, previos a sismo de magnitud Mw9.0 de Tohoku, Japón y en México en la región cercana al sismo del 16 de febrero del 2018, en Pinotepa Nacional, Oaxaca. En caso, de ser identificable un posible incremento en la variación de sismos repetitivos puede ser utilizado como un indicador de un aumento en el riesgo sísmico de las zonas cercanas a la trinchera donde ocurren la mayor parte de sismos repetitivos.

SE16-7

## ANÁLISIS DE LAS RÉPLICAS DEL SISMO DE ACAPULCO DEL 8 DE SEPTIEMBRE DE 2021 (MW = 7.1): RESULTADOS PRELIMINARES UTILIZANDO APRENDIZAJE PROFUNDO

Ortega Roberto
*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*
ortega@cicese.mx

En este estudio presentaré los primeros resultados de un estudio para identificar, clasificar y localizar las réplicas del sismo del 8 de Septiembre de 2021 (localmente ocurrió el 7 de Septiembre). Utilizaré varios modelos de aprendizaje profundo que han sido entrenados especialmente para reconocer eventos locales de baja magnitud, sobre todo réplicas a distancias menores de 150 km. Las redes profundas son una herramienta valiosa que puede identificar con gran efectividad pequeños eventos sísmicos. En este caso utilizaré redes neuronales que están basadas en módulos de atención con arquitectura para eventos sísmicos. Se presentarán los detalles estadísticos con sus métricas respectivas incluyendo precisión y memoria. Presentaré resultados de la evolución de las réplicas con su interpretación y características espacio-temporales.

SE16-8

## ANALYSIS OF STRONG GROUND MOTION DURING THE 8 SEPTEMBER 2021 (MW7.0) ACAPULCO EARTHQUAKE: RUPTURE DIRECTIVITY AND IMPLICATIONS IN THE SEISMIC RESPONSE OF MEXICO CITY

Arroyo Danny[1], Singh Shri Krishna[2], Ordaz Schroeder Mario[3] y Iglesias Arturo[4]
[1]*Departamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana*
[2]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[3]*Instituto de Ingeniería, UNAM*
[4]*Universidad Nacional Autónoma de México*
aresda@correo.azc.uam.mx

The 2021 event occurred just below Acapulco, a tourist resort where ~ 0.6 million people live. The epicenter was located at 16.7700N, 99.9420W with a focal depth of 16 km. The earthquake was very strongly felt in Acapulco with PGA exceeding 0.6 g at some sites. Despite the large observed intensities, there were no collapses and only one reported death. Although the seismicity is relatively high in the region, the city has not been exposed to a large earthquake since 1962. Since 1962 the city has grown with many high-rise buildings. Because of relatively dense instrumentation in the region, the event was well recorded by accelerographs and BB seismic stations. The analysis of seismograms and accelerograms clearly reveals directivity towards NE. Unusually large PGA values and spectral ordinates are observed in NE direction with respect to the GMPE of Arroyo et al. (2010). The comparison of CU recording with those at other sites in the NE direction from the epicenter reveals that directivity effect was not present at CU station. We use as Empirical Green's Function the SCT recording during the 2021 Mw7.0 earthquake to simulated strong ground motion for a postulated Mw8 event. We find that the simulated intensities are roughly half of the intensities observed during the great 1985 Mw8 Michoacan Earthquake. These results suggest that source directivity may have played a role in the large destruction observed in Mexico City during the 1985 earthquake.

SE16-9

## ONDAS SUPERFICIALES EN LA CIUDAD DE MÉXICO EN EL SISMO DE GUERRERO M7.1 DEL 7 DE SEPTIEMBRE DE 2021

Baena Rivera Marcela[1], Arciniega-Ceballos Alejandra[1], Meza Cecilia[2], Cuellar Martínez Armando[2], Cruz-Jiménez Hugo[3], Pérez-Rocha Luís Eduardo[4] y Sánchez-Sesma Francisco J.[3]
[1]*Instituto de Geofísica, UNAM*
[2]*CIRES*
[3]*Instituto de Ingeniería, UNAM*
[4]*Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, INEEL*
mbaenar@gmail.com

El sismo de Guerrero M7.1 del 7 de septiembre de 2021 es un evento inverso en la zona de subducción que produjo daños en la zona epicentral y se registró en la Ciudad de México con efectos menores. Un porcentaje importante de las estaciones acelerométricas existentes en la Ciudad registró el sismo. En este trabajo se examinan los registros de la Red Acelerométrica de la Ciudad de México (RACM), de la Red Acelerométrica del Instituto de Ingeniería (RAII), y de la Red de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional (RBASSN). A partir de aplicación de varias técnicas como el análisis en el dominio frecuencia-número de onda (f-k), y técnicas espectrales en el dominio frecuencia-tiempo, se estudia la generación local de ondas superficiales. Con base en estos resultados, se propone una explicación preliminar del comportamiento del Valle de México en este temblor.

SE16-10

## PSEUDO FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA ESTIMACIONES DEL MOVIMIENTO FUERTE DEL TERRENO EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Martínez-González José Antonio[1], Cárdenas Soto Martín[2], Ovando Shelley Efraín[3] y Rojas Hernández Rodrigo[3]
[1]*Posgrado en Ingeniería, UNAM*
[2]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[3]*Instituto de Ingeniería, UNAM*
jose.martinez@ingenieria.unam.edu

En este trabajo presentamos un procedimiento para estimar espectros de respuesta de aceleración y desplazamiento a partir de pseudo funciones de transferencia en el dominio de la frecuencia. El objetivo es mostrar la viabilidad de estas funciones para obtener acelerogramas en superficie para varios sitios en la Ciudad de México. Realizamos estimaciones para sismos fuertes de los últimos 20 años, donde también incluimos los sismos de septiembre de 1985, 2017 y 2021. Los resultados muestran un buen acuerdo en la forma espectral respecto a los estimaciones directas; resultados que corroboran los estudios que señalan que la respuesta sísmica puede ser predicha por un modelo 1D. Sin embargo, el mayor desajuste ocurre en periodos mayores de 2 s, lo que sugiere que la respuesta sísmica profunda de la cuenca es sensible al tipo de sismo, o bien, a la contribución de los efectos de trayecto.

Sesión especial

# GENERAL

Organizadores:

Daniel Peralta
Vanesa Magar

SE17-1

## METODOLOGÍA DE INTEGRACIÓN DE MAPAS INTERACTIVOS EN CONJUNTO CON PLATAFORMAS DE VISUALIZACIÓN 3D, PARA EL APOYO A LA DOCENCIA EN LAS GEOCIENCIAS: AVANCES

Macías Sergio Enrique[1], Pacheco Samuel[1], Mancera-Alejándrez Javier[1] y Ramos Rosique Aldo[2]
[1]*Ingeniería Geológica Asistida, Facultad de Ingeniería, UNAM*
[2]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
sergioenriquemm@gmail.com

En la actualidad prácticamente todas las disciplinas de las geociencias producen datos espaciales en 2D, 2.5D y 3D con la finalidad de representar los fenómenos que se desarrollan en torno a la superficie terrestre. Sin embargo, con ello surgen nuevos retos tecnológicos que apuntan a la gestión, almacenamiento, visualización e interpretación de dichos datos de manera digital, y su interacción por medio de plataformas accesibles. Es por ello por lo que han surgido varias propuestas que permiten integrar los diferentes datos espaciales en un solo proyecto, a través de un conjunto de complementos pertenecientes a la librería open-source de Leaflet desarrollada bajo el lenguaje de programación JavaScript, que tiene por objeto crear mapas interactivos en conjunto con visualizaciones de modelos con diferentes dimensiones. Dentro del Grupo de Ingeniería Geológica Asistida (GIGA) de la FI-UNAM, hemos interpretado las características de Leaflet, como un área de oportunidad dentro de la docencia para la elaboración de mapas interactivos que auxilien en la gestión de proyectos de investigación y a su vez como apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje de diversas asignaturas de las geociencias, potencializando actividades como la transferencia de la información, la generación de conocimiento y el trabajo de investigación por parte de los estudiantes previo, durante y posterior a una visita de campo. Sin embargo, sigue existiendo una barrera para hacer posible este tipo de proyectos dentro de algunos entornos docentes, ya que detrás de la propuesta de la cartográfica interactiva, existe un flujo de trabajo robusto compuesto por la habilidad de la producción y manejo de los datos espaciales en conjunto con la capacidad de representarlos a través de lenguajes de programación. Como solución al problema, dentro de GIGA FI-UNAM, estudiamos las aptitudes que tiene Leaflet para proponer una metodología de trabajo con la que se generen proyectos cartográficos aplicados a la docencia, que contribuyan en la generación de conocimiento y actualización derivado del manejo de los datos espaciales y con la capacidad de tener una fácil distribución por medio de un canal de comunicación atractivo como es el Internet. Finalmente, dentro de la plática se podrá vislumbrar la capacidad de adaptación de la metodología propuesta bajo el contexto de la pandemia de la COVID-19, en donde la docencia ha migrado por el momento a un sistema híbrido entre lo presencial y virtual, con lo que es de suma importancia contar con material didáctico asíncrono y virtual que sea capaz de transmitir el conocimiento de la dinámica de los fenómenos desarrollados entorno a la superficie terrestre. Este estudio está siendo financiado gracias al proyecto de DGAPA/UNAM PE101020.

SE17-2

## APLICACIÓN DE DRONES EN LA GEOLOGÍA: RECURSOS DIGITALES PARA EL APRENDIZAJE AUTÓNOMO

Mancera Javier[1], Hernández-Espriú Antonio[1] y Valenzuela-Argüelles Rebeca[2]
[1]*Facultad de Ingeniería, UNAM*
[2]*Dirección General de Tecnologías de la Información y Comunicación, UNAM*
jmancera@unam.mx

Una de las enseñanzas que nos ha dejado la pandemia causada por la Covid-19, fue la posibilidad de interactuar con nuestros estudiantes por medios digitales y la "sustitución" de las visitas de campo presenciales por recursos digitales como videos, mapas en línea, prácticas a distancia, etc. Además, esto nos hizo reflexionar sobre la medida en que estábamos aprovechando las tecnologías disponibles hasta antes de la pandemia. Por otro lado, la evolución tan rápida en las tecnologías disponibles que podrían potencializar trabajo geológico de campo como la adquisición de datos a través de sensores remotos tales como LiDAR o fotogrametría digital con drones, no ha permitido que estas herramientas sean incluidas en los planes de estudio actuales de las carreras de geociencias. Por ello hemos planteado un proyecto para desarrollar material y recursos digitales que permitan el aprendizaje autónomo en el uso de drones con aplicaciones en la geología. Se trata de un sitio web (https://drones.unam.mx/) que recopila una serie de elementos como textos a los que hemos llamado Unidades Teóricas en donde el lector podrá encontrar conceptos básicos en el manejo de drones y el procesamiento de fotografías para la extracción de datos geológicos de las rocas. Hemos diseñado elementos que hemos llamado Guías de Aprendizaje autónomo que describen uno o varios procesos desde como programar un vuelo de dron hasta el procesamiento de fotografías para la obtención de nubes de puntos y modelos digitales del terreno (MDT) y la obtención de datos geológicos a partir de las nubes de puntos. Estas guías están ligadas a un aserie de Videotutoriales que facilitan la realización de los procesos descritos en las Guías. El usuario del portal podrá generar sus propios productos o bien podrá descargar del portal colecciones de fotografías, nubes de puntos y modelos 3D para practicar y aprender. Finalmente se están desarrollando recorridos geológicos virtuales a los que hemos llamado Visitas Geologías Virtuales en donde el usuario podrá navegar en un ambiente de Google Earth para conocer sitios geológicos interesantes con la inclusión de materiales audiovisuales a diferentes escalas. Se espera que estos recursos puedan ser aprovechados por el estudiantado de geociencias y se convierta en una poderosa herramienta que permita acercarles a los drones y eventualmente complemente y potencialice su ejercicio profesional. La generación del portal web y los recursos digitales han sido financiados con el proyecto PAPIME PE101020, realizado por integrantes de la Facultad de Ingeniería y la DGTIC de la UNAM.

SE17-3

## MATERIAL DIDÁCTICO PARA ENSEÑAR A LOS INGENIEROS GEÓLOGOS A PROGRAMAR EN PYTHON

Solano-Rojas Darío, García Venegas Josué, Ortíz Soto Brenda y Mancera Alejandrez Javier
*Facultad de Ingeniería, UNAM*
dsolano@unam.mx

Históricamente, los ingenieros geólogos no sabemos programar. Incluso, a algunos nos da miedo. Sin embargo, el sector industrial actual requiere de profesionales especializados en el tratamiento sistemático de datos geológicos a través de rutinas de programación. Desafortunadamente, los profesionales encargados del procesado de datos enfocados a la exploración geológica egresados de las escuelas a nivel nacional, típicamente ingenieros geólogos e ingenieros en minas y metalurgia, carecen de los fundamentos básicos de programación aplicada. Una encuesta que dirigimos a egresados, alumnos y docentes de carreras ciencias de la tierra de instituciones a nivel nacional, y en la que les preguntamos su opinión acerca de la necesidad de programar para el desarrollo de sus actividades académicas y profesionales, revela que la mayoría de los encuestados considera saber programar como algo útil y necesario. Sin embargo, de los encuestados que reportan saber programar, la mayoría lo tuvo que aprender por cuenta propia. Además, los encuestados de la carrera de ingeniería geológica reportaron que, aunque consideran necesario el saber programar, la mayoría no sabe hacerlo. Además, muchos estudiantes reportan la poca disponibilidad de materiales de apoyo para el aprendizaje de la programación enfocado al tratamiento y análisis de datos geológicos. En este trabajo, presentamos materiales interactivos, audiovisuales, y video tutoriales de apoyo para el aprendizaje de programación para el tratamiento de datos geológicos, particularmente para el uso de nubes de puntos para el análisis de paredes de roca. Considerando que Python es el lenguaje de programación que marca el estándar actual de la academia y en la industria, nuestro trabajo se enfoca en producir material didáctico que introduzcan a los alumnos al manejo de datos geológicos usando jupyter notebooks, y de esa manera contribuir a formar profesionales con la capacidad y habilidad de procesar datos de manera programática en el desarrollo de sus actividades profesionales en la industria. En este trabajo presentamos tres ejemplos de materiales didácticos. El primer ejemplo se enfoca en la visualización y manipulación de nubes de puntos de una pared de roca, considerando sus coordenadas tridimensionales en el espacio geográfico, utilizando librerías comunes de Python y librerías especializadas en la visualización de nubes de puntos. El segundo ejemplo que presentamos se basa en el análisis estadístico de los atributos de color de una nube de puntos, así como su clasificación y segmentación utilizando la técnica de K-means. En el tercer ejemplo, presentamos un ejemplo para la detección de superficies de discontinuidad en una pared de roca, así como el análisis de estas en coordenadas esféricas, para luego calcular el vector promedio-representativo con varios de los métodos tradicionales utilizados en la estadística esférica. Con nuestros ejemplos abordamos el tratamiento de datos geológicos, que puede llegar a ser complejo, y no necesariamente parecerse a los ejemplos típicos de programación en Python. Por ejemplo, puede requerir el manejo de espacios n-dimensionales con n>>3, distribuciones multi-modales, y con orientación expresada en geometría esférica.

SE17-4

## 20 ANIVERSARIO DEL COLEGIO DE INGENIERÍA GEOFÍSICA DE LA BUAP - UNA PERSPECTIVA DE INCLUSIÓN

González Hernández Julio César, Delgado Ayala Daniela, Martínez Mirón Yleana Claudia, González Guevara José Luis, Vera Zeller Marco Alejandro, Castillo Pensado Juan Luis y Pérez Lozano Guadalupe
*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
julio.gonzalezhdz@correo.buap.mx

El colegio de Ingeniería Geofísica (CIGF) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) inicia actividades en el periodo de otoño de 2021, siendo hasta ese momento la carrera más joven de la Facultad de Ingeniería (FIBUAP). En 2019 se realiza, con fines de acreditación, un análisis de rendimiento escolar de los estudiantes del colegio, en el cual se resaltan los siguientes resultados en términos de perspectiva de género, donde visiblemente las estudiantes han ido ganando terreno en cuanto a presencia y preferencia por una carrera que en sus inicios era en mayor medida elegida por hombres. Los datos de dicho análisis abarcan a las generaciones de ingreso de 2009 a 2018. El ingreso de alumnos hasta 2016 era anual, pero a partir de esta generación, el ingreso se realiza de manera semestral, con generaciones de 20 alumnos en promedio que inician a la mitad del año (periodo de primavera). Para el semestre regular (periodo de otoño) ingresan en promedio 42 alumnos a la licenciatura cada año. Cabe señalar que a partir de enero 2019 el ingreso máximo permitido en primavera se amplió a 50 estudiantes De éstos y para el periodo analizado, el porcentaje de hombres entre los estudiantes que inician es

del 56% en promedio (44% para mujeres). Para las generaciones que a la fecha cuentan con egresados, se estimó la proporción de hombres y mujeres que han completado los créditos. Para todas las generaciones más del 50% de los egresados son hombres, y el caso más marcado se da en la generación 2014, para la cual la proporción de hombres y mujeres al ingresar no era tan dispar. Adicionalmente, el colegio tiene 2 capítulos estudiantiles, el SEG-AMGE y el EAGE-BUAP. En el primero la mesa directiva está conformado en un porcentaje de 50 % mujeres y 50 % hombres, y los integrantes del mismo están distribuidos en un 60 % mujeres y 40 % hombres. En el segundo capítulo tanto la mesa directiva como los integrantes se distribuyen en un 50 % hombres y 50 % mujeres. En términos de planta docente, al año 2017 se contaba con una sola docente adscrita al CIGF, para el primer semestre de 2021 se integra otra docente al CIGF, y una docente externa que colabora como parte de dicha academia en materias formativas. Cabe señalar que en este caso, el 100 % de las profesoras que imparten materias formativas en el CIGF cuentan con posgrado, no así el caso de los profesores.

SE17-5

## PERCEPCIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE IGF-BUAP SOBRE LA CALIDAD DE LAS CLASES EN LÍNEA DURANTE LA PANDEMIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV-2

González Guevara José Luis, Martínez Mirón Yleana Claudia, González Hernández Julio César, Castillo Pensado Juan Luis, Ventura Marroquín Julia Isabel y Téllez de la Cruz Óscar Alexis
*Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*
jose.gonzalezguevara@correo.buap.mx

El periodo escolar denominado “primavera 2020” sufrió durante el proceso dos afectaciones significativas a saber: en los meses de febrero y marzo, un paro estudiantil en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y algunas otras Universidades, convocado para establecer demandas de seguridad pública y equidad e igualdad de género; de igual manera, de los meses marzo 2020 a la fecha, el paro de actividades decretado por la Secretaría de Educación Pública debido a la pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2. Debido a estos acontecimientos, el Colegio de Geofísica se ha visto obligado a adaptar la enseñanza a esta situación, utilizando como medio principal las tecnologías de la información y la comunicación. La mayoría de los profesores han tenido que hacer una transición brusca para impartir sus clases en línea. Este estudio examina el grado en que los estudiantes de Ingeniería Geofísica de la BUAP se sienten conectados con sus cursos. Usando una encuesta estadística con trece preguntas de opción múltiple, los participantes en este estudio (N = 178) dijeron que la mayoría usa computadoras portátiles (130/178) y teléfonos inteligentes para recibir sus clases. De igual manera, la plataforma educativa más utilizada es “Microsoft teams” (98.9%), la calidad de INTERNET es medianamente suficiente (42.7%) y solo el 59.6% de los estudiantes logra conectarse entre el 75% y el 100% del total de las clases.

SE17-6 CARTEL

## TERRABRÚJAS: DIVULGADORAS DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Brito Mejía Lizbeth, Núñez Velázquez Miriam Valeria y Martínez Izaguirre Evelin
*Universidad Nacional Autónoma de México*
brito_7@ciencias.unam.mx

Terrabrújas es una colectiva conformada por estudiantes mujeres de licenciatura y maestría en Ciencias de la Tierra con un enfoque interdisciplinario. Este proyecto surgió a partir de las actividades y las movilizaciones que se dieron en el marco del Día Internacional de la Mujer (8M), en las que mujeres de la disciplina compartieron sus sentires y experiencias, evidenciando la violencia de género que se vive dentro y fuera de la ciencia. Por ello, el objetivo de Terrabrújas es crear un espacio seguro para visibilizar el trabajo de mujeres científicas dedicadas al estudio de la Tierra en sus distintas disciplinas. Además de compartir dichas investigaciones a todas las personas, de todos los espacios y todas las edades. A lo largo de un año y medio se ha desarrollado material de divulgación referente a mujeres científicas, la geología de México, vídeos sobre conceptos de las Ciencias de la Tierra y consejos de trabajo de campo. Por otra parte, se han llevado a cabo conversatorios con científicas de las ciencias de la tierra sólida, acuáticas, atmosféricas, espaciales y ambientales, con la finalidad de brindar orientación vocacional a las nuevas generaciones. Terrabrújas ha colaborado con la Red de Observadores de la Ciencia Mexicana en el evento ”Mes del Orgullo en la Ciencia”, en el cual se entrevistaron a investigadores y estudiantes de la comunidad científica LGBT+, y se publicaron infografías de sus investigaciones para dar a conocer su trabajo. De la misma forma, la colectiva ha participado en proyectos con el comité municipal del Consejo Estatal de Líderes Universitarios del Estado de Hidalgo (CELUH-Mineral del Chico) para realizar actividades dirigidas a visitantes y residentes del municipio. Alcanzar a las comunidades marginadas e involucrarlas con su entorno por medio del conocimiento de las ciencias de la Tierra, descentralizar y extender el proyecto para más geocientíficas interesadas en participar y motivar a más mujeres a estudiar ciencias, son parte de la visión del proyecto de Terrabrújas.

Sesión especial

# CONFERENCIAS PLENARIAS

Organizadores:
Daniel Peralta
Vanesa Magar

SE18-1

## APORTACIONES DEL CIGOM AL CONOCIMIENTO DEL GOLFO DE MÉXICO

Herguera Juan Carlos
*División de Oceanologia, CICESE*
herguera@cicese.mx

No se proporcionó resumen.

SE18-2

## DISCO-TNOS: DIGGING UP FOSSILS IN THE SOLAR SYSTEM THANKS TO THE JAMES WEBB SPACE TELESCOPE

Pinilla-Alonso Noemí
*Florida Space Institute, USA*
npinilla@ucf.edu

It has been more than 25 years since the discovery of the first trans-Neptunian object (15760) 1992 QB1 in the modern era. In the intervening years, more than 3000 KBOs and Centaurs have been discovered, and this is still only a small fraction of the estimated total population. TNOs are a compositionally and dynamically diverse population that includes some of the most primitive bodies in the Solar System. This population preserves a record of the significant dynamical dispersal of the protoplanetesimal disk that followed the era of planet formation. Despite this progress, much is still unknown about the composition of the TNOs. Spectroscopy of TNOs was for years a powerful tool to study their surface composition but it has reached its limits from ground-based facilities and there is no instrumentation available now capable of significantly increasing that existing sample with sufficient quality for compositional analysis. James Webb Space Telescope (to be launched in 2021) will succeed the Hubble Space Telescope as NASA's premier space-based telescope for planetary science. The NIRSpec instrument on board of JWST will provide high-quality data that will surpass the quality of the data available by orders of magnitude. DisCo, lead by the Florida Space Institute, is the only program approved by JWST to study the surface composition of small bodies in the Solar System. With it, we aim to assess the relative ratio of water ice, complex organics, silicates, and volatiles on the surface of a large sample of TNOs. This information is vital to improving models of the formation of our Solar System and other planetary systems. Moreover, it relates to disciplines such as astrochemistry, cosmochemistry, and astrobiology, being relevant to our understanding of the origin of water and life on Earth and possibly elsewhere. In this talk, I will review the actual state of the JWST, to be launched before the end of 2021, and will show the basis of the DisCo project and how it will interrogate the surface of these ice rocks in the Solar System. This is the time to provide such critical information to the scientific community, and JWST is the optimal avant-garde tool to face that challenge.

SE18-3

## THE NEW CLIMATE WAR: THE FIGHT TO TAKE BACK OUR PLANET

Mann Michael
*Department of Meteorology and Atmospheric Science, PenState University, USA*
mann@psu.edu

Human-caused climate change is arguably the greatest threat we face as a civilization. Efforts to attack and deny the scientific evidence have constituted a major impediment to action over the past two decades. At a time when we appear to be moving past outright denial of the problem, we face a multi-pronged strategy by polluting interests to distract, deflect, attack, and divide the climate activist community. This involves, among other things, (a) efforts to deflect attention from systemic change and regulatory policy solutions to personal behavior, (b) doomist framing that disempowers us by exaggerating the threat in such a way as to make catastrophic changes now seem unavoidable, and (c) the promotion of false solutions that seek to enable the continued burning of fossil fuels that is at the very root of the problem. It is important to recognize while there is great urgency in acting, there is also agency. There is still time to for us to avert the worst impacts of climate change if we act now and we act boldly. I will discuss what we can do to fight back, emphasizing the importance of both urgency AND agency in efforts to save our planet.

SE18-4

## SEISMIC NOISE-BASED IMAGING AND MONITORING WITH THE PHASE COHERENCE APPROACH

Schimmel Martin
*Geosciences Barcelona (GEO3BCN-CSIC), Spain*
mschimmel@geo3bcn.csic.es

Explicar el concepto básico de la Greens Function, su extracción del ruido sísmico ambiente mediante la señal analítica y coherencia en fase, y presentar diferentes estudios de caso (cartografía del embasamiento de la cuenca de Ebro, monitoreo de un volcán en El Hierro y extracción de agua en una hidrotermal y tal vez algún resultado de Marte).

SE18-5

## HOW DO EARTHQUAKES CONVERSE?

Stein Ross
*Temblor, Inc.*
ross@temblor.net

I will argue that large earthquakes can promote and inhibit failure on nearby faults, triggering or suppressing nearby quakes, and that the transfer of stress plays a governing role in this interaction. Through a series of physical demonstrations and slides, I will use these concepts to explain the distribution of mainshocks, aftershocks, and progressive earthquake sequences, around the world. In this talk, I will be conveying work of my outstanding collaborators, Geoffrey King, Shinji Toda, Jian Lin, Tom Parsons, Jim Dieterich, Keith Richards-Dinger, Aykut Barka, Dave Jackson, and Volkan Sevilgen, who bring a rich range of insights and talents. At heart, we find that the stress imparted by earthquakes does not simply turn seismicity on or off; rather, the background seismicity rate is enhanced by stress increases, and suppressed by stress decreases. This, we believe, best explains why seismicity in stress trigger zones is often patchy or discontinuous; why seismicity rate drops in stress shadows can be subtle or absent, and why some aftershock sequences last for a year and others persist for centuries. While this model is a far cry from earthquake prediction, it perhaps can take us on the road to the more useful and accurate earthquake forecasts that we all seek.

# ÍNDICE DE AUTORES

| | | |
|---|---|---|
| Aceves Zayas Dafne Gabriela* | GEOQP-1 | 55 |
| Acosta Chang José | SE07-15 | 118 |
| Acosta Hernández Jorge Alberto* | GEOQP-9 CARTEL | 56 |
| Acuña-Lara Fernando | GGA-6 | 49 |
| Adams David K. | CCA-3 | 13 |
| Adams David K. | CCA-26 | 18 |
| Aguayo Ríos Alejandra | GGA-3 | 48 |
| Aguilar Anaya Diego Armando | SE14-3 | 140 |
| Aguilar Daniel | SE13-7 | 135 |
| Aguilar Daniel | SE13-13 | 137 |
| Aguilar Duarte Yameli | SE12-4 | 130 |
| Aguilar Duarte Yameli | SE12-5 | 131 |
| Aguilar-Madera Carlos Gilberto | MSG-3 | 59 |
| Aguilar Treviño Daniel | SE13-12 | 136 |
| Aguilar-Valdés Francisco Javier | RN-3 | 74 |
| Aguilar Yameli | SE13-7 | 135 |
| Aguilar Yameli | SE13-11 | 136 |
| Aguilera Anahí | SE13-1 | 134 |
| Aguilera Anahí | SE13-5 | 135 |
| Aguilera Anahí* | SE13-9 | 136 |
| Aguilera Anahí | SE13-10 | 136 |
| Aguilera Anahí | SE13-11 | 136 |
| Aguilera-Ramírez Andrea* | FE-2 | 31 |
| Aguillón Robles Alfredo | GEOQP-11 CARTEL | 57 |
| Aguirre-Diaz Gerardo de Jesús | VUL-7 | 91 |
| Aguirre Gómez Raúl* | SE01-5 | 95 |
| Agustin Serrano Ricardo | GEOQP-4 | 55 |
| Aladro-Chio Young Ho | SE07-7 | 116 |
| Aladro-Chio Young Ho | SE07-8 | 116 |
| Aladro-Chio Young Ho | SE07-10 | 117 |
| Alam M. Ayaz | VUL-14 CARTEL | 92 |
| Alaniz Álvarez Susana | GET-2 | 43 |
| Alaniz Álvarez Susana | GET-3 | 43 |
| Alavez Vargas Mayrén | GEOH-16 | 38 |
| Alcalá Martínez René | CS-17 CARTEL | 9 |
| Alcántara José Luis | CCA-37 CARTEL | 20 |
| Alcocer Durand Javier | SE01-4 | 95 |
| Alcocer Durand Javier | SE01-8 | 96 |
| Alcocer Durand Javier | SE01-9 | 96 |
| Alducin Karla I. | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Alegria Andrés | SE05-6 | 111 |
| Alferes-Martinez Victoria P.* | FE-4 | 31 |
| Allen Susan | OCC-2 | 64 |
| Allende-Arandía Ma. Eugenia* | OCE-8 | 69 |
| Allende-Arandía Ma. Eugenia | SE10-10 | 125 |
| Almaguer Carmenates Yuri | EG-15 | 25 |
| Almaguer Carmenates Yuri | GET-7 | 44 |
| Alva Valdivia Luis Manuel | GEOPAL-3 | 51 |
| Alva Valdivia Luis Manuel | GEOPAL-5 | 52 |
| Alva Valdivia Luis Manuel | GEOPAL-6 | 52 |
| Alva Valdivia Luis Manuel | GEOPAL-9 CARTEL | 52 |
| Alvarado Soto Sergio | SE03-1 | 103 |
| Álvarez Harry | CCA-17 | 16 |
| Álvarez-Rivera Osar | SE12-7 | 131 |
| Álvarez Román | GET-5 | 44 |
| Álvarez Román* | GET-8 | 44 |
| Álvarez Román* | SE08-1 | 120 |
| Álvarez San Román Fernando | GEOQP-9 CARTEL | 56 |
| Amador Muñoz Omar | CCA-14 | 15 |
| Amaro-Ramírez Daniel | SE13-4 | 134 |
| Andraca Ayala Gema L. | CCA-14 | 15 |
| Andrade Arcaeli* | SE13-11 | 136 |
| Andrade Cardoso Andressa | SE05-9 | 112 |
| Ángeles Edgar | GEOH-6 | 36 |
| Angeles-Moreno Edgar* | GET-4 | 43 |
| Appendini Christian M. | OCC-11 | 65 |
| Appendini Christian M. | OCE-8 | 69 |
| Appendini Christian M.* | OCE-11 | 70 |
| Appendini Christian M. | SE10-3 | 123 |
| Appendini Christian M. | SE10-8 | 124 |
| Appendini Christian M. | SE10-10 | 125 |
| Aquino Martínez Lourdes Paola* | CCA-35 CARTEL | 20 |
| Aquino Sandoval Gilberto Crispin | SIS-16 | 87 |
| Arámbula Mendoza Raúl | SIS-14 | 86 |
| Arámbula Mendoza Raúl | VUL-12 CARTEL | 92 |
| Aranda Gómez José Jorge | GET-9 | 44 |
| Aranda Gómez José Jorge* | GET-11 | 45 |
| Aranda Gómez José Jorge | GGA-6 | 49 |
| Arango Galván Claudia | EG-6 | 24 |
| Arango Galván Claudia | EG-7 | 24 |
| Arango Galván Claudia | EG-14 | 25 |
| Aray Castellano Jelime* | SE04-4 | 106 |
| Aray Castellano Jelime | SE04-5 | 107 |
| Arciniega-Ceballos Alejandra | SE16-9 | 143 |
| Arciniega Esparza Saul* | GEOH-9 | 37 |
| Arciniega Esparza Saul | GEOH-11 | 37 |
| Arellano Gil Javier* | GP-1 CARTEL | 41 |
| Arellano Gil Javier* | GP-2 CARTEL | 41 |
| Arellano Gil Javier* | SE08-3 | 120 |
| Arellano Torres Elsa | GEOQP-12 CARTEL | 57 |
| Arellano Zepeda Gustavo | SE07-15 | 118 |
| Arenas Fragoso Miztli Daniel | GEOH-12 | 38 |
| Arévalo Robles Carlos Daniel | GEOH-10 | 37 |
| Arias-Esquivel Victor Alejandro* | SE02-11 | 101 |
| Arias Jafet | MSG-12 | 61 |
| Arita Morales Sofía | SE12-7 | 131 |
| Armenta de los Reyes Lilly Roxana* | CCA-19 | 17 |
| Armienta Hernández Maria Aurora | GGA-3 | 48 |
| Armienta María Aurora | VUL-2 | 90 |
| Arregui Ojeda Sergio Manuel | GET-10 | 45 |
| Arregui Ojeda Sergio Manuel | SE07-7 | 116 |
| Arregui Ojeda Sergio Manuel | SE07-8 | 116 |
| Arregui Ojeda Sergio Manuel | SE07-9 | 117 |
| Arregui Ojeda Sergio Manuel | SE07-10 | 117 |
| Arriaga Diaz de León Lilia E. | MSG-11 | 61 |
| Arriaga Jaime | SE10-3 | 123 |
| Arriaga Jaime | SE10-10 | 125 |
| Arroyo Danny* | SIS-18 | 87 |
| Arroyo Danny | SE16-3 | 142 |
| Arroyo Danny* | SE16-8 | 143 |
| Artzate-Flores Jorge | GEOPAL-8 | 52 |
| Athié Gabriela* | OCC-3 | 64 |
| Athié Gabriela | OCE-7 | 69 |
| Athié Gabriela | OCE-10 | 70 |
| Audemard Franck | SE04-1 | 106 |
| Audin Laurence | SE04-1 | 106 |
| Audin Laurence | SE04-2 | 106 |
| Avalos Cueva David* | SE01-3 | 95 |
| Avalos Cueva David | SE01-9 | 96 |
| Avellán Denis Ramón* | VUL-5 | 90 |
| Avellan Denis Ramón | VUL-15 CARTEL | 93 |
| Avellán Denis Ramón | SE04-3 | 106 |
| Avellan Denis Ramón | SE04-4 | 106 |
| Avellan Denis Ramón | SE04-5 | 107 |
| Ávila Barrientos Lenin* | SIS-2 | 84 |
| Ávila Carrasco José Roberto* | GEOH-10 | 37 |
| Ávila-Cruz Máximo | GEOD-1 | 33 |
| Ávila Foucat V. Sophie | SE10-4 | 123 |
| Ávila García Jesús | SED-3 | 81 |
| Ávila García Jesús | SE04-4 | 106 |
| Ávila García Jesús | SE04-5 | 107 |
| Ávila-Olivera Jorge Alejandro | SE04-3 | 106 |
| Ávila Oscar | EG-8 | 24 |
| Ávila Oscar* | EG-9 | 24 |
| Ávila Sophie | SE10-6 | 124 |
| Ayaz Alam Mohammad | VUL-11 CARTEL | 92 |
| Azofeifa Chaves Danalie de los Angeles | OCE-2 | 68 |
| Baena Rivera Marcela* | SE16-9 | 143 |
| Baizabal Gómez Emma Daira | VUL-3 | 90 |
| Balmaceda-Huarte Rocío | SE05-7 | 111 |
| Balmaceda-Huarte Rocío | SE05-10 | 112 |
| Balmaceda-Huarte Rocío | SE05-15 CARTEL | 113 |
| Bandy William Lee | SE14-3 | 140 |
| Baño Medina J. | SE05-10 | 112 |
| Barba López María del Refugio* | SE01-4 | 95 |
| Barba López María del Refugio | SE01-8 | 96 |
| Barba López María del Refugio | SE01-9 | 96 |
| Barba López María del Refugio | SE01-11 CARTEL | 97 |
| Barboza Gudiño José Rafael | SED-5 CARTEL | 81 |
| Barceinas-Cruz Hermenegildo | AR-3 | 2 |
| Barnez Gramcianinov Carolina | SE05-9 | 112 |
| Bastien-Olvera Bernardo A.* | CCA-28 | 18 |
| Batista Cruz Ramón Yosvanis | EG-15 | 25 |
| Batista Cruz Ramón Yosvanis | GET-7 | 44 |
| Batista Rodríguez José Alberto* | EG-15 | 25 |
| Batista Rodríguez José Alberto | GET-7 | 44 |
| Bautista Dorian* | SE13-8 | 135 |
| Bautista Francisco* | SE12-1 | 130 |
| Bautista Francisco | SE12-2 | 130 |
| Bautista Francisco* | SE12-6 | 131 |
| Bautista Francisco | SE12-8 | 131 |
| Bautista Francisco | SE12-9 CARTEL | 132 |
| Bautista Francisco | SE12-10 CARTEL | 132 |
| Bautista Francisco | SE13-1 | 134 |
| Bautista Francisco | SE13-5 | 135 |
| Bautista Francisco* | SE13-7 | 135 |
| Bautista Francisco | SE13-8 | 135 |
| Bautista Francisco | SE13-9 | 136 |
| Bautista Francisco | SE13-10 | 136 |
| Bautista Francisco | SE13-11 | 136 |

| | | |
|---|---|---|
| Bautista Francisco* | SE13-14 | 137 |
| Bautista Zúñiga Francisco | CS-4 | 5 |
| Bautista Zúñiga Francisco | SE12-4 | 130 |
| Bautista Zúñiga Francisco | SE12-7 | 131 |
| Bautista Zúñiga Francisco | SE13-12 | 136 |
| Bautista Zúñiga Francisco | SE13-13 | 137 |
| Bautista Zúñiga Francisco | SE13-16 CARTEL | 138 |
| Bayu Risanto Christoforus | SE05-3 | 110 |
| Bazán Barrón Sergio | GET-13 CARTEL | 46 |
| Bazán Barrón Sergio* | GET-14 CARTEL | 46 |
| Bazán Barrón Sergio | GET-15 CARTEL | 46 |
| Bazán Barrón Sergio* | GEOQP-10 CARTEL | 56 |
| Bazán Barrón Sergio* | SED-1 | 81 |
| Bazán Perkins Sergio Dale* | GET-13 CARTEL | 46 |
| Bazán Perkins Sergio Dale | GET-14 CARTEL | 46 |
| Bazán Perkins Sergio Dale* | GET-15 CARTEL | 46 |
| Bazán Perkins Sergio Dale | GEOQP-10 CARTEL | 56 |
| Bazán Perkins Sergio Dale | SED-1 | 81 |
| Becel Anne | SE16-4 | 142 |
| Beier Emilio | OCC-1 | 64 |
| Beier Emilio | OCE-18 | 71 |
| Beltrán Paz Ofelia | CS-3 | 5 |
| Beltrán Paz Ofelia | CS-13 | 8 |
| Beltrán Paz Ofelia | CS-17 CARTEL | 9 |
| Beltrán Paz Ofelia | CS-21 CARTEL | 10 |
| Beltrán Paz Ofelia Ivette | CS-11 | 7 |
| Beltrán Paz Ofelia Ivette | CS-18 CARTEL | 9 |
| Beltrán Paz Ofelia Ivette* | CS-24 CARTEL | 11 |
| Beltrán Paz Ofelia Ivette* | CS-25 CARTEL | 11 |
| Benavente Carlos | SE04-1 | 106 |
| Benente Luigi | SE04-6 | 107 |
| Benso Marcos | SE05-8 | 111 |
| Beramendi Orosco Laura | AR-4 | 2 |
| Beraud-Macías Vianney | CS-23 CARTEL | 11 |
| Bermúdez-Romero Anahí | SE02-11 | 101 |
| Bernal Juan Pablo | GEOQP-2 | 55 |
| Bernal Juan Pablo | GEOQP-3 | 55 |
| Berne Alexander* | SE07-4 | 115 |
| Bertaiola Franco | MSG-5 | 59 |
| Bertaiola Franco | MSG-9 | 60 |
| Berumen Saldivar Gustavo* | MSG-8 | 60 |
| Bettolli María Laura | SE05-7 | 111 |
| Bettolli María Laura* | SE05-10 | 112 |
| Bettolli María Laura | SE05-11 | 112 |
| Bettolli María Laura | SE05-15 CARTEL | 113 |
| Blanco Moreno Jesús Antonio | EG-15 | 25 |
| Bloomfield Hannah | SE02-6 | 100 |
| Bobadilla Ballesteros Martha Daniela* | CS-1 | 5 |
| Bodin Thomas | SIS-4 | 84 |
| Bolaina Vasconcelos Jonathan | SE12-3 | 130 |
| Boulesteix Thomas | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Brand Nolan | EG-22 | 27 |
| Brito Mejía Lizbeth* | SE17-6 CARTEL | 146 |
| Bruster Flores José Luis | RN-19 CARTEL | 78 |
| Builes-Jaramillo Alejandro | SE05-4 | 110 |
| Builes-Jaramillo Alejandro* | SE05-5 | 110 |
| Builes-Jaramillo Alejandro* | SE05-13 CARTEL | 113 |
| Bustamante Alba C. | SE10-2 | 123 |
| Bustos Díaz Silvia Osiris | GET-12 CARTEL | 45 |
| Cabadas Héctor | CS-2 | 5 |
| Caballero García Ana María Lizeth | RN-1 | 74 |
| Caballero Jiménez Gema Victoria | RN-13 | 76 |
| Cabral Cano Enrique | GEOD-2 | 33 |
| Cabral Cano Enrique | GEOD-3 | 33 |
| Cabral Cano Enrique | RN-10 | 76 |
| Cabral Cano Enrique | RN-14 | 77 |
| Caccavari-Garza Ana | EG-19 | 26 |
| Caccavari-Garza Ana | GEOPAL-7 | 52 |
| Caccavari-Garza Ana | GEOPAL-8 | 52 |
| Cala Pérez Yoel Alejandro* | CCA-24 | 18 |
| Calderón-Bustamante Óscar | CCA-27 | 18 |
| Calderón Pulido Paul Alexander* | EG-1 | 23 |
| Calò Marco | SIS-4 | 84 |
| Calò Marco | SIS-5 | 84 |
| Calò Marco | SIS-13 | 86 |
| Calò Marco* | SIS-22 CARTEL | 88 |
| Calva Chávez Miriam Alin | OCE-12 | 70 |
| Calvo Rathert Manuel | GEOPAL-2 | 51 |
| Camacho Miguel* | GET-5 | 44 |
| Cámara Beauregard Gelder Éneo | GEOQP-9 CARTEL | 56 |
| Campbell Jayaka | SE05-6 | 111 |
| Campion Robin | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Campion Robin | VUL-2 | 90 |
| Campion Robin | VUL-4 | 90 |
| Campos Trujillo Alfredo | SE13-3 | 134 |
| Candela Julio | OCE-7 | 69 |
| Candela Julio | OCE-10 | 70 |
| Cano Théotime* | SE02-13 CARTEL | 101 |
| Canul-Macario Cesar | GEOH-8 | 36 |
| Canul-Macario Cesar* | SE10-7 | 124 |
| Canul Reyes Diego Arturo* | SE02-7 | 100 |
| Carabalí Giovanni | CCA-33 CARTEL | 20 |
| Carabalí Giovanni | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Carbajal Noel | CCA-15 | 16 |
| Carbajal Noel | CCA-21 | 17 |
| Cárdenas Pestana Jorge Alberto* | OCE-16 | 71 |
| Cárdenas Soto Martín* | EG-5 | 23 |
| Cárdenas Soto Martín | EG-27 CARTEL | 28 |
| Cárdenas Soto Martín | EG-30 CARTEL | 28 |
| Cárdenas Soto Martín | SIS-16 | 87 |
| Cárdenas Soto Martín | SE16-10 | 143 |
| Cardona-Melchor Silvestre | VUL-5 | 90 |
| Carlón Allende Teodoro | RN-5 | 74 |
| Carrasco Tomas | CCA-37 CARTEL | 20 |
| Carrillo González Fatima Maciel | RN-21 CARTEL | 78 |
| Carrillo Laura | OCE-9 | 69 |
| Carrillo Marrodan Lizbeth Guadalupe* | GEOQP-7 | 56 |
| Carrillo-Vargas Armando* | GEOPAL-8 | 52 |
| Cassain Domingo | SE05-6 | 111 |
| Castellano-Bahena Heidy Viviana | CCA-1 | 13 |
| Castelle Bruno | OCC-12 | 66 |
| Castillo Aja Rocío | RN-6 | 75 |
| Castillo Bautista Blanca Natalia | SE05-9 | 112 |
| Castillo Jorge L.* | CS-26 CARTEL | 11 |
| Castillo Natalia | SE05-8 | 111 |
| Castillo Pensado Juan Luis | MSG-14 CARTEL | 61 |
| Castillo Pensado Juan Luis | MSG-15 CARTEL | 61 |
| Castillo Pensado Juan Luis | RN-23 CARTEL | 79 |
| Castillo Pensado Juan Luis | SE17-4 | 145 |
| Castillo Pensado Juan Luis | SE17-5 | 146 |
| Castillo Reyes Octavio | EG-23 | 27 |
| Castillo Román José | GEOH-13 | 38 |
| Castro Artola Oscar Alberto | EG-6 | 24 |
| Castro Artola Oscar Alberto | EG-14 | 25 |
| Castro Artola Oscar Alberto* | SIS-9 | 85 |
| Castro Artola Oscar Alberto | SE16-3 | 142 |
| Castro César Daniel* | EG-10 | 24 |
| Castro César Daniel* | EG-12 | 25 |
| Castro César Daniel | EG-26 CARTEL | 28 |
| Castro-Chacón Joel H.* | FE-1 | 31 |
| Castro-Chacón Joel H. | FE-2 | 31 |
| Castro-Chacón Joel H. | FE-3 | 31 |
| Castro-Chacón Joel H. | FE-4 | 31 |
| Castro Chacón Joel H. | FE-5 | 31 |
| Castro Christopher L. | CCA-24 | 18 |
| Castro Escamilla Raúl Ramón* | SIS-12 | 86 |
| Castro Iliana | OCE-15 | 71 |
| Castro Marco | OCE-15 | 71 |
| Castro Mora Jesús | GEOQP-7 | 56 |
| Castro Oscar Alberto | SIS-8 | 85 |
| Castro Torres Jonathan* | RN-19 CARTEL | 78 |
| Cavazos Tereza | CCA-5 | 13 |
| Cavazos Tereza | SE05-2 | 110 |
| Cavazos Tereza | SE05-3 | 110 |
| Ceballos-Tavares Jesús Alberto | CCA-1 | 13 |
| Ceballos-Tavares Jesús Alberto* | CCA-23 | 17 |
| Cejudo Rubén | GEOPAL-4 | 51 |
| Cejudo Rubén | GEOPAL-7 | 52 |
| Cejudo Rubén | SE11-2 | 127 |
| Cejudo Rubén | SE11-3 | 127 |
| Cejudo Rubén | SE11-4 | 127 |
| Cejudo Rubén | SE11-7 | 128 |
| Cejudo Rubén | SE13-9 | 136 |
| Cejudo Rubén | SE13-12 | 136 |
| Cejudo Rubén | SE13-16 CARTEL | 138 |
| Cejudo Ruiz Rubén | GEOPAL-1 | 51 |
| Cejudo Ruiz Rubén* | SE13-13 | 137 |
| Ceniceros Gómez Agueda Elena | CS-19 CARTEL | 9 |
| Ceniceros Gómez Agueda Elena | SE13-4 | 134 |
| Ceniceros Gómez Agueda Elena | SE13-9 | 136 |
| Cerezo Mota Ruth | OCE-11 | 70 |
| Cerón Julia | CCA-15 | 16 |
| Cervantes Duarte Rafael | OCE-16 | 71 |
| Cervantes-Solano Miguel Ángel | GEOPAL-1 | 51 |
| Cervantes-Solano Miguel Ángel* | GEOPAL-2 | 51 |
| Cervantes-Solano Miguel Ángel | GEOPAL-4 | 51 |
| Cervantes-Solano Miguel Ángel | SE11-2 | 127 |
| Cervantes-Solano Miguel Ángel | SE11-3 | 127 |
| Cervantes-Solano Miguel Ángel | SE11-4 | 127 |
| Cervantes-Solano Miguel Ángel | SE13-13 | 137 |

| | | |
|---|---|---|
| Cervera Gómez Luis Ernesto | SE03-8 CARTEL | 104 |
| Chang Rachel | CCA-36 CARTEL | 20 |
| Chartier Thomas | SE04-10 | 108 |
| Chávez-Cabello Gabriel | GET-11 | 45 |
| Chávez-Ceron Valeria | SE10-2 | 123 |
| Chávez Hernández Guillermo | SE12-3 | 130 |
| Chávez Laura | SE05-11 | 112 |
| Chávez-Salas Sergio Daniel | RN-3 | 74 |
| Chávez Vergara Bruno | AR-1 | 2 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-3 | 5 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-5 | 6 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-6 | 6 |
| Chávez Vergara Bruno* | CS-11 | 7 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-13 | 8 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-14 | 8 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-17 CARTEL | 9 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-18 CARTEL | 9 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-21 CARTEL | 10 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-24 CARTEL | 11 |
| Chávez Vergara Bruno | CS-25 CARTEL | 11 |
| Cheng Xin | EG-22 | 27 |
| Cifuentes Nava Gerardo | EG-5 | 23 |
| Cifuentes Nava Gerardo | EG-19 | 26 |
| Cifuentes Nava Gerardo | EG-27 CARTEL | 28 |
| Cifuentes Nava Gerardo | EG-30 CARTEL | 28 |
| Cifuentes Nava Gerardo | GEOPAL-7 | 52 |
| Cifuentes Nava Gerardo | GEOPAL-8 | 52 |
| Cisneros Máximo Guillermo | VUL-5 | 90 |
| Cisneros Máximo Guillermo | VUL-15 CARTEL | 93 |
| Coba Báez Alfredo Yael | MSG-14 CARTEL | 61 |
| Coba Báez Alfredo Yael | MSG-15 CARTEL | 61 |
| Coba Báez Alfredo Yael* | RN-23 CARTEL | 79 |
| Cocuñame Ricardo Danny Alexander* | EG-4 | 23 |
| Colás Vanessa | GEOPAL-5 | 52 |
| Colchado Casas Juan Carlos | EG-16 | 26 |
| Colchado Casas Juan Carlos* | EG-18 | 26 |
| Colchado Casas Juan Carlos | EG-21 | 27 |
| Colchado Casas Juan Carlos | EG-24 | 27 |
| Colorado Gabriela* | CCA-5 | 13 |
| Colorado Ruiz Gabriela | SE05-4 | 110 |
| Condado Mejía Paola* | CS-18 CARTEL | 9 |
| Constable Steven | EG-14 | 25 |
| Contreras López Manuel | EG-7 | 24 |
| Corbo-Camargo Fernando | EG-8 | 24 |
| Corbo-Camargo Fernando | EG-9 | 24 |
| Corbo-Camargo Fernando | EG-10 | 24 |
| Corbo-Camargo Fernando | GET-12 CARTEL | 45 |
| Córdoba Fernanda | CCA-13 | 15 |
| Córdoba Fernanda | CCA-33 CARTEL | 20 |
| Córdoba María Fernanda | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Córdoba María Fernanda* | CCA-36 CARTEL | 20 |
| Córdoba Montiel Francisco | SIS-9 | 85 |
| Córdova Hernández Imelda Estephani | EG-25 CARTEL | 27 |
| Cornejo Marcela | OCE-5 | 68 |
| Corona Chávez Pedro | VUL-6 | 91 |
| Corona Daniela* | CCA-37 CARTEL | 20 |
| Corona-Fernandez Raúl Daniel* | SE16-5 | 142 |
| Coronado Álvarez Lourdes | OCE-3 | 68 |
| Coronado-Álvarez Luz de Lourdes Aurora* | OCE-4 | 68 |
| Corrales-Suastegui Arturo* | SE05-3 | 110 |
| Corrales-Suastegui Arturo | SE05-8 | 111 |
| Correa Gómez José Guadalupe* | VUL-15 CARTEL | 93 |
| Correa Ivan D. | SE10-2 | 123 |
| Correa Mauricio A. | SE10-2 | 123 |
| Cortés Esquivel José Luis* | SE13-12 | 136 |
| Cortés José Luis | SE13-13 | 137 |
| Cortés Silva Alejandra* | GEOH-12 | 38 |
| Cortés Silva Alejandra | MSG-7 | 60 |
| Cossey Stephen | SED-6 CARTEL | 82 |
| Cruz-Atienza Víctor M. | SE10-5 | 124 |
| Cruz-Atienza Víctor M.* | SE16-4 | 142 |
| Cruz Harlen I.* | EG-2 | 23 |
| Cruz-Jiménez Hugo | SE16-9 | 143 |
| Cruz Nuñez Xochitl | CCA-32 | 19 |
| Cruz Pérez Eiby Agustin | EG-20 | 26 |
| Cruz Ronquillo Olivia | GGA-3 | 48 |
| Cuellar Martínez Armando | SE16-9 | 143 |
| Cueto Angulo Jair Alfredo* | SIS-5 | 84 |
| Cuevas Figueroa Gabriel | SE02-8 | 100 |
| Cuevas Figueroa Gabriel* | SE02-9 | 100 |
| Cuevas Jiménez Alfonso | SE10-6 | 124 |
| Cuevas Kevin | MSG-12 | 61 |
| Dávila Harris Pablo | GEOQP-11 CARTEL | 57 |
| Dávila Harris Pablo | VUL-8 | 91 |
| Dávila Harris Pablo | VUL-16 CARTEL | 93 |
| De Basabe Delgado Jonás de Dios | MSG-16 CARTEL | 61 |
| De Basabe Delgado Jonás de Dios | MSG-17 CARTEL | 62 |
| De Basabe Delgado Jonás de Dios | MSG-18 CARTEL | 62 |
| De La Cruz Hernández Emmanuel* | GEOQP-5 | 55 |
| De La Mora Orozco Celia | SE13-15 | 137 |
| De León España José* | VUL-10 CARTEL | 92 |
| De León Gómez Héctor | CCA-8 | 14 |
| De Lucio Oscar G. | SE11-2 | 127 |
| De Yta Castillo Diana* | SE10-4 | 123 |
| De la Fuente Rivera Juan Ramón | VUL-2 | 90 |
| De la Fuente Rivera Juan Ramón | VUL-3 | 90 |
| De la Luz Victor* | MSG-13 CARTEL | 61 |
| De la Miyar Loza Mariana* | OCE-7 | 69 |
| Debajyati Roy Priyadarsi | GEOQP-1 | 55 |
| Del Rio-Salas Rafael | GGA-7 | 49 |
| Delgadillo-Hinojosa Francisco | OCE-14 | 71 |
| Delgado Argote Luis Alberto | EG-7 | 24 |
| Delgado Argote Luis Alberto | GET-6 | 44 |
| Delgado Ayala Daniela | MSG-14 CARTEL | 61 |
| Delgado Ayala Daniela | RN-23 CARTEL | 79 |
| Delgado Ayala Daniela | SE17-4 | 145 |
| Delgado Contreras Juan Antonio* | OCE-3 | 68 |
| Delgado Contreras Juan Antonio | OCE-4 | 68 |
| Delgado Granados Hugo* | VUL-13 CARTEL | 92 |
| Derosier B. | SE07-14 | 118 |
| Dewitte Boris | OCE-5 | 68 |
| Díaz Félix Luis G. | MSG-11 | 61 |
| Díaz Gonzalo | SE05-11 | 112 |
| Díaz Jaime | CS-2 | 5 |
| Díaz Jaime | CS-9 | 7 |
| Díaz Jaime* | CS-14 | 8 |
| Díaz Ortega Jaime | CS-3 | 5 |
| Díaz-Ortega Jaime | CS-21 CARTEL | 10 |
| Díaz-Ortega Jaime | CS-24 CARTEL | 11 |
| Díaz-Ortega Jaime | CS-25 CARTEL | 11 |
| Díaz-Ortega Ulises* | GEOPAL-4 | 51 |
| Díaz Palacios Sofía Guadalupe* | GEOH-16 | 38 |
| Diego Olmedo Sayra Itzel | EG-29 CARTEL | 28 |
| Dimdore-Miles Oscar* | CCA-11 | 15 |
| Domínguez Acosta Miguel | SE03-1 | 103 |
| Domínguez-Mota Francisco | SE01-1 | 95 |
| Domínguez Ramírez Luis Antonio | SIS-6 | 84 |
| Domínguez Ramírez Luis Antonio | SIS-24 CARTEL | 88 |
| Domínguez Ramírez Luis Antonio* | SE16-6 | 143 |
| Donnellan Andrea | SE07-11 | 117 |
| Dorantes Monobe Gustavo | GEOH-10 | 37 |
| Doyle Moira* | SE05-11 | 112 |
| Duque Angela | SE10-2 | 123 |
| Duque Luis Fernando | MSG-5 | 59 |
| Duque Luis Fernando | MSG-9 | 60 |
| Durán Rodrigo | OCC-1 | 64 |
| Durán Rodrigo | OCE-8 | 69 |
| Eguiluz de Antuñano Samuel | GET-11 | 45 |
| Elizalde Vázquez Karla Jimena | VUL-3 | 90 |
| Enríquez Cecilia | OCC-7 | 65 |
| Enríquez Cecilia | OCE-10 | 70 |
| Enríquez Ortíz Cecilia* | OCC-6 | 65 |
| Enríquez Ortíz Cecilia | SE02-1 | 99 |
| Escalera Hernández Yannick | SE01-8 | 96 |
| Escalona Alcázar Felipe de Jesús | CCA-9 | 14 |
| Escobedo Tamez Andrea N.* | CCA-6 | 14 |
| Escobedo Zenil David | EG-5 | 23 |
| Escobedo Zenil David* | EG-27 CARTEL | 28 |
| Escobedo Zenil David | EG-30 CARTEL | 28 |
| Escofet Anamaría | GEOQP-6 | 56 |
| Escofet Anamaría | GEOQP-8 | 56 |
| Escudero Ayala Christian René | EG-4 | 23 |
| Escudero Ayala Christian René | SE04-8 | 107 |
| Escudero Christian R. | CS-26 CARTEL | 11 |
| Escudero Christian R. | EG-2 | 23 |
| Escudero Christian R. | SIS-20 CARTEL | 87 |
| Esparza López Juan Rodrigo* | SE11-7 | 128 |
| Espinasa Pereña Ramón | VUL-3 | 90 |
| Espinasa Pereña Ramón | VUL-4 | 90 |
| Espinasa Pereña Ramón | VUL-9 CARTEL | 91 |
| Espíndola Castro Juan Manuel | SIS-7 | 85 |
| Espíndola Castro Juan Manuel | SE04-8 | 107 |
| Espíndola Castro Víctor Hugo | SE16-3 | 142 |
| Espinosa-Carréon Teresa Leticia | OCE-4 | 68 |
| Espinoza Fernández Estefanía* | MSG-16 CARTEL | 61 |
| Espinoza Fernández Estefanía | SE14-2 | 140 |
| Espinoza Juárez Tania Karen* | GEOH-13 | 38 |
| Espinoza-Maldonado Inocente Guadalupe | GGA-7 | 49 |
| Espinoza Ojeda Orlando Miguel | MSG-2 | 59 |
| Esquivel Herrera Katya* | GEOH-2 | 35 |

Estrada Botello Maximiano Antonio SE12-3 130
Estrada Francisco CCA-27 18
Estrada Jaramillo Melitón VUL-1 90
Estrada Jaramillo Melitón SE11-8 128
Estrada Medina Héctor SE12-5 131
Estrada Medina Héctor* SE12-7 131
Eysteinsson Hjálmar EG-10 24
Farrar Christopher SE07-4 115
Feijoo Martin SE05-11 112
Félix-Bermúdez Armando* OCE-14 71
Fernández Rodríguez Alberto* RN-21 CARTEL 78
Fernández Torres Enrique GEOD-2 33
Fernández-Torres Enrique RN-10 76
Fernández Torres Enrique A. RN-14 77
Fernandez-Torres Enrique Antonio* GEOD-3 33
Ferrari Luca EG-10 24
Ferriño Fierro Adrián L. MSG-11 61
Ferriño Fierro Adrián Leonardo CCA-8 14
Ferriño Fierro Adrián Leonardo RN-19 CARTEL 78
Fidel Romero Valentina Fernanda* EG-19 26
Fielding Eric SE07-11 117
Fierro Lourdes M. SE05-4 110
Figueroa Bernardo CCA-17 16
Figueroa Miranda Sócrates RN-9 75
Figueroa Soto Angel SIS-4 84
Figueroa-Soto Angel SIS-5 84
Filonov Anatoliy OCE-1 68
Filonov Anatoliy OCE-2 68
Filonov Anatoliy SE01-2 95
Filonov Anatoliy SE01-3 95
Filonov Anatoliy SE01-4 95
Filonov Anatoliy SE01-6 96
Filonov Anatoliy* SE01-8 96
Filonov Anatoliy SE01-9 96
Filonov Anatoliy SE01-11 CARTEL 97
Filonzi Sara SE04-6 107
Flores Aparicio Andrés Iván* RN-18 CARTEL 78
Flores Estrella Hortencia SIS-2 84
Flores Luna Carlos Francisco GEOQP-8 56
Florian Carolina SE05-5 110
Fonseca Montes de Oca Reyna María Guadalupe GEOH-4 35
Franco-Rubio Miguel SE03-7 104
Franco Sánchez Sara Ivonne SE16-3 142
Franco Sara I. SE16-4 142
Franco Sara Ivonne SIS-8 85
Franklin Gemma L. OCC-11 65
Franklin Gemma L. SE10-10 125
Franklin Gemma Louise* SE10-8 124
Fuentes Hernández Hugo Alberto SE13-15 137
Fuentes Mariles Oscar A. RN-14 77
Fuentes Rivas Rosa María GEOH-4 35
Fuentes Romero Elizabeth CS-1 5
Fuentes Rubio Natalia Denise* EG-30 CARTEL 28
Galaviz Sergio MSG-12 61
Galaviz-Villa Itzel OCE-7 69
Galguera Rosas Gerardo VUL-13 CARTEL 92
Galicia García Pamela SE12-3 130
Gallardo Romero Erik Uziel EG-7 24
Gallardo Romero Erik Uziel EG-14 25
Gallardo Romero Erik Uziel* EG-23 27
Gallardo Vanessa MSG-12 61
Gallegos Ángeles SE12-1 130
Gallegos Ángeles* SE12-2 130
Gallegos Ángeles SE12-6 131
Gallegos Ángeles* SE12-9 CARTEL 132
Gallegos-Castillo Cristian A. SE07-7 116
Gallegos-Castillo Cristian A. SE07-8 116
Gallegos-Castillo Cristian A. SE07-9 117
Gallegos Castillo Cristian Alejandro GET-10 45
Gallegos Castillo Cristian Alejandro SE07-10 117
Gallegos Medina José Andrés* SE13-3 134
García Abdeslem Juan EG-3 23
García Avila Germán CCA-8 14
García Calderón Norma Eugenia CS-1 5
García Chan Néstor CCA-7 14
García Cruzado Sergio Armando RN-2 74
García Daniel CS-9 7
García Dena Miriam Paulina* SE03-8 CARTEL 104
García Ernesto CCA-13 15
García Franco Jorge* CCA-2 13
García-García Fernando CCA-18 16
García-García Fernando CCA-19 17
García-García Fernando* CCA-20 17
García-Hernández Luis S. SE02-3 99
García Hernández Oscar* MSG-2 59
García Hernández Oscar SED-3 81
García Josué GEOD-3 33
García-Loginova Vladimir CCA-20 17
García-Mayordomo Julián SE04-1 106
García-Mayordomo Julián SE04-10 108
García Meza Ignacio Francisco* SE07-12 117
García Oliva Felipe CS-6 6
García Oliva Felipe CS-18 CARTEL 9
García Oscar SE04-5 107
García Pamela* CS-20 CARTEL 10
García Pimentel Alejandra Guadalupe* SE11-3 127
García Pimentel Alejandra Guadalupe* SE11-4 127
García Rafael GEOPAL-7 52
García Rafael SE11-2 127
García Rafael SE11-3 127
García Rafael SE11-4 127
García Rafael SE12-10 CARTEL 132
García Reynoso José Agustín VUL-13 CARTEL 92
García Ríos Dante SE11-2 127
García-Rosales Alan SE05-3 110
García Ruiz Rafael GEOPAL-1 51
García-Ruiz Rafael GEOPAL-4 51
Garcia-Ruiz Rafael* SE11-1 127
García Sánchez María del Carmen* EG-28 CARTEL 28
García Sandoval Cristian Alexis* SIS-14 86
García Suárez Erick* EG-6 24
García Suárez Erick EG-7 24
García Suárez Erick EG-14 25
García Tenorio Felipe* RN-5 74
García-Venegas Josué RN-10 76
García Venegas Josué SE17-3 145
García Zeferino Thania Alejandra* AR-6 CARTEL 3
García Zepeda Maria Luisa SED-4 81
Garduño González Ana Belén RN-7 75
Garduño González Ana Belén* RN-8 75
Garduño Monroy Víctor Hugo SE04-4 106
Garduño Monroy Víctor Hugo SE04-5 107
Garduño Monroy Víctor Hugo SE04-6 107
Gasca Tzitlali* SE01-1 95
Gasca Tzitlali SE01-2 95
Gasca Tzitlali SE01-12 CARTEL 97
Gavilán Irma CCA-33 CARTEL 20
Gaviño-Rodríguez Juan Heberto OCC-4 64
Gaviño-Rodríguez Juan Heberto SE02-2 99
Gaxiola Camacho José Ramón GEOD-4 33
Gay-García Carlos CCA-31 19
Geirinhas João SE05-6 111
Gijón Yescas Neftaly* SE12-4 130
Gijón Yescas Neftaly* SE12-5 131
Giles Julián Alberto* SE05-14 CARTEL 113
Godinez Victor M. SE02-11 101
Gogichaishvili Avto GEOPAL-1 51
Gogichaishvili Avto GEOPAL-2 51
Gogichaishvili Avto GEOPAL-4 51
Gogichaishvili Avto GEOPAL-7 52
Gogichaishvili Avto SE11-1 127
Gogichaishvili Avto SE11-2 127
Gogichaishvili Avto SE11-3 127
Gogichaishvili Avto SE11-4 127
Gogichaishvili Avto SE11-7 128
Gogichaishvili Avto SE12-10 CARTEL 132
Gogichaishvili Avto SE13-7 135
Gogichaishvili Avto SE13-8 135
Gogichaishvili Avto SE13-9 136
Gogichaishvili Avto SE13-13 137
Gogichaishvili Avto SE13-16 CARTEL 138
Golden Charles CS-20 CARTEL 10
Gómez Adán CS-26 CARTEL 11
Gómez Arias Efraín GEOQP-8 56
Gómez Arias Efraín VUL-14 CARTEL 92
Gómez Arias Efraín SE03-1 103
Gómez Ávila Marianggy del Carmen GEOH-2 35
Gómez Ávila Marianggy del Carmen SE03-1 103
Gómez Ávila Marianggy del Carmen SE03-8 CARTEL 104
Gómez Calderón Daniel Alberto* VUL-6 91
Gómez Efraín GEOQP-6 56
Gómez-Giraldo Andres* SE01-7 96
Gómez Jaime E. SE10-2 123
Gómez Juan A. SE10-8 124
Gómez-Liera Juan A. SE10-10 125
Gómez-Lizárraga Laura Elena OCE-6 69
Gómez-Novell Octavi* SE04-10 108
Gómez-Ramos Octavio CCA-30 19
Gómez-Ramos Octavio CCA-38 CARTEL 21
Gómez-Ramos Octavio* SE10-9 124

| | | |
|---|---|---|
| Gómez-Vasconcelos Martha G. | SE04-4 | 106 |
| Gómez-Vasconcelos Martha Gabriela | VUL-5 | 90 |
| Gómez Vasconcelos Martha Gabriela | VUL-15 CARTEL | 93 |
| Gómez Vasconcelos Martha Gabriela* | SE04-3 | 106 |
| Gómez Vasconcelos Martha Gabriela | SE04-5 | 107 |
| Gómez-Villerías Ramiro Salvador* | CCA-29 | 19 |
| González Acevedo Vicente* | SIS-7 | 85 |
| González Alpha Alejandra* | MSG-3 | 59 |
| González-Aviles Jose Juan | MSG-13 CARTEL | 61 |
| González-Castillo Lourdes | EG-10 | 24 |
| González-Cervantes Norma | CS-23 CARTEL | 11 |
| González Cervantes Norma | GGA-4 | 48 |
| González-Cervantes Norma* | GGA-6 | 49 |
| González Díaz Guadalupe | SED-6 CARTEL | 82 |
| González Escobar Mario* | GET-10 | 45 |
| González Escobar Mario* | SE07-7 | 116 |
| González Escobar Mario* | SE07-8 | 116 |
| González Escobar Mario* | SE07-9 | 117 |
| González Escobar Mario* | SE07-10 | 117 |
| González-Fernández Antonio | SIS-2 | 84 |
| González Garcia Javier | SE07-6 | 116 |
| González-García José Javier* | SE07-1 | 115 |
| González-García José Javier* | SE07-2 | 115 |
| González-García José Javier* | SE07-5 | 116 |
| González-Grijalva Belem | GGA-1 | 48 |
| González Guevara José Luis | MSG-14 CARTEL | 61 |
| González Guevara José Luis | MSG-15 CARTEL | 61 |
| González Guevara José Luis | RN-23 CARTEL | 79 |
| González Guevara José Luis | SE14-2 | 140 |
| González Guevara José Luis | SE17-4 | 145 |
| González Guevara José Luis* | SE17-5 | 146 |
| González Hernández Galia* | AR-4 | 2 |
| González Hernández Julio César | MSG-14 CARTEL | 61 |
| González Hernández Julio César | MSG-15 CARTEL | 61 |
| González Hernández Julio César | RN-23 CARTEL | 79 |
| González Hernández Julio César | SE14-2 | 140 |
| González Hernández Julio César* | SE17-4 | 145 |
| González Hernández Julio César | SE17-5 | 146 |
| González Huizar Héctor* | SIS-10 | 85 |
| González Juárez Diego Armando | EG-20 | 26 |
| González Juárez Diego Armando | EG-28 CARTEL | 28 |
| González Juárez Diego Armando | EG-29 CARTEL | 28 |
| González Juárez Diego Armando | GEOH-18 CARTEL | 39 |
| González Juárez Diego Armando | SIS-23 CARTEL | 88 |
| González Juárez Itzamna | SE14-1 | 140 |
| González Manosalva José Luis | CS-12 | 8 |
| González Marin Ana Gabriela | GEOH-5 | 36 |
| González Mario | GEOQP-8 | 56 |
| González Martínez Pedro | AR-2 | 2 |
| González-Ortega Alejandro* | SE07-6 | 116 |
| González Ortega Javier Alejandro | SE07-12 | 117 |
| González Ortigoza Sergio* | GEOH-11 | 37 |
| González Pineda Daniel* | AR-5 CARTEL | 2 |
| González Rangel Jose Antonio* | GEOPAL-9 CARTEL | 52 |
| González-Ríos Sofía* | CCA-4 | 13 |
| Gordillo Rodríguez Laura Jazmín* | SIS-6 | 84 |
| Gozzo Luiz Felippe | SE05-12 CARTEL | 112 |
| Graef Federico* | OCC-9 | 65 |
| Grajales Nishimura José Manuel | GET-1 | 43 |
| Granados Hernández Orlando | SE07-15 | 118 |
| Granados Ivan* | SIS-4 | 84 |
| Gray Lesley | CCA-2 | 13 |
| Groppelli Gianluca | SE04-6 | 107 |
| Gross Markus* | CCA-10 | 15 |
| Gross Markus | SE02-3 | 99 |
| Gross Markus* | SE02-4 | 99 |
| Gross Markus* | SE02-10 | 101 |
| Gross Markus | SE02-11 | 101 |
| Gross Markus | SE02-13 CARTEL | 101 |
| Grupo de Trabajo del Servicio Sismológico Nacional* | SE04-11 CARTEL | 108 |
| Guerra Cobián Víctor Hugo* | CCA-8 | 14 |
| Guerra Cobián Víctor Hugo | RN-4 | 74 |
| Guerra Cobián Víctor Hugo | RN-19 CARTEL | 78 |
| Guerra Puente Hugo | CCA-8 | 14 |
| Guerra Tamayo Rubén Darío | MSG-4 | 59 |
| Guerrero Martínez Lilia | GGA-4 | 48 |
| Guillen Karla | CS-20 CARTEL | 10 |
| Gutierrez Carlos E. | SE10-2 | 123 |
| Gutiérrez Carmona Dulce | SE04-5 | 107 |
| Gutierrez Carmona Dulce María | SED-3 | 81 |
| Gutiérrez Castorena María del Carmen | CS-1 | 5 |
| Gutiérrez JM | SE05-10 | 112 |
| Gutiérrez Reyes Edahi Antonio* | SIS-1 | 84 |
| Gutiérrez Rivera Marlin* | CCA-7 | 14 |
| Gutiérrez-Ruiz Margarita | SE13-9 | 136 |
| Gutiérrez-Ruiz Margarita Eugenia* | SE13-4 | 134 |
| Guzmán García Rosalinda | EG-20 | 26 |
| Guzmán García Rosalinda | EG-28 CARTEL | 28 |
| Guzmán García Rosalinda | SIS-23 CARTEL | 88 |
| Guzmán-Santos Nazaria Lizbeth | OCE-6 | 69 |
| Hahmann Andrea N. | SE02-3 | 99 |
| Hauksson Egill* | SE07-13 | 117 |
| Havazli Emre | RN-14 | 77 |
| Herguera Juan Carlos* | SE18-1 | 148 |
| Hering Philip | EG-10 | 24 |
| Hernández-Andrade Daniel* | GEOD-1 | 33 |
| Hernández Ayón José Martín | OCE-3 | 68 |
| Hernández-Ayón José Martín | OCE-4 | 68 |
| Hernández-Becerril David U.* | OCE-6 | 69 |
| Hernández Bello María Guadalupe* | RN-15 | 77 |
| Hernández-Espriú Antonio | GEOH-9 | 37 |
| Hernández Espriú Antonio | GEOH-11 | 37 |
| Hernández-Espriú Antonio | SE17-2 | 145 |
| Hernández Espriú José Antonio | RN-2 | 74 |
| Hernández García Guillermo de Jesús* | MSG-7 | 60 |
| Hernández García Guillermo de Jesús | MSG-8 | 60 |
| Hernández González Vanesa* | CS-4 | 5 |
| Hernández Hernández Mario | RN-2 | 74 |
| Hernández Hernández Mario Alberto* | GEOH-7 | 36 |
| Hernández Hernández Mario Alberto | GEOH-10 | 37 |
| Hernández Hernández Mario Alberto | GEOH-12 | 38 |
| Hernández Hernández Mario Alberto | MSG-7 | 60 |
| Hernández Herrera Isis C. | SE10-4 | 123 |
| Hernández J. Horacio | GEOH-5 | 36 |
| Hernández Madrigal Víctor Manuel | RN-9 | 75 |
| Hernández Madrigal Víctor Manuel | RN-11 | 76 |
| Hernández Marín Martín* | GGA-4 | 48 |
| Hernández Marín Martín | GGA-5 | 49 |
| Hernández-Marín Martín | GGA-6 | 49 |
| Hernández-Marín Martín | RN-3 | 74 |
| Hernández Ortega Astrid* | SIS-23 CARTEL | 88 |
| Hernández Paniagua Iván Yassmany* | CCA-14 | 15 |
| Hernández-Quintero Juan Esteban* | GEOPAL-7 | 52 |
| Hernández Quintero Juan Esteban | GEOPAL-8 | 52 |
| Hernández Reyes Karen Lizeth* | EG-29 CARTEL | 28 |
| Hernández Sandoval Kelly Pamela | EG-30 CARTEL | 28 |
| Hernández Serrano Leonardo | SED-4 | 81 |
| Hernández Siade Alma Tatiana | OCE-12 | 70 |
| Herna#ndez Maguey Felipe | CCA-30 | 19 |
| Herna#ndez Sotelo Katia | CCA-30 | 19 |
| Herrera Contreras Daniel* | VUL-8 | 91 |
| Herrera-Moro Dulce Rosario* | CCA-38 CARTEL | 21 |
| Herrera Revilla Ismael* | SE08-6 | 121 |
| Herrera Silveira Jorge | OCC-6 | 65 |
| Herrera Zamarrón Graciela | GEOH-10 | 37 |
| Herrera Zamarrón Graciela | RN-1 | 74 |
| Herrera Zamarrón Graciela | RN-2 | 74 |
| Hinestroza-Mena Kelis M. | SE10-2 | 123 |
| Hirales Rochin Joel* | RN-22 CARTEL | 79 |
| Huante Arana Francisco | EG-18 | 26 |
| Huante Arana Francisco | EG-21 | 27 |
| Huante Arana Francisco | EG-24 | 27 |
| Huante Arana Francisco Enrique* | EG-16 | 26 |
| Hudler Carla* | CS-10 | 7 |
| Huerta-Diaz Miguel Angel | OCE-14 | 71 |
| Huerta Flores Tania Paulina | SE14-3 | 140 |
| Huesca Pérez Eduardo | SIS-1 | 84 |
| Huicochea Campos Moises | SE14-1 | 140 |
| Husker Allen | EG-14 | 25 |
| Husker Allen | SIS-10 | 85 |
| Husker Allen | SE07-13 | 117 |
| Huth R. | SE05-10 | 112 |
| Ibarra-Arzave Georgina | AR-5 CARTEL | 2 |
| Ibarra Arzave Georgina* | CS-6 | 6 |
| Ibarra Guadalupe* | GEOH-6 | 36 |
| Ibarra Mendoza Jessica* | VUL-11 CARTEL | 92 |
| Ibarra-Olivares Guadalupe | GET-4 | 43 |
| Ide Satoshi | SIS-17 | 87 |
| Iglesias Arturo* | SIS-8 | 85 |
| Iglesias Arturo | SIS-11 | 85 |
| Iglesias Arturo* | SE16-3 | 142 |
| Iglesias Arturo | SE16-4 | 142 |
| Iglesias Arturo | SE16-8 | 143 |
| Iglesias Carreño Irma Lisset* | RN-12 | 76 |
| Iglesias Mendoza Arturo | SIS-9 | 85 |
| Iglesias Mendoza Arturo | SIS-22 CARTEL | 88 |
| Inguaggiato Claudio | EG-7 | 24 |
| Inguaggiato Claudio | GEOQP-8 | 56 |
| Iniesta Lizeth* | SE12-10 CARTEL | 132 |

| | | |
|---|---|---|
| Israde-Alcántara Isabel | MSG-2 | 59 |
| Israde-Alcántara Isabel* | SED-3 | 81 |
| Israde-Alcántara Isabel | SE04-3 | 106 |
| Ito Yoshihiro | SIS-17 | 87 |
| Ito Yoshihiro* | SE10-5 | 124 |
| Ito Yoshihiro | SE16-4 | 142 |
| Iturbide M. | SE05-10 | 112 |
| Jácome Paz Mariana Patricia | RN-1 | 74 |
| Jácome Paz Mariana Patricia* | VUL-2 | 90 |
| Jácome Paz Mariana Patricia* | VUL-3 | 90 |
| Jácome Paz Mariana Patricia | VUL-4 | 90 |
| Jácome Paz Mariana Patricia | VUL-9 CARTEL | 91 |
| Jaime Rodríguez Diego* | SED-5 CARTEL | 81 |
| Jaimes Miguel A. | RN-14 | 77 |
| Jaramillo Durazo Ivy Miranda* | VUL-14 CARTEL | 92 |
| Jaramillo Flores Andrea* | GEOPAL-6 | 52 |
| Jaramillo-Vélez Alfredo | SE10-2 | 123 |
| Jarquin Laguna Antonio | SE02-7 | 100 |
| Jazcilevich Arón | CCA-14 | 15 |
| Jiménez Emiliano* | MSG-12 | 61 |
| Jiménez Haro Adrián | SED-3 | 81 |
| Jiménez Haro Adrián | SE04-5 | 107 |
| Jiménez-Illescas Ángel Rafael | OCC-4 | 64 |
| Jiménez-Illescas Ángel Rafael | SE02-2 | 99 |
| Jiménez Morales Julissa | GEOH-7 | 36 |
| Jiménez Rivera Alejandro* | SE04-8 | 107 |
| Juárez-Aguilar E. Aldrin* | GEOQP-2 | 55 |
| Juárez-Aguilar Edwin Aldrin | GEOQP-3 | 55 |
| Juárez-Arriaga Edgar | GET-11 | 45 |
| Juárez Arriaga Edgar* | SED-6 CARTEL | 82 |
| Juárez Ruiz María Guadalupe* | SIS-24 CARTEL | 88 |
| Juayek Sotelo Eduardo* | SE08-4 | 120 |
| Julio-Bravo Esneider | SE10-2 | 123 |
| Junge Andreas | EG-10 | 24 |
| Junge Andreas | EG-12 | 25 |
| Junge Andreas | EG-26 CARTEL | 28 |
| Kang Wei* | EG-22 | 27 |
| Kazachkina Ekaterina | SE16-4 | 142 |
| Knappett Peter | GEOH-5 | 36 |
| Kostoglodov Vladimir | SE16-4 | 142 |
| Kretzschmar Thomas | EG-7 | 24 |
| Kshirsagar Pooja | GET-12 CARTEL | 45 |
| Kshirsagar Pooja V. | VUL-14 CARTEL | 92 |
| Kshirsagar Pooja Vinod | GEOH-6 | 36 |
| Kshirsagar Pooja Vinod | GET-4 | 43 |
| Kshirsagar Pooja Vinod | VUL-11 CARTEL | 92 |
| Kurczyn Alejandro* | OCC-1 | 64 |
| Kurczyn Alejandro | SE10-10 | 125 |
| Kurczyn J. Alejandro | OCE-18 | 71 |
| Lacan Pierre* | SE04-1 | 106 |
| Lacan Pierre | SE04-2 | 106 |
| Lacan Pierre | SE04-4 | 106 |
| Lacan Pierre | SE04-9 | 107 |
| Ladah Lydia Betty | SE01-8 | 96 |
| Ladino Alvarez Ricardo Arturo | SE14-3 | 140 |
| Ladino Luis | CCA-36 CARTEL | 20 |
| Ladino Luis A. | CCA-13 | 15 |
| Ladino Luis A. | CCA-17 | 16 |
| Ladino Luis A. | CCA-33 CARTEL | 20 |
| Ladino Luis A. | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Lagos-Zúñiga Miguel | SE05-7 | 111 |
| Lagos Zúñiga Miguel Ángel | SE05-12 CARTEL | 112 |
| Landon del Pozo Nicolás | EG-18 | 26 |
| Landon del Pozo Nicolás | EG-21 | 27 |
| Lapere Rémy | SE05-6 | 111 |
| Lares María Lucila | OCE-14 | 71 |
| Latorre Correa Carolina* | GEOQP-11 CARTEL | 57 |
| Laura Wil* | SE05-6 | 111 |
| Lawton Timothy F. | SED-6 CARTEL | 82 |
| Lázaro-Mancilla Octavio* | SE08-2 | 120 |
| Lázaro-Mancilla Octavio* | SE08-5 | 120 |
| León Cruz José Francisco* | RN-6 | 75 |
| León Figueroa Leonardo de Santiago* | GEOPAL-3 | 51 |
| León-Loya Rodrigo | SE04-2 | 106 |
| León Loya Rodrigo Alejandro* | SE04-9 | 107 |
| Li Yanmei | GEOH-5 | 36 |
| Li Yanmei | GEOH-6 | 36 |
| Li Yanmei | GET-4 | 43 |
| Liñán Abanto Rafael Nery* | CCA-12 | 15 |
| Lino Solano José Juan* | CCA-22 | 17 |
| Lira Ramón* | SE02-5 | 99 |
| López Antonio* | SE12-8 | 131 |
| López-Blanco Jorge | CS-22 CARTEL | 10 |
| López Dante | SE12-6 | 131 |
| López Dante | SE13-10 | 136 |
| López Delgado Verónica | SE11-7 | 128 |
| López Díaz Mariana | SE12-7 | 131 |
| López Erick* | CS-9 | 7 |
| López Espinoza Erika D. | RN-14 | 77 |
| López-Espinoza Erika Danaé* | CCA-30 | 19 |
| López-Espinoza Erika Danaé | CCA-38 CARTEL | 21 |
| López-Espinoza Erika Danaé | SE10-9 | 124 |
| López González Aide Esmeralda | MSG-10 | 60 |
| López Isabel C. | SE10-2 | 123 |
| López Martínez Rafael | AR-1 | 2 |
| López Martínez Rafael Antonio | CS-11 | 7 |
| López Myriam C. | SE04-1 | 106 |
| López Quiroz Penélope | RN-18 CARTEL | 78 |
| López-Ramade Eduardo* | OCC-11 | 65 |
| López-Ramade Eduardo | SE10-3 | 123 |
| López-Rodríguez Antonio | EG-19 | 26 |
| López Saucedo Felipe de Jesús | EG-15 | 25 |
| López Saucedo Felipe de Jesús | GET-7 | 44 |
| López-Teros Verónica | GGA-7 | 49 |
| López Valdés Nestor | RN-1 | 74 |
| López Valdés Néstor | VUL-2 | 90 |
| López Vega Jesús Eduardo | SIS-14 | 86 |
| Loredo Portales René | GGA-3 | 48 |
| Loyola Martinez Erika* | GEOH-17 CARTEL | 39 |
| Loza-Aguirre Isidro | GET-4 | 43 |
| Loza-Aguirre Isidro* | GET-12 CARTEL | 45 |
| Lozano Hernández Baltazar Leo* | GET-6 | 44 |
| Luna-Aranguré Carlos | CCA-27 | 18 |
| Luna Niño Rosa* | SE05-2 | 110 |
| Luna Niño Rosa | SE05-3 | 110 |
| Luna Niño Rosa | SE05-9 | 112 |
| Luna-Villavicencio Hugo | GGA-6 | 49 |
| Luna-Villavicencio Hugo | RN-3 | 74 |
| Luna-Villavicencio Hugo* | RN-17 CARTEL | 77 |
| Lupi Matteo | SIS-13 | 86 |
| Lyra André | SE05-7 | 111 |
| Machado Crespo Natália* | SE05-12 CARTEL | 112 |
| Macías José Luis | VUL-5 | 90 |
| Macías José Luis | SE04-3 | 106 |
| Macías Sergio Enrique* | SE17-1 | 145 |
| Maciel-Peña Rafael | GEOPAL-4 | 51 |
| Macintyre Sally* | SE01-10 | 96 |
| Macnaught Jimenez Néstor Guillermo | VUL-2 | 90 |
| Magaldi Hermosillo Adolfo V. | VUL-13 CARTEL | 92 |
| Magar Vanesa | CCA-10 | 15 |
| Magar Vanesa* | SE02-3 | 99 |
| Magar Vanesa | SE02-4 | 99 |
| Magar Vanesa | SE02-10 | 101 |
| Magar Vanesa | SE02-11 | 101 |
| Magar Vanesa | SE02-13 CARTEL | 101 |
| Magdaleno Gatica Scarlett* | MSG-18 CARTEL | 62 |
| Mahgoub Ahmed Nasser | GEOPAL-9 CARTEL | 52 |
| Maldonado Alvarez Blanca Estela* | SE11-6 | 128 |
| Mancera-Alejándrez Javier | SE17-1 | 145 |
| Mancera Alejandrez Javier | SE17-3 | 145 |
| Mancera Javier* | SE17-2 | 145 |
| Mann Michael* | SE18-3 | 148 |
| Manrique Cantillo Andrea | SE01-8 | 96 |
| Manta Gastón | OCE-9 | 69 |
| Marcos de Jesus Eduardo | SE05-12 CARTEL | 112 |
| Marín Giraldo Natalia Andrea* | MSG-5 | 59 |
| Marín Hernández Mark | OCE-10 | 70 |
| Marín Leyva Alejandro Hiram* | SED-4 | 81 |
| Mariño Tapia Ismael | OCC-6 | 65 |
| Mariño Tapia Ismael | OCE-10 | 70 |
| Mariño Tapia Ismael | SE02-12 | 101 |
| Márquez Esquivel Oscar | EG-21 | 27 |
| Márquez Esquivel Oscar | EG-24 | 27 |
| Márquez Ramírez Víctor Hugo | SE04-8 | 107 |
| Márquez Víctor | SE04-2 | 106 |
| Martin Aaron | GET-9 | 44 |
| Martin Aaron | VUL-8 | 91 |
| Martín Romero Francisco | CS-16 | 9 |
| Martín Romero Francisco | CS-19 CARTEL | 9 |
| Martin del Pozzo Ana Lilian | RN-14 | 77 |
| Martínez-Alvarado Oscar | SE02-6 | 100 |
| Martínez Álvarez Rebeca | VUL-12 CARTEL | 92 |
| Martínez Flores Guillermo | OCE-16 | 71 |
| Martínez Gerardo | SE13-4 | 134 |
| Martínez González José Antonio | EG-5 | 23 |
| Martínez González José Antonio | EG-27 CARTEL | 28 |
| Martínez González José Antonio | EG-30 CARTEL | 28 |
| Martínez-González José Antonio* | SE16-10 | 143 |
| Martínez Izaguirre Evelin | SE17-6 CARTEL | 146 |
| Martínez Jardines Luis Gerardo | CS-14 | 8 |

| | | |
|---|---|---|
| Martínez Jardines Luis Gerardo | CS-15 | 8 |
| Martínez Jardines Luis Gerardo | CS-16 | 9 |
| Martínez Jardines Luis Gerardo* | CS-19 CARTEL | 9 |
| Martínez Jardines Luis Gerardo | CS-21 CARTEL | 10 |
| Martínez Jardines Luis Gerardo | CS-24 CARTEL | 11 |
| Martínez Leticia | CCA-13 | 15 |
| Martínez López María del Rosario* | SE16-1 | 142 |
| Martínez López María del Rosario | SE16-2 | 142 |
| Martínez Luis Gerardo | CS-9 | 7 |
| Martínez Mirón Yleana Claudia | MSG-14 CARTEL | 61 |
| Martínez Mirón Yleana Claudia | MSG-15 CARTEL | 61 |
| Martínez Mirón Yleana Claudia | RN-23 CARTEL | 79 |
| Martínez Mirón Yleana Claudia | SE14-2 | 140 |
| Martínez Mirón Yleana Claudia | SE17-4 | 145 |
| Martínez Mirón Yleana Claudia | SE17-5 | 146 |
| Martínez Reyes José* | VUL-1 | 90 |
| Martínez Reyes José | SE11-8 | 128 |
| Martínez Stephanie* | CCA-15 | 16 |
| Martínez-Villegas Nadia | SE13-6 | 135 |
| Masana Eulàlia | SE04-10 | 108 |
| Maslo Aljaz* | SE02-12 | 101 |
| Mastache-Román Edgar A. | SE07-8 | 116 |
| Mastache-Román Edgar A. | SE07-9 | 117 |
| Mastache Román Edgar Agustin | GET-10 | 45 |
| Mastache Román Edgar Agustin | SE07-10 | 117 |
| Mata Toledo Lizbet Lucero* | SE03-1 | 103 |
| Mauricio-Antillón Salma Galilea* | SE03-5 | 104 |
| Medellín Gabriela | OCC-11 | 65 |
| Medellín Gabriela | SE10-1 | 123 |
| Medellín Gabriela | SE10-3 | 123 |
| Medellín Gabriela | SE10-8 | 124 |
| Medellín Gabriela | SE10-10 | 125 |
| Mejía Lilian Marcela* | CS-23 CARTEL | 11 |
| Mejía Pérez José Alfredo | MSG-14 CARTEL | 61 |
| Mejía Pérez José Alfredo | MSG-15 CARTEL | 61 |
| Mejía Pérez José Alfredo | RN-23 CARTEL | 79 |
| Melchum Juárez Aimeé Margarita* | CCA-13 | 15 |
| Members Satreps | SE10-5 | 124 |
| Mendez Miguel Ángel | SIS-8 | 85 |
| Mendiola López Fabiola | RN-5 | 74 |
| Mendoza-Borunda Ramón | SE07-8 | 116 |
| Mendoza-Borunda Ramón | SE07-9 | 117 |
| Mendoza Borunda Ramón | SE07-10 | 117 |
| Mendoza Carlos | SE16-1 | 142 |
| Mendoza Carlos* | SE16-2 | 142 |
| Mendoza Cazarez Edgar Yuri | GEOH-16 | 38 |
| Mendoza Garcilazo Luis* | SE07-15 | 118 |
| Mendoza Ponce E. Tonatiuh* | SE10-1 | 123 |
| Menéndez Claudio Guillermo | SE05-14 CARTEL | 113 |
| Mercado Mejía Edith Ariadna* | CCA-18 | 16 |
| Meza Cecilia | SE16-9 | 143 |
| Meza-Figueroa Diana | GGA-1 | 48 |
| Meza-Figueroa Diana | SE13-6 | 135 |
| Michetti Alessandro M. | SE04-6 | 107 |
| Millan Motolinia María del Carmen | SE14-3 | 140 |
| Miranda Avilés Raúl | GEOH-5 | 36 |
| Miranda-Avilés Raúl | GET-4 | 43 |
| Miranda-Avilés Raúl | GET-12 CARTEL | 45 |
| Miranda Javier | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Miranda Raúl | GEOH-6 | 36 |
| Mireles Loera Omar | SE01-8 | 96 |
| Mireles Soria Diana L.* | RN-4 | 74 |
| Miyashita Takuya | SE10-9 | 124 |
| Molina-Espinosa Lazaro | MSG-3 | 59 |
| Molina-Freaner Francisco | GGA-7 | 49 |
| Molina León Gabriel* | EG-11 | 25 |
| Molina Saldivar Hector Ivan | GEOH-3 | 35 |
| Monterde Gutiérrez Daniela Irais* | CCA-21 | 17 |
| Montero Martínez Guillermo | CCA-18 | 16 |
| Montero Martínez Guillermo | CCA-19 | 17 |
| Montero Martínez Guillermo | CCA-20 | 17 |
| Montes Aréchiga Jorge Manuel | CCA-22 | 17 |
| Montes Aréchiga Jorge Manuel* | SE01-6 | 96 |
| Montes Jorge Manuel | OCC-5 | 64 |
| Monzón César Octavio | SE01-3 | 95 |
| Monzón César Octavio | SE01-4 | 95 |
| Moore Frances C. | CCA-28 | 18 |
| Mora-Ramírez Marco Antonio | CCA-37 CARTEL | 20 |
| Mora-Ramos Estefani | CCA-37 CARTEL | 20 |
| Mora Rivera Astrid Jocelyn* | GEOQP-12 CARTEL | 57 |
| Morales Barrera Wendy V. | RN-14 | 77 |
| Morales Contreras Juan Julio | GEOPAL-1 | 51 |
| Morales Contreras Juan Julio | GEOPAL-2 | 51 |
| Morales Contreras Juan Julio | SE11-3 | 127 |
| Morales Contreras Juan Julio | SE11-4 | 127 |
| Morales Javier | CCA-17 | 16 |
| Morales Juan | GEOPAL-4 | 51 |
| Morales Juan | SE11-2 | 127 |
| Morales Juan* | SE13-2 | 134 |
| Morales Rodríguez Hipólito L. | RN-14 | 77 |
| Morán-Ramírez Janete | GEOH-1 | 35 |
| Morán-Ramírez Janete* | GEOH-4 | 35 |
| Morán-Ramírez Janete | GEOH-17 CARTEL | 39 |
| Moreiras Stella | SE04-1 | 106 |
| Moreles Miguel Angel | OCE-2 | 68 |
| Moreles Vazquez Luis Efrain | OCE-13 | 70 |
| Moreno Nava Ignacio | VUL-1 | 90 |
| Moreno Nava Ignacio* | SE11-8 | 128 |
| Moreno-Rodríguez Verónica | GGA-7 | 49 |
| Moreno Roso Sol de Jesus* | AR-3 | 2 |
| Moreno Roso Sol de Jesus* | CS-5 | 6 |
| Moreno-Urincho Alba Yurixi | GET-4 | 43 |
| Mori Nobuhito | SE10-9 | 124 |
| Mortera Gutiérrez Carlos | EG-14 | 25 |
| Mortera Gutiérrez Carlos Angel* | SE14-3 | 140 |
| Morton-Bermea Ofelia | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Moscoso Perdomo Danna Paola* | CS-12 | 8 |
| Moya Marcial | SE10-2 | 123 |
| Muñiz Jauregui Jesus Arturo | SED-3 | 81 |
| Muñoz Cinthya Mayte | MSG-3 | 59 |
| Muñoz Francisco* | SIS-13 | 86 |
| Muñoz García Andrés Mauricio | CS-12 | 8 |
| Muñoz García Andrés Mauricio | MSG-5 | 59 |
| Muñoz García Andrés Mauricio | MSG-6 | 60 |
| Muñoz García Andrés Mauricio | MSG-9 | 60 |
| Muñoz Hernández Genaro | GP-2 CARTEL | 41 |
| Muñoz Hernández Genaro | SE08-3 | 120 |
| Muñoz Máximo Ignacio | EG-17 | 26 |
| Muñoz Máximo Ignacio | GEOH-13 | 38 |
| Muñoz Máximo Ignacio | GEOH-14 | 38 |
| Muñoz Máximo Ignacio* | GEOH-15 | 38 |
| Muñoz Máximo Ignacio | GGA-2 | 48 |
| Muñoz Máximo Ignacio* | GEOQP-4 | 55 |
| Muñoz Máximo Ignacio | GEOQP-5 | 55 |
| Muñoz Máximo Ignacio | SE03-2 | 103 |
| Muñoz-Villers Lyssette E. | CCA-4 | 13 |
| Naranjo Vargas Abigail | EG-28 CARTEL | 28 |
| Nava-Arsola Edith | CS-21 CARTEL | 10 |
| Navarrete Vela Juan Pablo | SE11-8 | 128 |
| Navarro Aguilar Marco Antonio | GP-2 CARTEL | 41 |
| Néquiz Guillén Brenda Abril* | SIS-21 CARTEL | 88 |
| Network Ollin | SE04-1 | 106 |
| Nieto Samaniego Ángel Francisco | GET-2 | 43 |
| Nieto Torres Amiel | RN-14 | 77 |
| Norini Gianluca | SE04-6 | 107 |
| Novelo Casanova David Alberto | GEOD-2 | 33 |
| Novelo Casanova David Alberto | RN-7 | 75 |
| Novelo Casanova David Alberto | RN-8 | 75 |
| Novelo Casanova David Alberto* | RN-14 | 77 |
| Novelo Casanova David Alberto | RN-15 | 77 |
| Núñez Meneses Andrés* | SE04-2 | 106 |
| Núñez Meneses Andrés | SE04-4 | 106 |
| Núñez Velázquez Miriam Valeria | SE17-6 CARTEL | 146 |
| Obeso-Nieblas Maclovio* | OCC-4 | 64 |
| Obeso-Nieblas Maclovio* | SE02-2 | 99 |
| Ochoa León Pablo* | MSG-10 | 60 |
| Ochoa-Moya Carlos A. | CCA-35 CARTEL | 20 |
| Ochoa Moya Carlos Abraham | CCA-24 | 18 |
| Ochoa Moya Carlos Abraham | CCA-26 | 18 |
| Ochoa Rivero Jesus Manuel* | SE13-15 | 137 |
| Ohta Kazuaki | SIS-17 | 87 |
| Ojeda Elena | SE10-1 | 123 |
| Olivares Jessica | CCA-17 | 16 |
| Olmo M. | SE05-10 | 112 |
| Olmo Matías | SE05-7 | 111 |
| Olmo Matías | SE05-11 | 112 |
| Olmo Matías Ezequiel* | SE05-15 CARTEL | 113 |
| Olmos Moya Paulina | GET-2 | 43 |
| Olvera-Fuentes Norma Elizabeth* | CCA-31 | 19 |
| Olvera Márquez Yamilet* | GGA-2 | 48 |
| Olvera Prado Erick Raul* | OCE-13 | 70 |
| Omidian Sophie | EG-26 CARTEL | 28 |
| Oquendo Luis A. | SE10-2 | 123 |
| Ordaz Mario | SIS-18 | 87 |
| Ordaz Schroeder Mario | SE16-8 | 143 |
| Ordoñez Sánchez Alejandro | CCA-1 | 13 |
| Orejuela Ferney | SE10-2 | 123 |
| Orozco Estrada Arturo | SE01-8 | 96 |
| Ortega Fernández Sofía Erandi* | GET-3 | 43 |
| Ortega-Gaucin David* | CCA-1 | 13 |

| | | |
|---|---|---|
| Ortega-Gaucin David | CCA-23 | 17 |
| Ortega-Guerrero Beatriz | AR-3 | 2 |
| Ortega Roberto* | SIS-19 | 87 |
| Ortega Roberto* | SE16-7 | 143 |
| Ortiz Jiménez Emmanuel | MSG-10 | 60 |
| Ortiz Lenna Oriana* | OCE-5 | 68 |
| Ortiz Regina | SE02-5 | 99 |
| Ortiz Ruiz Maricela* | VUL-4 | 90 |
| Ortiz Soledad* | SE11-2 | 127 |
| Ortiz Soriano Agustina | VUL-1 | 90 |
| Ortiz Soriano Agustina | SE11-8 | 128 |
| Ortíz Soto Brenda | SE17-3 | 145 |
| Ortuño María | SE04-1 | 106 |
| Ortuño María | SE04-2 | 106 |
| Ortuño María | SE04-10 | 108 |
| Oskooi Behrooz* | EG-26 CARTEL | 28 |
| Osorio Tai Ma Elena | OCE-12 | 70 |
| Osprey Scott | CCA-2 | 13 |
| Ossa Juana M. | SE10-2 | 123 |
| Ovando Shelley Efraín | SE16-10 | 143 |
| Oviedo García Angélica | SE03-7 | 104 |
| Oze Christopher | SE07-4 | 115 |
| Pacheco Aristeo | SE13-14 | 137 |
| Pacheco Castro Roger* | GEOH-8 | 36 |
| Pacheco-Castro Roger | SE10-10 | 125 |
| Pacheco Guerrero Anuard Isaac | GGA-5 | 49 |
| Pacheco Martínez Jesús | GGA-4 | 48 |
| Pacheco Martínez Jesús | GGA-5 | 49 |
| Pacheco-Martínez Jesús | GGA-6 | 49 |
| Pacheco-Martínez Jesús* | RN-3 | 74 |
| Pacheco-Martínez Jesús | RN-17 CARTEL | 77 |
| Pacheco-Martínez Jesús | RN-20 CARTEL | 78 |
| Pacheco Roger | SE10-7 | 124 |
| Pacheco Samuel | SE17-1 | 145 |
| Palacio Carlos A. | SE10-2 | 123 |
| Palacios Emilio* | SE01-11 CARTEL | 97 |
| Palafox Vladimir | GET-8 | 44 |
| Palazuelos Carolina* | EG-8 | 24 |
| Palma David | SE12-6 | 131 |
| Palma David Jesús | SE12-8 | 131 |
| Paniagua Castrillón Juan Guillermo | MSG-5 | 59 |
| Paniagua Castrillón Juan Guillermo | MSG-9 | 60 |
| Paniagua Juan* | MSG-4 | 59 |
| Paniagua Juan* | MSG-6 | 60 |
| Pántano Vanesa* | SE05-8 | 111 |
| Pántano Vanesa | SE05-13 CARTEL | 113 |
| Pantoja Diego | SE01-1 | 95 |
| Pantoja Diego Armando* | SE01-2 | 95 |
| Pantoja Diego Armando* | SE01-12 CARTEL | 97 |
| Pantoja González Diego Armando | SE01-4 | 95 |
| Pantoja González Diego Armando | SE01-6 | 96 |
| Pantoja González Diego Armando | SE01-8 | 96 |
| Pantoja Ortiz Samantha | OCE-12 | 70 |
| Pardo Pedrote Ignacio Ari-Zhaell | RN-12 | 76 |
| Paredes Vargas Jarha Keila* | GEOH-18 CARTEL | 39 |
| Pareja David | SE05-7 | 111 |
| Parés Sierra Alejandro F. | OCE-17 | 71 |
| Parker Jay* | SE07-11 | 117 |
| Parra Guevara David* | CCA-16 | 16 |
| Parra Primero Sergio Joaquín* | SE03-4 | 103 |
| Pavón-Carrasco Javier | SE11-1 | 127 |
| Paz Moreno Francisco Abraham | GEOPAL-3 | 51 |
| Paz-Pérez Alberto | GEOH-9 | 37 |
| Pedraza Díaz Angélica | OCE-12 | 70 |
| Peiffer Loic | EG-7 | 24 |
| Pelcastre Jessica | SE13-13 | 137 |
| Pelz Ana | SE11-4 | 127 |
| Peña Alfredo | SE02-3 | 99 |
| Peña Alfredo | SE02-4 | 99 |
| Peña-Alonso Tomás Alejandro | GET-12 CARTEL | 45 |
| Peña García Laura Elizabeth | SE13-16 CARTEL | 138 |
| Peña José | MSG-12 | 61 |
| Pensado Castillo Juan Luis | SE14-2 | 140 |
| Peral Altamirano Carlos Emanuel* | MSG-17 CARTEL | 62 |
| Peredo Mancilla Claudia Rigel* | GET-9 | 44 |
| Pereira Diana | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Pereira Diana L. | CCA-33 CARTEL | 20 |
| Pérez-Campos Xyoli | SIS-11 | 85 |
| Pérez-Campos Xyoli | SIS-22 CARTEL | 88 |
| Pérez-Campos Xyoli | SE16-3 | 142 |
| Pérez Flores Marco Antonio | EG-1 | 23 |
| Pérez Flores Marco Antonio | EG-15 | 25 |
| Pérez Gutiérrez Rosalva | RN-12 | 76 |
| Pérez-León José E. | FE-4 | 31 |
| Pérez-León José Enrique | FE-2 | 31 |
| Pérez Lozano Guadalupe | SE17-4 | 145 |
| Pérez Luján Rodrigo* | EG-3 | 23 |
| Pérez Marco | GEOQP-6 | 56 |
| Pérez Martínez Ana Laura | GP-2 CARTEL | 41 |
| Pérez Martínez Ana Laura | SE08-3 | 120 |
| Pérez Nayeli | SE11-1 | 127 |
| Pérez-Rocha Luís Eduardo | SE16-9 | 143 |
| Pérez Ruiz Elí Rafael | SE03-1 | 103 |
| Pérez Sepulveda John Alexander | MSG-4 | 59 |
| Pérez Solano Alejandro Isaac* | SIS-3 | 84 |
| Pérez Zarate Daniel | VUL-3 | 90 |
| Perrin Mireille | GEOPAL-6 | 52 |
| Perton Mathieu | VUL-5 | 90 |
| Peruzza Laura | SE04-1 | 106 |
| Peto esteban Luis Ángel | EG-25 CARTEL | 27 |
| Pi Puig Teresa | CCA-17 | 16 |
| Pi Puig Teresa | CCA-33 CARTEL | 20 |
| Piedra Jorge* | CS-15 | 8 |
| Pillar da Silva Natalia* | SE05-9 | 112 |
| Piña Garrido Brandon | VUL-1 | 90 |
| Piña González Viridiana* | GEOH-5 | 36 |
| Pineda León Roberto | OCE-12 | 70 |
| Pineda Martínez Luis Felipe* | CCA-9 | 14 |
| Pineda Martínez Luis Felipe | CCA-21 | 17 |
| Pinilla-Alonso Noemí* | SE18-2 | 148 |
| Pinto Marco | CCA-17 | 16 |
| Pita de la Paz Carlos | EG-16 | 26 |
| Pita de la Paz Carlos | EG-18 | 26 |
| Pita de la Paz Carlos | EG-21 | 27 |
| Pizarro Oscar | OCE-5 | 68 |
| Plata-Martínez Raymundo* | SIS-17 | 87 |
| Pola Antonio | VUL-15 CARTEL | 93 |
| Ponce García Omar Castor | SE13-15 | 137 |
| Porfírio da Rocha Rosmeri | SE05-12 CARTEL | 112 |
| Portalanza Diego | SE05-8 | 111 |
| Portillo-Lozano Norma Aracely* | SE03-6 | 104 |
| Posada-Bedoya Andrés | SE01-7 | 96 |
| Prado Pano Blanca Lucía | CS-7 | 6 |
| Prado Pano Blanca Lucía | CS-8 | 6 |
| Prieto Germán | SE04-1 | 106 |
| Probst Oliver | SE02-8 | 100 |
| Probst Oliver | SE02-9 | 100 |
| Prol Ledesma Rosa María | VUL-3 | 90 |
| Puente Cristo | SE13-5 | 135 |
| Puy-Alquiza María Jesús | GEOH-6 | 36 |
| Puy-Alquiza María Jesús | GET-4 | 43 |
| Puy-Alquiza María Jesús | GET-12 CARTEL | 45 |
| Puy-Alquiza María Jesús | VUL-11 CARTEL | 92 |
| Quesadas-Rojas Mariana* | OCC-7 | 65 |
| Quiceno Arenas Brayan Alexis* | MSG-9 | 60 |
| Quintana Owen Patricia | SE13-12 | 136 |
| Quintana Patricia | SE13-7 | 135 |
| Quintana Patricia | SE13-13 | 137 |
| Quintanar Arturo I. | CCA-35 CARTEL | 20 |
| Quintanar Isaías Ignacio Arturo | CCA-24 | 18 |
| Quintanar Isaías Ignacio Arturo | CCA-26 | 18 |
| Quintanar Robles Luis | SIS-21 CARTEL | 88 |
| Quintero-Gradilla Shatya | CS-5 | 6 |
| Quinteros Cartaya Claudia Beatriz M. | SIS-5 | 84 |
| Quinto-Sanchez Mirsha | EG-19 | 26 |
| Quiroga Novoa Pedro | SE02-9 | 100 |
| Quiroga Novoa Pedro Fernando* | SE02-8 | 100 |
| Quiroz Pérez Norma Elizabeth | SIS-3 | 84 |
| Quiroz Rodríguez J. Jesús* | VUL-12 CARTEL | 92 |
| Quiroz-Suarez Diego | EG-19 | 26 |
| Raga Gabriela | CCA-13 | 15 |
| Raga Graciela | CCA-17 | 16 |
| Raga Graciela | CCA-33 CARTEL | 20 |
| Raga Graciela | CCA-36 CARTEL | 20 |
| Ramírez Erik* | SE07-3 | 115 |
| Ramírez-García Sandra B.* | GEOPAL-5 | 52 |
| Ramírez Hernández Jorge | GEOH-3 | 35 |
| Ramírez-Hernández Jorge | SE07-3 | 115 |
| Ramírez Jaime | MSG-12 | 61 |
| Ramírez Luna Angel* | AR-2 | 2 |
| Ramírez-Peña César Francisco | GET-11 | 45 |
| Ramírez Rangel Dania Ximena | GET-12 CARTEL | 45 |
| Ramírez Serrato Nelly Lucero | RN-1 | 74 |
| Ramírez Serrato Nelly Lucero* | RN-2 | 74 |
| Ramírez Serrato Nelly Lucero | VUL-4 | 90 |
| Ramírez Villa Roberto | GEOH-16 | 38 |
| Ramos Inés | CS-9 | 7 |
| Ramos-Leal José Alfredo* | GEOH-1 | 35 |
| Ramos-Leal José Alfredo | GEOH-4 | 35 |
| Ramos-Leal José Alfredo | GEOH-17 CARTEL | 39 |

| | | |
|---|---|---|
| Ramos-Leal José Alfredo | MSG-1 | 59 |
| Ramos Musalem Karina | OCC-2 | 64 |
| Ramos Pérez Omar* | CCA-26 | 18 |
| Ramos Rosique Aldo | SE17-1 | 145 |
| Rangel Granados Elizabeth | GET-1 | 43 |
| Rangel Granados Elizabeth | GET-2 | 43 |
| Rangel Granados Elizabeth | GET-3 | 43 |
| Rascón-Aguilar Lenin Gerardo* | SE03-3 | 103 |
| Rascón Mendoza Ezequiel | GEOH-2 | 35 |
| Real Jorge | SE16-4 | 142 |
| Reale Marco | SE05-12 CARTEL | 112 |
| Regoto Pedro | SE05-7 | 111 |
| Reno# Domingos Karina | CCA-30 | 19 |
| Reyes Cedeño Isaí Gerardo* | GGA-5 | 49 |
| Reyes-Cortés Ignacio-Alfonso | SE03-4 | 103 |
| Reyes-Cortés Ignacio-Alfonso* | SE03-7 | 104 |
| Reyes Gómez Víctor Manuel | SE13-15 | 137 |
| Reyes Ignacio | SE03-3 | 103 |
| Reyes Ignacio | SE03-5 | 104 |
| Reyes Ignacio | SE03-6 | 104 |
| Reyes Jiménez Tania* | OCE-10 | 70 |
| Reyes-Martínez Carlos Simón | SE07-7 | 116 |
| Reyes-Mendoza Oscar* | OCE-9 | 69 |
| Reyes Pimentel Thalia A. | EG-27 CARTEL | 28 |
| Reyes-Ruiz Mauricio | FE-1 | 31 |
| Reyes Sainos Brenda Sofía | SE08-3 | 120 |
| Reyes Serrano Rogelio | SE07-15 | 118 |
| Reyes Tenorio Brayan* | CS-16 | 9 |
| Reyes Violeta | SIS-13 | 86 |
| Reyna Annely* | GEOQP-6 | 56 |
| Reyna Pérez Antonio* | CS-17 CARTEL | 9 |
| Reyna Pérez Juan Antonio | CS-18 CARTEL | 9 |
| Reynoso Carvajal Melesio | EG-17 | 26 |
| Ribera Pedro | CCA-25 | 18 |
| Rincón Joaquín Alberto | SE12-8 | 131 |
| Rioja Rodolfo | SE10-1 | 123 |
| Rivera Ballesteros Isaac* | VUL-9 CARTEL | 91 |
| Rivera-Becerril Facundo | CS-13 | 8 |
| Rivera Belmontes Juan Gerardo | SE11-3 | 127 |
| Rivera Maria Yazmin* | CS-21 CARTEL | 10 |
| Rivera Martínez Saulo L. | OCE-12 | 70 |
| Rivera Uria Yazmín | CS-3 | 5 |
| Rivera-Uria Yazmin | CS-24 CARTEL | 11 |
| Rivera-Uria Yazmin | CS-25 CARTEL | 11 |
| Roblero Hidalgo Rodrigo | GEOH-16 | 38 |
| Robles Camacho Javier | SE02-1 | 99 |
| Robles García Nelly | SE11-2 | 127 |
| Robles Garibaldi Luis Alfonso* | SIS-20 CARTEL | 87 |
| Robles-Morua Agustin | GGA-1 | 48 |
| Robles Morua Agustín | SE13-6 | 135 |
| Rocha Bermu#dez Alejandro Jose# | CCA-30 | 19 |
| Rocha Miller Roberto | EG-16 | 26 |
| Rockwell T. | SE07-14 | 118 |
| Rodríguez Abril | CCA-33 CARTEL | 20 |
| Rodríguez Abril | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Rodríguez Aldo | CCA-33 CARTEL | 20 |
| Rodríguez Aldo* | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Rodríguez Burgeño Jesús Eliana | GEOH-3 | 35 |
| Rodríguez-Burguette Julián* | SE10-3 | 123 |
| Rodríguez Elizarrarás Sergio | RN-14 | 77 |
| Rodríguez-Espinosa Pedro F. | GEOH-15 | 38 |
| Rodríguez-Gamiño María de Lourdes | CS-22 CARTEL | 10 |
| Rodríguez González Baudelio | CCA-9 | 14 |
| Rodríguez González Marta P. | SE05-4 | 110 |
| Rodríguez Hernández Osvaldo | SE02-6 | 100 |
| Rodríguez Hernández Osvaldo | SE02-7 | 100 |
| Rodríguez Juan M. | MSG-11 | 61 |
| Rodríguez León Yuriri* | SE14-1 | 140 |
| Rodríguez López Laura Judith* | SE03-2 | 103 |
| Rodríguez Méndez Yajaira | VUL-2 | 90 |
| Rodríguez Olguín Arisai | EG-18 | 26 |
| Rodríguez Padilla Christian Emmanuel | GGA-4 | 48 |
| Rodríguez-Padilla Isaac* | OCC-12 | 66 |
| Rodríguez Ramírez Karina de los Ángeles* | SIS-16 | 87 |
| Rodríguez Rodríguez Rodrigo Merced* | SE13-6 | 135 |
| Rodríguez Tokutaira Norberto* | GEOPAL-1 | 51 |
| Rodríguez-Tovar Aída Verónica | CS-13 | 8 |
| Rodríguez-Vera Geidy* | CCA-25 | 18 |
| Rojas Hernández Rodrigo | SE16-10 | 143 |
| Roldan Carvajal Mateo* | SE02-1 | 99 |
| Román-Botero Ricardo | SE01-7 | 96 |
| Romero-Andrade Rosendo | GEOD-1 | 33 |
| Romero Arvizu María del Carmen | CCA-37 CARTEL | 20 |
| Romero-Centeno Rosario | CCA-25 | 18 |
| Romero-Centeno Rosario | OCE-12 | 70 |
| Romero Centeno Rosario | OCE-13 | 70 |
| Romero Emmanuel* | OCE-15 | 71 |
| Romero Francisco | CS-14 | 8 |
| Romero Francisco | SE13-4 | 134 |
| Romero Francisco Martín | CS-9 | 7 |
| Romero Francisco Martín | CS-15 | 8 |
| Romero Quintero Emmanuel | OCC-8 | 65 |
| Romo Jones José Manuel | EG-6 | 24 |
| Romo Jones José Manuel | EG-11 | 25 |
| Romo Jones José Manuel | EG-13 | 25 |
| Romo Jones José Manuel | EG-14 | 25 |
| Romo-Morales Diana* | GGA-7 | 49 |
| Roque Pineda Luis Sebastián* | EG-13 | 25 |
| Roque Pineda Luis Sebastián | EG-14 | 25 |
| Rosas Daniel | CCA-17 | 16 |
| Rosas Elguera José | GEOPAL-1 | 51 |
| Rosas Elguera José | SE04-2 | 106 |
| Rosas Irma | CCA-13 | 15 |
| Rosas Irma | CCA-17 | 16 |
| Rosas Pérez Irma | CCA-14 | 15 |
| Rosas Rosales Perla Sagrario | MSG-14 CARTEL | 61 |
| Rosas Rosales Perla Sagrario | MSG-15 CARTEL | 61 |
| Rosas Rosales Perla Sagrario | RN-23 CARTEL | 79 |
| Rosiles Salas Javier | SE11-8 | 128 |
| Ross Zach | SE07-3 | 115 |
| Rubio-Alfaro María del Socorro* | RN-20 CARTEL | 78 |
| Rubio Arellano Ana Beatriz* | MSG-1 | 59 |
| Rubio Ramos Marco Antonio | EG-16 | 26 |
| Rubio Rosas Efraín | GEOQP-4 | 55 |
| Ruiseco-Martínez David Orlando | SE07-8 | 116 |
| Ruiseco Martínez David Orlando | SE07-10 | 117 |
| Ruiz Aguilar Diego | EG-6 | 24 |
| Ruiz Aguilar Diego* | EG-7 | 24 |
| Ruiz Aguilar Diego | EG-11 | 25 |
| Ruiz Aguilar Diego | EG-13 | 25 |
| Ruiz Aguilar Diego* | EG-14 | 25 |
| Ruiz Aguilar Diego | EG-23 | 27 |
| Ruiz-Aguilar Keilyn* | FE-5 | 31 |
| Ruiz Angulo Angel | OCE-13 | 70 |
| Ruiz Cruz Euclides | SE07-15 | 118 |
| Ruiz-Rojas María del Mar | CS-5 | 6 |
| Ruiz Salcines Pablo | OCE-11 | 70 |
| Ruiz de Alegría Arzaburu Amaia | OCC-10 | 65 |
| Ruscica Romina Carla | SE05-14 CARTEL | 113 |
| Saenz-Soto Fernan | SE05-3 | 110 |
| Sahakian Valerie* | SE07-14 | 118 |
| Salas Hernán D.* | SE05-4 | 110 |
| Salas Hernán D. | SE05-5 | 110 |
| Salas-Monreal David | OCC-3 | 64 |
| Salas Monreal David | OCE-10 | 70 |
| Salazar Leobardo | MSG-12 | 61 |
| Salazar Macías Edna Ashera | EG-16 | 26 |
| Salazar Macías Edna Ashera | EG-18 | 26 |
| Salazar Macías Edna Ashera | EG-21 | 27 |
| Salazar-Tlaczani Luis | GEOD-3 | 33 |
| Salcedo Dara | CCA-17 | 16 |
| Saldaña Ricardo | SE02-5 | 99 |
| Saldías Gonzalo* | OCC-2 | 64 |
| Salinas-Calleros Gabriel | GEOH-9 | 37 |
| Salinas Eva | CCA-13 | 15 |
| Salles Paulo | GEOH-8 | 36 |
| Salles Paulo | SE10-1 | 123 |
| Salles Paulo | SE10-3 | 123 |
| Salles Paulo | SE10-7 | 124 |
| Sánchez-Beristain Francisco | GEOQP-2 | 55 |
| Sánchez-Beristain Francisco | GEOQP-3 | 55 |
| Sánchez Cedeño Carlos Daniel | GEOH-10 | 37 |
| Sánchez Contreras Karina | RN-11 | 76 |
| Sánchez Galindo Luis Alfredo | EG-16 | 26 |
| Sánchez Galindo Luis Alfredo | EG-18 | 26 |
| Sánchez Galindo Luis Alfredo* | EG-21 | 27 |
| Sánchez Galindo Luis Alfredo* | EG-24 | 27 |
| Sánchez García María Dolores | SE12-3 | 130 |
| Sánchez González Jesús | EG-5 | 23 |
| Sánchez González Jesús | EG-27 CARTEL | 28 |
| Sánchez Hernández Rufo* | SE12-3 | 130 |
| Sánchez León Eduardo Emilio | EG-7 | 24 |
| Sánchez Limón José de Jesús* | SE14-2 | 140 |
| Sánchez-Meneses Oscar | CCA-31 | 19 |
| Sánchez Orietta | SE01-11 CARTEL | 97 |
| Sánchez Quispe Sonia Tatiana | GEOH-7 | 36 |
| Sánchez Rufo | SE12-10 CARTEL | 132 |
| Sánchez-Sesma Francisco J. | SE16-9 | 143 |
| Sánchez Tornero Francisco Javier* | SE11-5 | 128 |
| Sánchez Velasco Laura | OCE-16 | 71 |

| | | |
|---|---|---|
| Sánchez-Velasco Laura | OCE-18 | 71 |
| Sandoval Quintana Osiris | EG-5 | 23 |
| Sandoval-Quintana Osiris | GEOPAL-8 | 52 |
| Sandwell David | SE07-6 | 116 |
| Santacruz De León Germán | GEOH-4 | 35 |
| Santamaría Orozco Demetrio Marcos | GP-2 CARTEL | 41 |
| Santiago García Joselin Yaraí | GEOH-18 CARTEL | 39 |
| Santiago García Mauro W.* | OCE-17 | 71 |
| Santos Cerquera Clemencia | EG-27 CARTEL | 28 |
| Santoyo-García Galiano Miguel Ángel | SIS-24 CARTEL | 88 |
| Santoyo Miguel | SE13-1 | 134 |
| Santoyo Miguel* | SE13-5 | 135 |
| Santoyo Miguel A. | SE16-5 | 142 |
| Santoyo Miguel Angel | SIS-8 | 85 |
| Santoyo Miguel Angel* | SIS-15 | 86 |
| Sanvicente-Añorve Laura | OCE-8 | 69 |
| Schaaf Peter | AR-2 | 2 |
| Schiavo Benedetto* | GGA-1 | 48 |
| Schimmel Martin | SIS-9 | 85 |
| Schimmel Martin* | SE18-4 | 148 |
| Sebastián Reyes José Daniel | GEOPAL-2 | 51 |
| Sedov Sergey | AR-3 | 2 |
| Sedov Sergey* | CS-2 | 5 |
| Sedov Sergey | CS-9 | 7 |
| Sedov Sergey | CS-20 CARTEL | 10 |
| Sereno Gerónimo | GEOH-10 | 37 |
| Sheinbaum Julio | OCE-10 | 70 |
| Sheinbaum Pardo Julio | OCE-12 | 70 |
| Siebe Grabach Christina* | CS-7 | 6 |
| Siebe Grabach Christina | CS-8 | 6 |
| Silva-Casarin Rodolfo | SE10-2 | 123 |
| Silva Ma. de L. Montserrat* | CCA-17 | 16 |
| Silva Patrícia S. | SE05-6 | 111 |
| Simões Reboita Michelle | SE05-12 CARTEL | 112 |
| Simuta Champo Roel | GEOH-16 | 38 |
| Singh Shri Krishna | SIS-8 | 85 |
| Singh Shri Krishna* | SIS-11 | 85 |
| Singh Shri Krishna | SIS-18 | 87 |
| Singh Shri Krishna | SE16-3 | 142 |
| Singh Shri Krishna | SE16-4 | 142 |
| Singh Shri Krishna | SE16-5 | 142 |
| Singh Shri Krishna | SE16-8 | 143 |
| Sinitsyn Andrey | AR-3 | 2 |
| Skiba Yuri | CCA-16 | 16 |
| Solano Darío | SE16-4 | 142 |
| Solano Farias Feliciano | SE01-8 | 96 |
| Solano Hernández Erika Alinne | SIS-22 CARTEL | 88 |
| Solano Rojas Darío | GEOD-2 | 33 |
| Solano-Rojas Darío | GEOD-3 | 33 |
| Solano-Rojas Darío* | RN-10 | 76 |
| Solano Rojas Darío | RN-14 | 77 |
| Solano-Rojas Darío* | SE17-3 | 145 |
| Soler Arechalde Ana María | AR-4 | 2 |
| Solis Arlette | MSG-12 | 61 |
| Solís-Gómez Cesar | GEOH-15 | 38 |
| Solis-Hernández Anaid Penelope* | CS-13 | 8 |
| Solís Orduña Lesly Madeleim | GET-12 CARTEL | 45 |
| Solís Sergio Saul | GEOH-2 | 35 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth* | AR-1 | 2 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth | AR-3 | 2 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth | AR-6 CARTEL | 3 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth | CS-2 | 5 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth* | CS-3 | 5 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth | CS-5 | 6 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth | CS-11 | 7 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth | CS-17 CARTEL | 9 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth | CS-18 CARTEL | 9 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth | CS-24 CARTEL | 11 |
| Solleiro Rebolledo Elizabeth | CS-25 CARTEL | 11 |
| Solman Silvina A.* | SE05-1 | 110 |
| Solman Silvina A. | SE05-8 | 111 |
| Solman Silvina A. | SE05-11 | 112 |
| Sologashvili Jemal | GEOPAL-2 | 51 |
| Soria Caballero Diana Cinthia | SE04-3 | 106 |
| Soria Caballero Diana Cinthia | SE04-4 | 106 |
| Soria Caballero Diana Cinthia* | SE04-5 | 107 |
| Soriano Garibo Isaac Raúl | GEOH-14 | 38 |
| Soriano Garibo Isaac Raúl | SE03-2 | 103 |
| Sosa Arellano Gabriel | GEOQP-4 | 55 |
| Sosa-Ceballos Giovanni | VUL-5 | 90 |
| Sosa Islas Antonio Salvador* | GGA-3 | 48 |
| Soto Ayala Rogelio | GP-2 CARTEL | 41 |
| Soto Ayala Rogelio | SE08-3 | 120 |
| Soto José Luis* | SE13-1 | 134 |
| Soto Ramírez Daniel* | GEOH-14 | 38 |
| Sotomayor Sandoval Sebastian | EG-27 CARTEL | 28 |
| Sotomayor Sandoval Sebastián Ramón | EG-5 | 23 |
| Souza Alejandro | OCC-1 | 64 |
| Srinagesh Davuluri | SIS-11 | 85 |
| Srinivas Dakuri | SIS-11 | 85 |
| Stein Ross* | SE18-5 | 148 |
| Stock Joann Miriam | SE07-3 | 115 |
| Stock Joann Miriam | SE07-4 | 115 |
| Stock Joann Miriam | SE07-13 | 117 |
| Stock Joann Miriam | SE07-14 | 118 |
| Stockli Daniel F. | SED-6 CARTEL | 82 |
| Suárez Gerardo | SIS-8 | 85 |
| Suárez Gerardo* | SE04-7 | 107 |
| Suárez Reynoso Gerardo | RN-14 | 77 |
| Sudre Joel | OCE-3 | 68 |
| Sugiura Yoko | SE11-5 | 128 |
| Sulvaran Alpuche Gibrán Jalil Gibrán | SE02-13 CARTEL | 101 |
| Sustaita González Itzel del Carmen | GEOH-12 | 38 |
| Tafolla David* | OCE-18 | 71 |
| Tago Josué | SE16-4 | 142 |
| Tames-Vargas Diego | FE-5 | 31 |
| Tames-Vargas Esteban G.* | FE-3 | 31 |
| Tanahara Romero Sorayda | OCE-3 | 68 |
| Taquet Noemi | CCA-34 CARTEL | 20 |
| Teahulos Ortega Evelyn Donaji* | EG-17 | 26 |
| Tejeda-Martínez Adalberto | CCA-29 | 19 |
| Téllez Santos Cesar Iván | GEOH-18 CARTEL | 39 |
| Téllez Ugalde Eric | VUL-13 CARTEL | 92 |
| Téllez de la Cruz Óscar Alexis* | MSG-14 CARTEL | 61 |
| Téllez de la Cruz Óscar Alexis | MSG-15 CARTEL | 61 |
| Téllez de la Cruz Óscar Alexis | RN-23 CARTEL | 79 |
| Téllez de la Cruz Óscar Alexis | SE17-5 | 146 |
| Tello Enrique | GEOQP-6 | 56 |
| Tenorio Fernández Leonardo* | OCC-8 | 65 |
| Tenorio Fernández Leonardo | OCE-15 | 71 |
| Tenorio Fernández Leonardo | OCE-16 | 71 |
| Tereshchenko Iryna | SE01-3 | 95 |
| Tereshchenko Iryna | SE01-4 | 95 |
| Tereshchenko Iryna* | SE01-9 | 96 |
| Terrero Escalante César A. | SIS-3 | 84 |
| Terreros Espinosa Eladio | AR-2 | 2 |
| Tiwari Virendra M. | SIS-11 | 85 |
| Tolentino Álvarez Janet | EG-15 | 25 |
| Tolentino Álvarez Janet* | GET-7 | 44 |
| Tolentino Parra Karen Leidy | SE14-2 | 140 |
| Toral Salinas Eliseo | SE01-8 | 96 |
| Toro Vladimir G.* | SE10-2 | 123 |
| Torreblanca Carlos | SE11-3 | 127 |
| Torres-Alavez José Abraham | SE05-3 | 110 |
| Torres Becerril Mario* | SE13-10 | 136 |
| Torres-Delgado Eunise Vanessa | OCE-14 | 71 |
| Torres-Freyermuth Alec | OCC-11 | 65 |
| Torres-Freyermuth Alec | SE10-1 | 123 |
| Torres-Freyermuth Alec | SE10-3 | 123 |
| Torres-Freyermuth Alec | SE10-8 | 124 |
| Torres-Freyermuth Alec* | SE10-10 | 125 |
| Torres Gutiérrez Héctor Salvador | OCE-16 | 71 |
| Torres José Abraham | SE05-12 CARTEL | 112 |
| Torres Juan G. | SE10-2 | 123 |
| Torres Velazquez Itzayana* | RN-11 | 76 |
| Torrescano-Valle Nuria | GEOQP-1 | 55 |
| Torrescano-Valle Nuria* | SED-2 | 81 |
| Torrez Limbert* | SE05-7 | 111 |
| Torrez Rodríguez Limbert Fernando | SE05-12 CARTEL | 112 |
| Tovar-Sanchez Antonio | OCE-14 | 71 |
| Trasviña Castro Armando | OCE-17 | 71 |
| Trejo Emilio* | RN-24 CARTEL | 79 |
| Trejo Rudy | SE13-7 | 135 |
| Trejo-Soto Manuel E. | GEOD-1 | 33 |
| Trincado Joel Arián* | OCC-5 | 64 |
| Turki Imen | SE10-1 | 123 |
| Tuxpan Vargas José | SE13-6 | 135 |
| Ubach-Cózatl María Eugenia* | VUL-7 | 91 |
| Uc Canul David Armando | MSG-10 | 60 |
| Uribe Castillo Violeta Andrea | CS-19 CARTEL | 9 |
| Uuh Jorge | CCA-17 | 16 |
| Vaiciulyte Sandra* | RN-7 | 75 |
| Valdés González Carlos Miguel* | RN-13 | 76 |
| Valdés-Vilchis Samantha* | GEOQP-3 | 55 |
| Valencia Juliana | SE05-5 | 110 |
| Valenzuela-Argüelles Rebeca | SE17-2 | 145 |
| Valenzuela Sarabia Marco Romario* | GEOH-3 | 35 |
| Valle-Levinson Arnoldo | OCC-3 | 64 |
| Valle-Levinson Arnoldo | OCC-7 | 65 |
| Vargas Bracamontes Dulce M. | SIS-3 | 84 |

| | | |
|---|---|---|
| Vargas Bracamontes Dulce M. | SIS-14 | 86 |
| Vargas Bracamontes Dulce M. | VUL-12 CARTEL | 92 |
| Vargas Kisay | SE10-2 | 123 |
| Vashakidzed Goga | GEOPAL-2 | 51 |
| Vasiullina Anastasiia | AR-3 | 2 |
| Vasquez Serrano Alberto* | GET-1 | 43 |
| Vasquez Serrano Alberto* | GET-2 | 43 |
| Vasquez Serrano Alberto | GET-3 | 43 |
| Vázquez Astrid | CS-9 | 7 |
| Vázquez Báez Víctor Manuel | MSG-1 | 59 |
| Vázquez Becerra G. Esteban | GEOD-4 | 33 |
| Vázquez Hernández Sergio | SE07-15 | 118 |
| Vázquez Ibarra Gabriela* | CCA-32 | 19 |
| Vázquez Limón Carlos* | SE13-16 CARTEL | 138 |
| Vázquez Limón Carlos Eduardo | SE14-2 | 140 |
| Vázquez Morales Rosario | RN-5 | 74 |
| Vázquez Morales Rosario | RN-18 CARTEL | 78 |
| Vázquez-Morales Rosario | VUL-7 | 91 |
| Vázquez Ontiveros Jesús René* | GEOD-4 | 33 |
| Vázquez Ramírez Edgar Abraham | SIS-23 CARTEL | 88 |
| Vázquez Rosas Gema | SE14-2 | 140 |
| Vázquez Rosas Ricardo | SED-3 | 81 |
| Vela-Correa Gilberto | CS-3 | 5 |
| Vela-Correa Gilberto | CS-21 CARTEL | 10 |
| Vela-Correa Gilberto* | CS-22 CARTEL | 10 |
| Velasco Aaron A. | SIS-10 | 85 |
| Velasco Casarez Leonardo* | EG-20 | 26 |
| Velasco Casarez Leonardo | EG-28 CARTEL | 28 |
| Velasco Herrera Victor M. | RN-14 | 77 |
| Velasco Herrera Victor Manuel | RN-2 | 74 |
| Velasco Vinasco Julian Andres* | CCA-27 | 18 |
| Velázquez-Bucio Magda | SE04-4 | 106 |
| Velázquez Bucio María Magdalena | SE04-5 | 107 |
| Velázquez-Bucio María Magdalena* | SE04-6 | 107 |
| Velázquez-Muñoz Federico Angel* | OCE-1 | 68 |
| Velázquez-Muñoz Federico Angel* | OCE-2 | 68 |
| Velázquez Zaguilan Arisai | SE07-6 | 116 |
| Venegas Rodríguez Gastón* | VUL-16 CARTEL | 93 |
| Ventura Marroquín Julia Isabel | MSG-14 CARTEL | 61 |
| Ventura Marroquín Julia Isabel* | MSG-15 CARTEL | 61 |
| Ventura Marroquín Julia Isabel | RN-23 CARTEL | 79 |
| Ventura Marroquín Julia Isabel | SE17-5 | 146 |
| Ventura Pérez Pedro | GEOH-18 CARTEL | 39 |
| Ventura Romero Isai | SIS-23 CARTEL | 88 |
| Vera Romero Iván | VUL-1 | 90 |
| Vera Romero Iván | SE11-8 | 128 |
| Vera Zeller Marco Alejandro | SE17-4 | 145 |
| Verma Sanjeet K. | GEOH-1 | 35 |
| Vidal García Gabriela* | RN-1 | 74 |
| Vidal Hernández Laura* | SE10-6 | 124 |
| Vidal Hernández Laura Elena | SE10-4 | 123 |
| Vidal Ruiz Jesus Adrian* | OCC-10 | 65 |
| Vidal-Solano J. Roberto | GEOPAL-5 | 52 |
| Vidal Solano Jesús Roberto | GEOPAL-3 | 51 |
| Vidal Solano Jesús Roberto | GEOPAL-6 | 52 |
| Vidal-Villegas J. Antonio | SE07-3 | 115 |
| Vigh Denes | EG-22 | 27 |
| Villa Fajardo Moises Ramón | SE11-8 | 128 |
| Villafuerte Carlos | SE16-4 | 142 |
| Villalobos Acosta César | CS-6 | 6 |
| Villalobos Escobar Gina Paola | SIS-12 | 86 |
| Villalobos Mario | SE13-4 | 134 |
| Villanueva Estrada Ruth Esther | EG-16 | 26 |
| Villarnobo González Katia Michelle* | GEOD-2 | 33 |
| Villarreal Olavarrieta Carlos | SE01-8 | 96 |
| Villaseñor Reyes Cecilia Irene* | RN-9 | 75 |
| Villegas López Guadalupe | SE14-2 | 140 |
| Vivar Alducin Karla Itzel* | CCA-33 CARTEL | 20 |
| Vizuete-Jaramillo Efrain | GGA-1 | 48 |
| Wdowinski Shimon | RN-10 | 76 |
| Williams Matthew | SE05-3 | 110 |
| Yegres Herrera Luis A. | SIS-2 | 84 |
| Yépez Rincón Fabiola D. | CCA-6 | 14 |
| Yépez Rincón Fabiola D. | CCA-8 | 14 |
| Yépez Rincón Fabiola D.* | MSG-11 | 61 |
| Yépez Rincón Fabiola D. | RN-1 | 74 |
| Yépez Rincón Fabiola D. | RN-2 | 74 |
| Yépez Rincón Fabiola D. | RN-4 | 74 |
| Yépez Rincón Fabiola D.* | RN-16 | 77 |
| Yépez Rincón Fabiola D. | RN-19 CARTEL | 78 |
| Yoshida Teuraki | SE11-7 | 128 |
| Yutsis Vsevolod | GET-9 | 44 |
| Yutsis Vsevolod | VUL-16 CARTEL | 93 |
| Zamora Camacho Araceli | SIS-7 | 85 |
| Zamora Camacho Araceli | SE04-8 | 107 |
| Zamora García Lourdes Guadalupe* | SE02-6 | 100 |
| Zamora Monserrat | CS-14 | 8 |
| Zapata José M. | SE10-2 | 123 |
| Zapata Norberto Berenice | MSG-1 | 59 |
| Zarraluqui Víctor* | CCA-3 | 13 |
| Zarza Alvarado Miriam Arianna | CCA-30 | 19 |
| Zavala-Hidalgo Jorge* | OCE-12 | 70 |
| Zavala-Hidalgo Jorge | OCE-13 | 70 |
| Zavala-Hidalgo Jorge | VUL-13 CARTEL | 92 |
| Zavala-Hidalgo Jorge | SE10-10 | 125 |
| Zavala Joel | SE12-8 | 131 |
| Zenteno Gonzalez Karina Montserrat* | GEOQP-8 | 56 |
| Zequera Carrillo Sergio* | EG-25 CARTEL | 27 |
| Zhang Yunjun | RN-10 | 76 |
| Ziegler Rivera Francisco Robert Alexander* | CS-8 | 6 |
| Zirino Alberto | OCE-3 | 68 |
| Zuluaga Cristian F. | SE05-8 | 111 |
| Zúñiga Ramón | SE04-1 | 106 |
| Zúñiga Ramón | SE04-2 | 106 |
| Zúñiga Ramón | SE04-9 | 107 |

**Con un cordial saludo**

**Luis A. Delgado Argote y Ruth Cerezo Mota**
**Editores**

# geos

Información con:

Ivonne Pedrín Morales
División de Ciencias de la Tierra
Tel: 01(646)174-5050
Ext: 26004
Correo electrónico: ipedrin@cicese.edu.mx

Este boletín se terminó de imprimir en marzo de 2021, en la ciudad de Ensenada, B.C., México, con un tiraje de 20 ejemplares.

CICESE

# geos