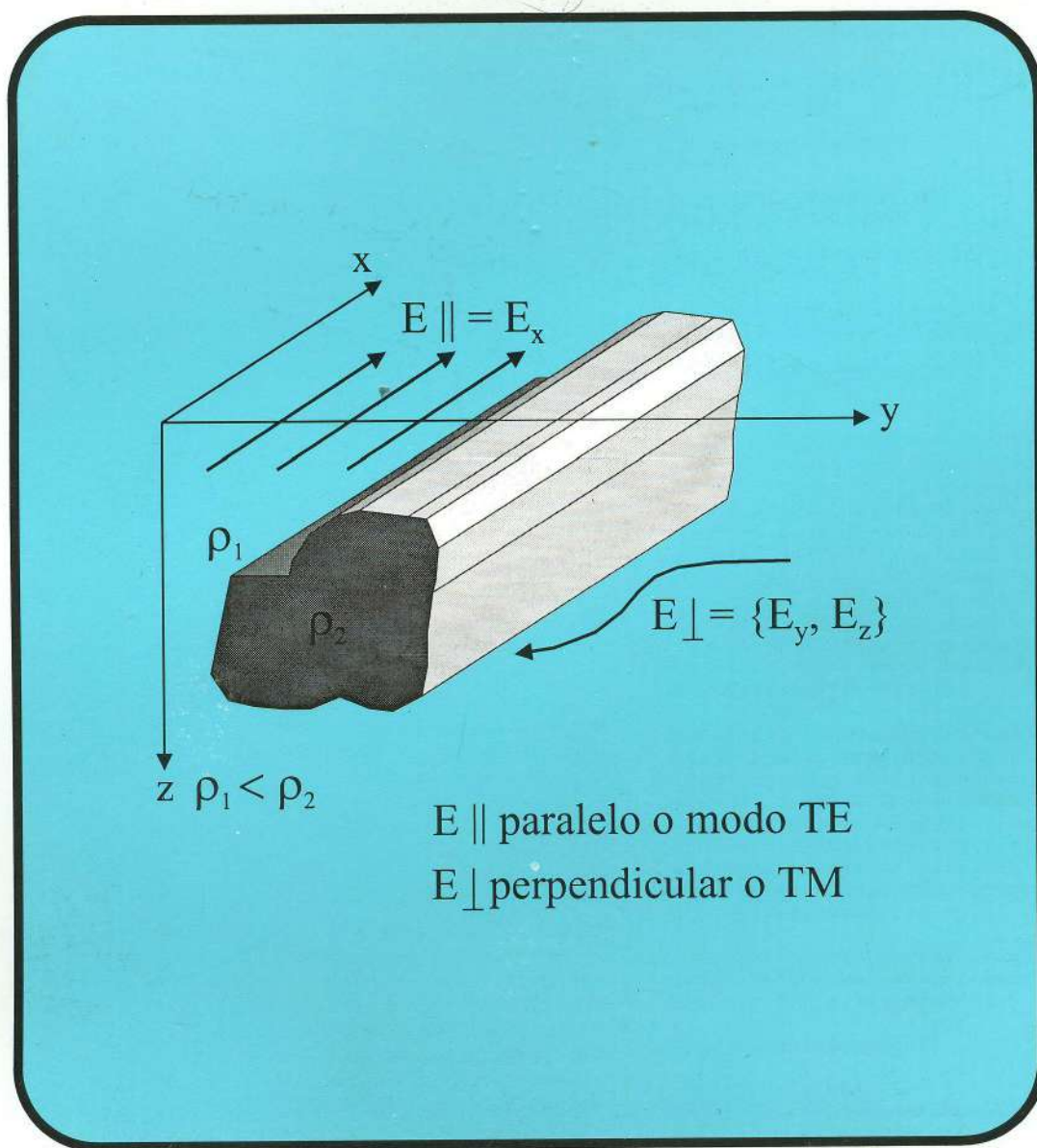


GEOS

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

BOLETÍN INFORMATIVO

ÉPOCA II



Volumen 19

No. 2

Junio de 1999

GEOS

**BOLETÍN INFORMATIVO
DE LA
UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.
(ISSN 0186-1891)**

GEOS es una revista trimestral editada para la Unión Geofísica Mexicana, A.C. en la División de Ciencias de la Tierra del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.
Mesa Directiva 98-99

Dr. José Gómez Valdés
Presidente

Dr. Fernando García García
Vicepresidente

Dr. Edgar Pavía López
Secretario General

Dr. Josué Álvarez Borrego
Tesorero

Dr. Sóstenes Méndes Delgado
Secretario de Investigación

M.C. Luis Alberto Delgado Argote
Secretario de Difusión

Dr. Miguel Rodríguez González
Secretario de Educación

Dr. Julián Adem Chain
Presidente Honorario

GEOS, Boletín Informativo de la Unión Geofísica Mexicana, A.C. ISSN 0186-1891 (La Unión Geofísica Mexicana, UGM, es la Sociedad Civil no lucrativa de los profesionales de la Geofísica y Ciencias de la Tierra). **GEOS** es una publicación trimestral apoyada por el CICESE (División de Ciencias de la Tierra y División de Oceanología), UNAM (Coordinación de la Investigación Científica; Institutos de Geofísica, Geología, Geografía, Ciencias del Mar y Limnología e Ingeniería; Centro de Ciencias de la Atmósfera; y Facultad de Ingeniería), Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad, Consejo de Recursos Minerales y el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

GEOS, Boletín Informativo de la UGM publica artículos y notas de investigación, divulgación, comentarios, noticias, opiniones, anuncios y aspectos relevantes para la vinculación y difusión de la actividad científica y docente de las Ciencias de la Tierra. Los trabajos de investigación y divulgación enviados para publicación no deben de exceder 20 páginas (número de palabras por página 1050) en el formato de la revista. Los artículos de investigación son arbitrados por duplicado, mientras que los de divulgación son arbitrados por un especialista.

En el caso de noticias, comentarios u otro tipo de escritos, los manuscritos no deben de exceder cuatro cuartillas. Todos los trabajos deberán ser enviados a los editores.

Toda correspondencia dirigirla a:

Luis A. Delgado Argote
Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra
Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada,
Ensenada, 22860, Baja California, México
Tel. (61) 745-050, Ext. 26060
Fax: (61) 750-559
E-mail: ldelgado@cicese.mx

Luis A. Delgado Argote
y
Juan García Abdeslem
Editores

COMITE EDITORIAL

Harald Böhm, Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM
Silvia Bravo, Estudios Espaciales, Instituto de Geofísica, UNAM
Noel Carbajal Pérez, Oceanografía Física, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM
Oscar Campos, Geofísica de Exploración, Instituto de Geofísica, UNAM
Gerardo Carrasco, Vulcanología, Instituto de Geología, UNAM
Ana Luisa Carreño, Paleontología, Instituto de Geología, UNAM
Carlos Flores, Métodos Eléctricos y Electromagnéticos, CICESE
José Luis Frías Salazar, Cartografía, INEGI
Juan García Abdeslem, Gravimetría y Magnetometría, CICESE
René Garduño, Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Manuel Grajales N., Estratigrafía, IMP
Margarita López Martínez, Geoquímica, CICESE
Alejandro Hinojosa Corona, Sistemas de Información Geográfica, CICESE
Miguel Lavín, Oceanografía, División de Oceanología, CICESE
Luis Munguía Orozco, Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Jorge Ledesma Vázquez, Sedimentología, Facultad de Ciencias Marinas, UABC
Guillermo Pérez, Exploración Petrolera, PEMEX
Domitilo Pereyra, Meteorología, Universidad Veracruz-Jalapa
Francisco José Sánchez Sesma, Ingeniería Sísmica, UNAM
Miguel Téllez, Sedimentología, UABC
Gustavo Tolson, Geología Estructural, Instituto de Geología, UNAM
Carlos Suárez Plascencia, Riesgo Geológico, Universidad de Guadalajara
Héctor Pérez de Tejada, Estudios Espaciales, Instituto de Geofísica, UNAM

Victor Manuel Frías Camacho
María Cristina Álvarez Astorga
APOYO TÉCNICO EDITORIAL

ÍNDICE

EDITORIAL	77
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
AMBIENTES SEDIMENTARIOS EN LA SECCIÓN ARROYO COLORADO, FORMACIÓN TEPETATE (EOCENO TEMPRANO-MEDIO), BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO	78
<i>Jorge Ledesma-Vázquez, Gabriel Rendón-Márquez y Ana Luisa Carreño</i>	
EFFECTO DEL CLIMA (EL NIÑO) EN LOS FENÓMENOS DE FLUENCIA DE LAS FALLAS GEOLÓGICAS DE LA CIUDAD DE MORELIA	84
<i>Garduño-Monroy V.H., Rodríguez-Torrez G.M., Israde-Alcántara I., Arreygue E., Canuti P. y Chiesa S.</i>	
CAMBIOS DE GRAVEDAD INDUCIDOS EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO PRIETO ENTRE 1978 Y 1997	94
<i>Jorge Ramírez-Hernández y Juan M. Cobo-Rivera</i>	
ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN	
APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO AL MÉTODO MAGNETOTELÚRICO	105
<i>Marco A. Pérez Flores</i>	
REPORTES TÉCNICOS	
PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE ADCP EN LA ZONA DE LAS ISLAS SAN LORENZO Y SAN ESTEBAN: EDICIÓN, CONTROL DE CALIDAD, CALIBRACIÓN Y ESTADÍSTICA BÁSICA	113
<i>Laura Elena Carrillo Bibriezca, Maria Luisa Argote Espinoza, Alberto Amador Buenrostro, Carolina Morales Zúñiga y Felipe Plaza Flores</i>	
REPORTES	
SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO	126
<i>GRUPO RESNOM</i>	
NOTAS	
EL AÑO GEOFÍSICO INTERNACIONAL 1957-1958 Y LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA EN EL INICIO DEL SIGLO XXI	128
<i>Jaime Urrutia Fucugauchi</i>	
NOTICIAS DE LA UGM	
DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 1999	132
COMUNICACIONES	
REUNIÓN ANUAL 1999, UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.	141
INSTRUCCIONES PARA AUTORES DE ARTÍCULOS	148
FORMA DE ARBITRAJE	150

EDITORIAL

A raíz de la publicación de la Ley para el Fomento de Investigación Científica y Tecnológica (LFICT) en abril pasado, en los últimos meses hemos observado un creciente interés, manifestado a través de las notas periodísticas, en temas relacionados con la dirección que está tomando la administración de la ciencia y la educación, así como el planteamiento de sus objetivos. Este movimiento de revisión no es un hecho aislado y las reacciones por parte de la comunidad académica son claras también en Chile, con respecto a la Ley Marco, en Canadá (CAUT: Asociación Canadiense de Profesores Universitarios), con respecto a un reporte gubernamental sobre la forma y destino de la investigación científica en las universidades, entre otras. En particular, el mes pasado el presidente de la CAUT llamó la atención sobre la actual tendencia a incorporar las acciones de investigación y sus productos a una economía de mercado; meses antes, ya había hecho una severa crítica a las propuestas del Banco Mundial en la Conferencia Mundial de Educación Superior organizada por la UNESCO, en respuesta a la propuesta del banco de orientar la educación superior hacia el mercado al considerársele un bien privado (www.caut.ca/).

En México, esta tendencia adquiere algunas particularidades, pero se guarda el esquema general. Por ejemplo, se creó un Comité Interinstitucional para la Aplicación del Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de la Tecnología, sin embargo, es selectiva (Lunes en la Ciencia, La Jornada, 7 junio 1999). Otro detalle que llama la atención es que la aprobación del Programa de Ciencia y Tecnología, contemplado en el capítulo III de la LFICT y cuya formulación estará a cargo del CONACyT, corresponderá al Presidente de la República. En lo que se refiere a las 27 instituciones de investigación científica y desarrollo tecnológico del Sistema SEP-CONACyT, existe un plan de reestructuración que "se basa en un esquema de planeación estratégica con fundamento en un plan de negocios", para lo que se requiere "orientar las actividades de investigación y desarrollo tecnológico a las necesidades del mercado".

Esperemos que esta nueva planeación no ejerza alguna presión negativa sobre el artículo 3 de la LFICT que se refiere a la obligatoriedad del Gobierno Federal a "apoyar la capacidad y el fortalecimiento de las actividades de investigación científica y tecnológica que lleven a cabo las universidades e instituciones públicas de educación superior ... sin menoscabo de la libertad de investigación que la fracción VII del artículo 3º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos consigna a favor de dichas universidades e instituciones de educación superior".

AMBIENTES SEDIMENTARIOS EN LA SECCIÓN ARROYO COLORADO, FORMACIÓN TEPETATE (EOCENO TEMPRANO-MEDIO), BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO

Jorge Ledesma-Vázquez¹, Gabriel Rendón-Márquez² y Ana Luisa Carreño³

¹ Área de Geología, UABC

A.P. 453, Ensenada, B.C. 22800, México

² Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada B.C., 22860, México

³ Instituto de Geología, UNAM

Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, 04510, D.F., México

RESUMEN

Se presenta un estudio sedimentológico y petrográfico en una secuencia sedimentaria de origen marino de 55 m de espesor que aflora en Arroyo Colorado, B.C.S., perteneciente a la Formación Tepetate, con la intención de determinar el origen del depósito y aportar elementos litoestratigráficos que permitan posteriormente establecer formalmente la sección tipo de la misma. La litología, estructuras sedimentarias, los microfósiles y la icnofacies sugieren un ciclo regresivo - transgresivo - regresivo en un mar somero hasta el límite exterior de la plataforma a una profundidad no mayor de 150 m. La parte media de la sección se asocia a eventos de tormenta caracterizados por la estratificación cruzada hamacada y hacia la cima por flujos gravitacionales no canalizados. El análisis modal de las areniscas sugiere la presencia de un basamento local levantado o de un arco magmático fuertemente disectado. La presencia de facies turbidíticas distales en la localidad de Las Pocitas, al ENE del área de estudio, sugiere que la fuente de sedimentos se localizaba al occidente de Arroyo Colorado y, por lo tanto, que el transporte sedimentario se realizó en dirección W-E. Lo anterior, aunado a la icnofacies de Cruziana documentadas en la secuencia, apoya la interpretación de un sistema turbidítico Tipo I que proponen varios autores y además, permite establecer los límites laterales de la secuencia de Arroyo Colorado.

INTRODUCCIÓN

La secuencia que aflora en los alrededores del rancho Tepetate, B.C.S., designada por Heim (1922) como Formación Tepetate, fue descrita como una unidad ligeramente plegada, con una inclinación de 4° hacia el NE. La formación está constituida, según describió el autor, por arenisca suave verdosa, arenisca dura, gris, bien estratificada y lutita verde a violeta, con abundantes macroforaminíferos. Heim (1922) estimó un espesor de 1,000 m para esa unidad y, por la presencia de *Orthophragmina pratti*, sugirió que la secuencia se depositó durante el Eoceno en un ambiente nerítico.

Heim (1922) no designó una localidad tipo para esta unidad. Sin embargo, otros autores (Beal, 1948; Mina-Uhink, 1957; Knappe, 1974 en Minch y Leslie, 1979; Lozano-Romen, 1975; Fulwider, 1976; Minch y Leslie, 1979; Galli-Olivier *et al.*, 1986; López-Ferreira *et al.*, 1991; Squires y Demettrion, 1991, 1994; Vázquez-García *et al.*, 1995; Vázquez-García, 1996 y Perrilliat, 1996) se han referido a los cantiles que afloran en las inmediaciones del rancho El Tepetate, localizado a 80 km al sur de Ciudad Constitución (Figura 1), como la localidad tipo de la Formación Tepetate.

El análisis de los resultados presentados por estos autores sugiere que el depósito de la Formación Tepetate abarca

del Cretácico Superior al Eoceno medio, en una variedad amplia de facies que incluye desde depósitos marinos someros hasta turbidíticos.

Con la intención de formalizar la designación de esta secuencia como localidad tipo, Carreño *et al.* (1999), realizaron un estudio litoestratigráfico y micropaleontológico de la misma, concluyendo que la unidad se depositó durante el Eoceno inferior tardío y el Eoceno medio temprano, en un ambiente de plataforma interna y externa (0-150 m) y, usando el análisis de los resultados consignados por otros autores, señalaron que esta secuencia no es representativa de la Formación Tepetate.

Por lo anterior, se ha iniciado un proyecto que pretende documentar, litoestratigráficamente, secuencias diferentes que afloran en la región entre el km 75 de la Carretera Transpeninsular 1 hasta las inmediaciones de Ciudad Constitución, que pertenecen a la Formación Tepetate, con el objetivo de revisar o redefinir esta unidad, de acuerdo al Código Estratigráfico Norteamericano (1983). Para ello, y partiendo de la heterogeneidad de facies que caracteriza a la Formación Tepetate (Carreño *et al.*, 1999). Este trabajo documenta la historia geológica de la secuencia que aflora en Arroyo Colorado, con la intención de establecer de modo confiable los límites laterales de la Formación Tepetate y su relaciones de contacto.

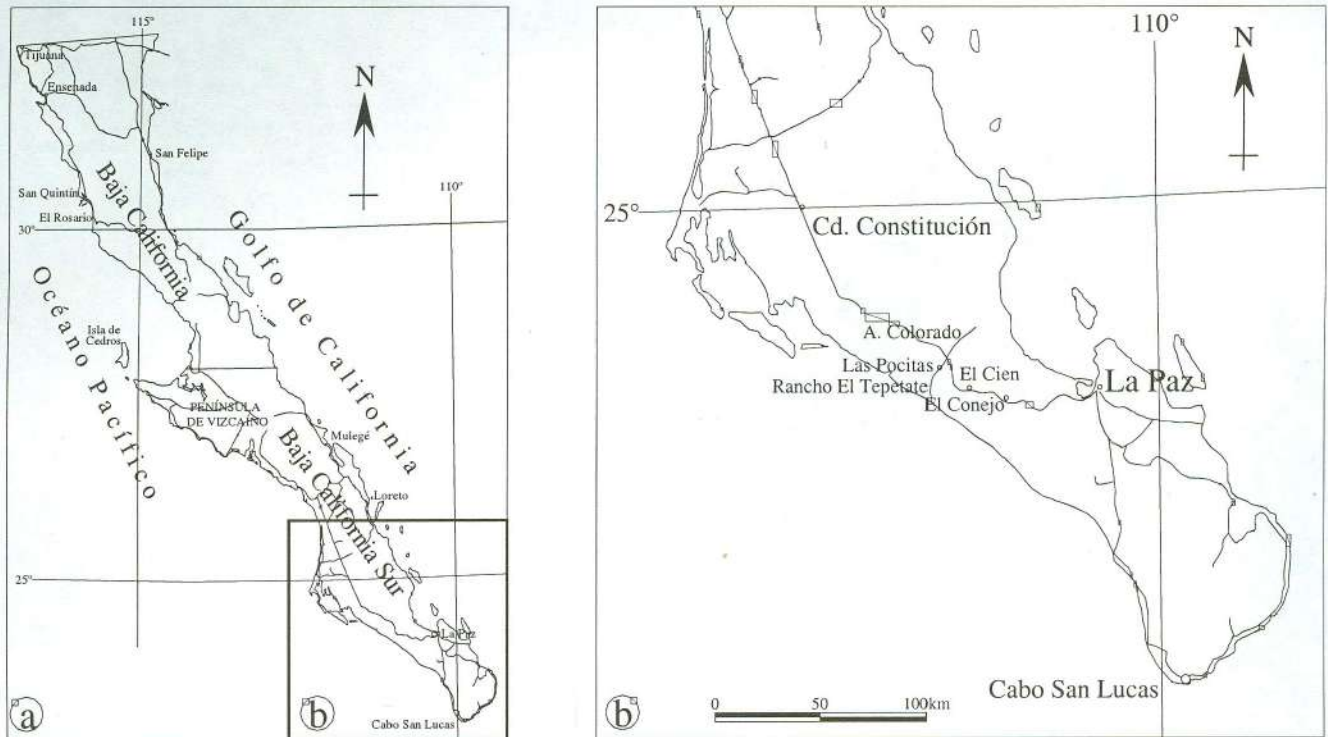


Figura 1. Localización del área de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

La columna estratigráfica de Arroyo Colorado, de 55 metros de espesor y echado entre 3 y 6° hacia el E, se localiza en el lecho del Arroyo Colorado (24°23'N y 111°08'W), en las inmediaciones del rancho El Tepetate, Baja California Sur (Figura 1). Dicha columna se subdividió en siete estratos (Figura 2; Tepe 1-7), diferenciados por contactos principalmente erosivos. El contacto inferior y superior de la columna no se describen, ya que no son claras sus relaciones en el campo.

Con la intención de establecer las relaciones laterales de la secuencia de Arroyo Colorado, se midió una sección localizada a 1 km al oriente-noriente del poblado de Las Pocitas, B.C.S. (Figura 1). La secuencia Las Pocitas, de 30 m de espesor, está constituida por flujos turbidíticos de grano fino, tamaño arcilla, verdosos, bien estratificados, con estratos que varían de 30 a 60 cm de espesor y con una dirección general del echado de 6° hacia el N. En dirección E-W se observan cuatro abanicos turbidíticos en sección perpendicular al flujo, con orientación NNW y, por lo menos en uno de ellos, es posible observar su parte basal.

El estudio petrográfico de la fracción arenosa sólo se llevó a cabo en la localidad de Arroyo Colorado. Este análisis se efectuó con la intención de determinar la proveniencia de los flujos sedimentarios, para lo que se utilizó el método de Gazzini

Dickinson (*en* Ingersoll *et al.*, 1984) y los resultados fueron graficados en un diagrama ternario QFL y en un diagrama LsLvLm (Folk, 1970). El estudio micropaleontológico de la sección Las Pocitas se llevó a cabo para establecer su edad, siguiendo para ello la técnica estándar para microfósiles calcáreos (Neumann, 1967).

RESULTADOS

La descripción litoestratigráfica de la sección en Arroyo Colorado se encuentra ilustrada en la Figura 2. Los resultados del análisis modal de las areniscas (Tepe 1-2 y 4 a 7) se graficaron en un diagrama ternario QFL (cuarzo, feldespato y líticos) siguiendo el criterio de Folk (1970). Tepe 1 corresponde a una feldsparenita lítica, Tepe 2 a una litoarenita y Tepe 4 a Tepe 7 como sublitoarenitas con un contenido de cuarzo alto (Tabla 1).

Los resultados graficados en el diagrama ternario LsLvLm (líticos sedimentarios, líticos volcánicos y líticos metamórficos) indican, de acuerdo con Folk *et al.* (1974), que Tepe 1 corresponde a una sedarenita con contenido alto de líticos sedimentarios, mientras que Tepe 2 y Tepe 4 a Tepe 7 se clasifican como filoarenitas con un contenido alto de líticos metamórficos. Con base en los valores de cuarzo, feldespato y fragmentos líticos de origen metamórfico, se puede inferir que los sedimentos provienen de un basamento granítico-metamórfico (Tabla 2, Figuras 4 y 5)

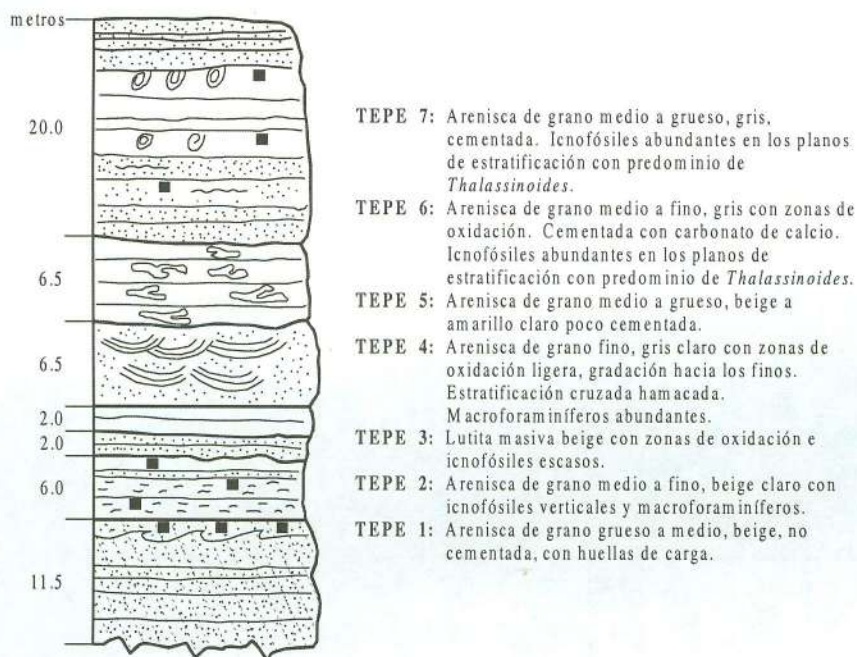


Figura 2. Columna estratigráfica y descripción de la sección de Arroyo Colorado.

Estos resultados, de acuerdo con Dickinson (1984), sugieren la presencia de un basamento local levantado o de un arco magmático fuertemente disectado. En el área de estudio no existen elementos que indiquen la dirección de transporte; sin embargo, es posible identificar la presencia de flujos detríticos o turbidíticos con una orientación general S 50° E. Hacia el este-noreste de Arroyo Colorado, aflora la secuencia denominada Las Pocitas (Figura 1). Se interpreta que esta unidad representa las fases distales de un abanico turbidítico, por lo que se infiere que este basamento debió encontrarse al Occidente de Arroyo Colorado.

Los microfósiles colectados en esta sección se encuentran fragmentados y con claras evidencias de transporte. Los foraminíferos bentónicos están representados por especies robustas de los géneros *Amphistegina*, *Cibicidoides*, *Eponides* y *Discorbis*, característicos de un ambiente marino somero de plataforma interna. Un elemento común dentro de la población

de foraminíferos es la presencia constante de especies de *Gyroidina*, interpretadas como la fauna *in situ*, cuya paleobatimetría se sitúa, por lo menos, en el dominio batial superior. Los ostrácodos están caracterizados por la abundancia del género *Krithe* y *Parakrithe*, elementos que se asocian a un ambiente batial y/o a la influencia de corrientes frías debido a su carácter criófilo.

Ninguna de las cuatro muestras colectadas en esta localidad contiene foraminíferos planctónicos índice que permitan establecer con confianza la edad de esta secuencia. Los especímenes corresponden a formas fragmentadas del género *Acarinina*, muy probablemente de la especie *A. broedermanni*, cuyo alcance estratigráfico, de acuerdo con Toumarkine y Luterbacher (1985), va de la biozona de *Acarinina pentacamerata* (Eoceno inferior tardío) a la biozona de *Morozovella lehneri* (Eoceno medio temprano-medio), lo cual es consistente con la edad establecida para la secuencia de Arroyo Colorado.

Tabla 1. Descripción petrográfica de las muestras en la secuencia de Arroyo Colorado, B.C.S.

TEPE 7	Cuarzo monocristalino (60%), anguloso a subanguloso. Feldespato anguloso a subanguloso (10%), la mayoría maclados. Biotita acicula abundante, orientada preferencialmente. Matriz de carbonato de calcio (30%). Fragmentos escasos de organismos y minerales opacos.	SUBLITOARENITA
TEPE 6	Cuarzo monocristalino (60%), anguloso a subanguloso. Cuarzo policristalino ocasional. Feldespato anguloso o subanguloso (10%) maclado. Biotita acicular orientada preferencialmente. Matriz de carbonato de calcio (30%). Fragmentos abundantes de gasterópodos.	SUBLITOARENITA
TEPE 5	Cuarzo monocristalino (75%), anguloso a subanguloso. Feldespato (15%) anguloso a subanguloso y la mayoría maclados. Fragmentos volcánicos félsicos. Biotita acicular abundante, orientada preferencialmente. Foraminíferos bentónicos y restos de gasterópodos escasos. Matriz de carbonato de calcio. Minerales opacos escasos.	SUBLITOARENITA
TEPE 4	Cuarzo monocristalino (60%), subredondeados a subanguloso. Feldespato (10%), subanguloso a anguloso. Biotita en hojuelas, verde olivo o café claro (20%). Matriz de Carbonato de calcio. No se observan restos de organismos.	SUBLITOARENITA
TEPE 3	Microcristales de cuarzo angulosos y abundantes. Microcristales de carbonato de calcio. Foraminíferos planctónicos abundantes, algunos totalmente reemplazados por óxidos de hierro (<i>hematita</i> ?).	LUTITA
TEPE 2	Cuarzo monocristalino anguloso y subanguloso (60%). Cuarzo policristalino y feldespato escaso.	LITOARENITA
TEPE 1	Cuarzo monocristalino anguloso y subanguloso (60%) y cuarzo policristalino y feldespato escaso.	FELSPARENITA LÍTICA

Tabla 2 Resultados del conteo de granos por el método Grassi-Dickinson (in Ingersoll *et al.*, 1984)

MUESTRA	TEPE 1	TEPE 2	TEPE 4	TEPE 5	TEPE 6	TEPE 7
Qm	146	116	167	196	149	165
Qp	12	20	5	5	11	15
Total Feld.	43	43	26	23	49	34
Lv	1	3	0	1	0	0
Lm	0	42	5	13	6	7
Ls	7	19	3	1	6	5
Pesados	74	43	88	55	69	61
Opacos	17	14	6	6	10	13
Total	300	300	300	300	300	300
Qm	48.7	38.7	55.7	65.3	49.7	55.0
Qp	4.0	6.7	1.7	1.7	3.7	5.0
Total Feld.	14.3	14.3	8.7	7.7	16.3	11.3
Lv	0.3	1.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Lm	0.0	14.0	1.7	4.3	2.0	2.3
Ls	2.3	6.3	1.0	0.3	2.0	1.7
Pesados	24.7	14.3	29.3	18.3	23.0	20.3
Opacos	5.7	4.7	2.0	2.0	3.3	4.3
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	5.3	45.4	57.4	67.0	53.4	60.0
Total Feld.	4.8	4.8	2.9	2.6	5.4	3.8
Total Líticos	2.6	21.3	2.7	4.9	4.0	4.0
Total	12.6	71.5	63.0	74.5	62.8	67.8
Total Qz	41.8	63.5	91.1	89.9	85.0	88.5
Total Feld.	37.8	6.7	4.6	3.4	8.7	5.6
Total Líticos	20.6	29.8	4.3	6.6	6.4	5.9
Total	100.3	100.0	100.0	100.0	100.1	100.0
Lv	0.3	1.0	0.0	0.3	0.0	0.0
Lm	0.0	14.0	1.7	4.3	2.0	2.3
Ls	2.3	6.3	1.0	0.3	2.0	1.7
Total	2.6	21.3	2.7	4.9	4.0	4.0
Lv	11.5	4.7	0.0	6.1	0.0	0.0
Lm	0.0	65.7	63.0	87.8	50.0	57.5
Ls	88.5	29.6	37.0	6.1	50.0	42.5
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con Carreño *et al.* (1999), la sección de Arroyo Colorado se depositó durante el Eoceno inferior tardío y el Eoceno medio temprano. La microfauna y la presencia de areniscas con estratificación cruzada de bajo ángulo, sugieren un ambiente somero, en el límite interno de la plataforma continental. Esta interpretación es reforzada por Ledesma *et al.* (1998) quienes, de manera preliminar, infieren que la presencia de arenisca con estratificación cruzada de ángulo bajo corresponde a un ambiente de sedimentación marino somero, en el límite interno de la plataforma continental, mientras que la arenisca limosa interdigitada, es interpretada como depósito turbidítico o flujo gravitacional del Tipo I de Mutti (1984) en un mar abierto que incluye erosión submarina de escala amplia y arenisca lobulada de estratificación gruesa en cuerpos alargados no canalizados (Figura 3). De acuerdo con las estructuras primarias y las icnofacies, Carreño *et al.* (1998) sugieren, que esta secuencia corresponde a depósitos turbidíticos o flujos gravitacionales y a eventos de tormenta.

Ledesma *et al.* (1988) interpretaron la muestra Tepe 5 que corresponde a una arenisca con estratificación cruzada acunada como producto de eventos de tormenta y consideraron que refleja una variación en el nivel del mar. Ambos autores (Ledesma *et al.*, 1988 y Carreño *et al.*, 1999) coinciden en señalar que la presencia de *Thalassinoides* es indicativa de la icnofacies denominada Cruziana (Bromley, 1996), misma que

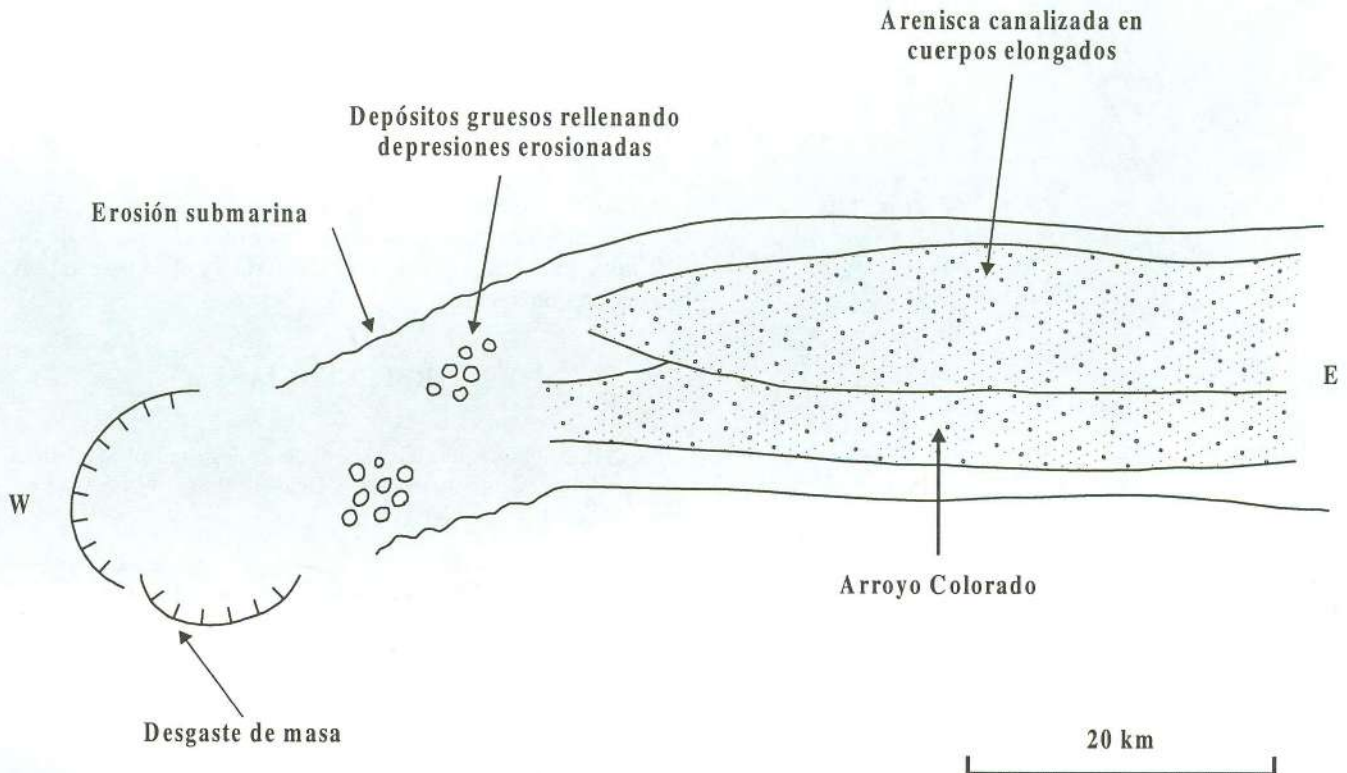


Figura 3. Modelo propuesto para el emplazamiento de las unidades sedimentarias presentes en Arroyo Colorado, B.C.S. Modificado de Mutti (1985).

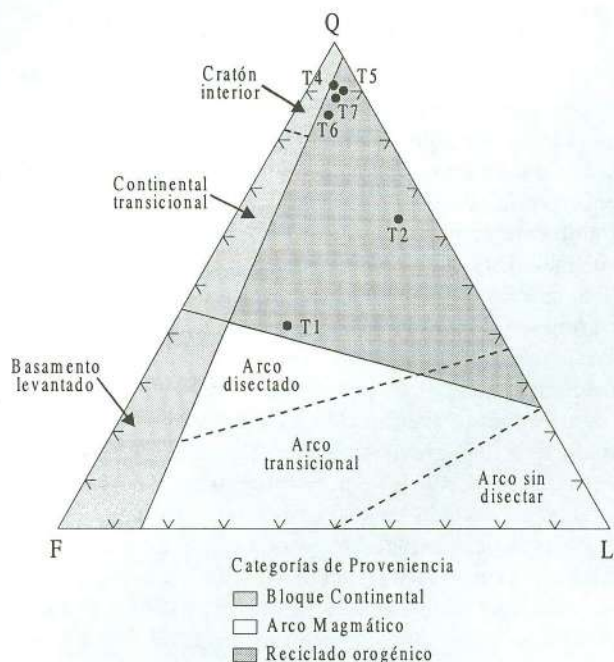


Figura 4. Gráfico QFL de las areniscas de la sección de Arroyo Colorado, B.C.S., analizadas por el método de Gazzi-Dickinson (en Ingersoll *et al.*, 1984) T₁ (muestra Tepe 1, 2 y 4-7).

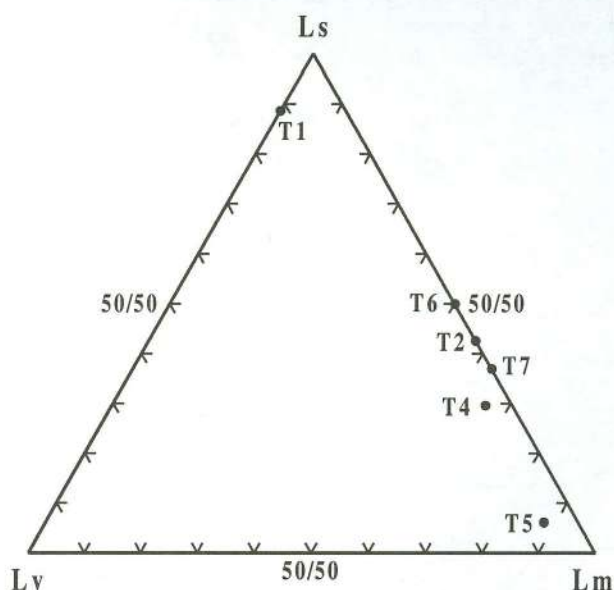


Figura 5. Gráfico LsLvLm de las areniscas de la sección de Arroyo Colorado, B.C.S., analizadas por el método de Gazzi-Dickinson (in Ingersoll *et al.*, 1984) T₁ (muestra Tepe 1, 2 y 4-7).

caracteriza el área comprendida entre la zona intermareal, hasta la base de la ola de tormenta y, cuya presencia, se asocia a una actividad biológica entre cada evento de flujo en condiciones de energía baja.

Los resultados del estudio petrográfico apoyan las interpretaciones previas y, junto con el análisis de proveniencia,

sugieren, a partir de los valores cuarzo-feldespatos-líticos, que la roca fuente de los sedimentos es de origen metamórfico, probablemente asociados a un basamento local levantado, o a un arco magmático fuertemente disectado que debió encontrarse al W de Arroyo Colorado.

Esta interpretación parece contradecir los resultados de Vázquez-García (1996) quien, basado en el estudio petrográfico de una secuencia de la Formación Tepetate que aflora en la localidad de El Conejo (localizada en los alrededores del km 75 de la carretera Transpeninsular I, Figura 1) establece, con base en la presencia de feldespatos y plagioclasa euhedral a subeuhedral, que los sedimentos de la Formación Tepetate tienen una fuente de origen andesítica, riolítica y piroclástica, provenientes de la Sierra Madre Occidental.

Los resultados petrográficos presentados aquí junto con los resultados de Ledesma *et al.* (1998) y Carreño *et al.* (1999), permiten proponer una dirección de transporte de los sedimentos hacia el oriente para la región comprendida de Arroyo Colorado a Las Pocitas. Se interpreta, además, la presencia de un alto batimétrico asociado a la fuente de sedimentos.

Finalmente, el presente trabajo permite establecer de manera confiable los límites laterales para la secuencia de Arroyo Colorado y junto con los trabajos previos, proporciona bases para establecer en trabajos subsecuentes una columna litoestratigráfica representativa de toda la unidad.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por la DGAPA-Proyecto número INI-102995, por la Dirección General de Intercambio Académico UABCS-UNAM. Jorge Ledesma-Vázquez agradece también el apoyo de la Universidad Autónoma de Baja California, y el arbitraje de dos revisores anónimos.

REFERENCIAS

- Beal, H.C., 1948, Reconnaissance of the geology and oil possibilities of Baja California, México, Geological Society of America, Memoir 31: 1-138 p.
- Bromley, R.G., 1996, Trace Fossils; biology, taphonomy and applications, Chapman and Hall, London, 361 p.
- Carreño, A.L., Ledesma-Vázquez, J. y Guerrero-Arenas, R., 1999, Biostratigrafía e historia paleodeposicional de la Formación Tepetate en Arroyo Colorado (Eoceno medio-temprano), Baja California Sur, México, Ciencias Marinas (aceptado)
- Dickinson, W.R., 1984, Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. in Zuffa, G.G. (eds.), Provenance of Arenites. D. Riedek Publishing Company. NATO ASI Series, C. Mathematical and Physical Science, v. 148. 333-361.

- Folk, R.L., 1974, Petrology of sedimentary Rocks: Hemphill, Austin, Texas. 182 p.
- Folk, R.L., Andrews, P.B. and Lewis, D.W., 1970, Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand: New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 13: 937-968.
- Fulwider, W. R., 1976, Biostratigraphy of the Tepetate Formation, Baja California Sur: California, University of Southern California, Master in Sciences Thesis, 1-111. (unpublished).
- Galli-Olivier, C., Márquez-Enríquez, T.E., Reyes-Sarabia, J.A. y Rosas-Cortés, C., 1986, Estructuras sedimentarias primarias y litofacies de corrientes densas de un paleoambiente de talud, El Conejo, Baja California Sur, México: Ciencias Marinas, 12: 7-15.
- Heim, A., 1922, Notes on the Tertiary of Southern Lower California: Geological Magazine, 59: 529-547.
- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.D., Grimm, J. P. and Sares, S.W., 1984, The effects of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method: Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 54, N° 1, 103-116.
- Ledesma-Vázquez, J., Rendón-Marquéz, G. y Carreño, A.L., 1998, Caracterización de ambientes sedimentarios en la Formación Tepetate: en Alaniz-Álvarez, S., Ferrari, L. y Nieto-Samaniego, A.F. (eds.). Primera Reunión en Ciencias de la Tierra, 21-25 Septiembre, 1998, Cd. de México, Soc. Geol. Mex.; Soc. Mex. Geól. Petról.; Soc. Mex. Geomorfología; Soc. Mex. Mineralogía, p. 99, libro de resúmenes.
- Lozano-Romen, F., 1975, Evaluación petrolífera de la Península de Baja California, México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 27: 1-329.
- López-Ferreira, C., Martínez-Jiménez, A., Rojas-Soriano, H., Sevilla-Unda, V. y Vázquez-García, A., 1991, Reconocimiento geológico en el área de San Hilario, B.C.S., de la Formación Tepetate, Sociedad Geológica Peninsular, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Primera Reunión Internacional sobre Geología de la Península de Baja California, La Paz, Baja California Sur, Mexico, p. 46.
- Mina-Uhink, F., 1957, Bosquejo geológico del territorio sur de la Baja California: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 9: 188-192.
- Minch, J. and Leslie, T.A., 1979, Geologic Road Log, La Paz to Tijuana, in P. L. Abbott and G. Gastil, (eds.). Baja California Geology, field guides and papers, San Diego State University, San Diego, 159-189 pp.
- Mutti, E., 1985, Turbidite systems and their relations to depositional sequences, en Zuffa, G.G. (eds.), Provenance of Arenites. D. Riedek Publishing Company. NATO ASI Series, C. Mathematical and Physical Science, v. 148, p. 65-93.
- Neumann, M., 1967, Manuel de Micropaléontologie des Foraminifères. Gauthier-Villars, Paris, 297 pp.
- Perrilliat, M.C., 1996, Occurrence of the Tethyan Gastropods *Campanile* y *Gisortia* in the Lower Eocene Part of the Tepetate Formation, Baja California Sur, México: The Veliger, 39: 178-183.
- Squires, R.L. and Demetron, R.A., 1991, Early Eocene macrofaunal comparison between the Tepetate and Bateque Formation, Baja California Sur, Mexico: Geological Society of America, Annual Meeting 23, Program with Abstracts, p. 124.
- Squires, R.L. and Demetron, R.A., 1994, A new species of the Oligopygoid Echinid *Haimea* from the lower Eocene of Baja California Sur, Mexico: Journal of Paleontology, 68: 846-851.
- Toumarkine, M. and Luterbacher, H., 1985, Paleocene and Eocene planktic foraminifera, en Bolli, H.M., Saunders, J.B. and K. Perch-Nielsen (eds.), Plankton Stratigraphy: Cambridge University Press, Great Britain, 87-154.
- Vázquez-García, A., 1996, Litología y ambientes de depósito de la Formación Tepetate en el Arroyo El Conejo, Baja California Sur, México, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, 1-72.
- Vázquez-García, A., Schwennicke, T. y Sevilla-Unda, V., 1995, Estudio preliminar sedimentológico de la Formación Tepetate en el Arroyo El Conejo, Baja California Sur, México: Tercera Reunión Internacional sobre Geología de la Península de Baja California, La Paz, Baja California Sur, Mexico, p. 212 (abstract).

EFFECTO DEL CLIMA (EL NIÑO) EN LOS FENÓMENOS DE FLUENCIA DE LAS FALLAS GEOLÓGICAS DE LA CIUDAD DE MORELIA

Garduño-Monroy V.H.¹, Rodríguez-Torrez G.M.¹, Israde-Alcántara I.¹, Arreygue E.^{1,2}, Canuti P.² y Chiesa S.³

¹ Depto. de Geología y Mineralogía, UMSNH, IIM

E-mail: vgmonroy@zeus.ccu.umich.mx

² Universidad de Florencia, Italia

³ Universidad de Milán, CNR, Italia

RESUMEN

En este trabajo se analizan datos climatológicos y del comportamiento piezométrico de pozos que revelan que los hundimientos en las zonas urbanas no son causados exclusivamente por la sobreexplotación de acuíferos, tal como se ha considerado hasta la fecha.

El monitoreo de 14 años de movimientos relacionados con una deformación continua y asísmica en Morelia (fluencia) revela la presencia de dos periodos críticos: uno que inicia en 1993 y continúa hasta 1997 y otro que inició en 1997. Estos eventos son correlacionables temporalmente con los dos fenómenos de El Niño más importantes en la historia.

La explotación de los acuíferos ha tenido como norma que todo pozo que se perfora tenga un tubo ranurado casi en toda la columna del pozo, factor que está generando que la explotación se realice en los acuíferos superficiales, es decir, aquellos que están constituidos por secuencias fluviolacustres, las cuales son las más favorables a generar fenómenos de fluencia (creep). Con datos del subsuelo se observó que el problema principal de fluencia ocurre en los primeros 16 metros de profundidad, en una secuencia fluviolacustre donde el acuífero ha sido sobreexplotado.

El hundimiento en la Falla La Colina, que se conoce desde 1977, es un ejemplo de una "catástrofe anunciada", ya que no obstante su conocimiento y las advertencias, se continuó construyendo sobre la traza de la falla, sobre todo hacia su parte SW. En 1998 se desalojaron más de 40 viviendas, incluidas varias casas "dúplex" y dos edificios del Infonavit Manantiales, que tendrán que ser demolidos.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Morelia, Michoacán se han presentado una serie de fracturas asociadas con fallamiento de tipo normal que ha causado grandes daños materiales en la zona urbana. Dichos fenómenos se manifestaron antes del sismo de 1985, apareciendo las primeras fracturas en 1982 y 1983 en la Región de Santa Ana Maya, Michoacán. En la ciudad de Morelia las fracturas más relevantes se manifestaron en la colonia de Tres Puentes y La Colina y otra en la Avenida Héroes de Nocupétaro. Los daños en la Avenida Héroes de Nocupétaro se observaron desde las instalaciones del hospital del Seguro Social hasta la colonia Industrial. La avenida presentó daños tan importantes que motivaron el diseño de una obra civil hidráulica que contemplara la deformación del terreno. Durante las excavaciones se observó una falla de tipo normal que afecta a sedimentos fluviolacustres, la que se asocia a la falla de la Central Camionera (Suter, com. per., 1998) (Figuras 1 y 2). Se trata de una estructura regional orientada hacia el NE que, al igual que las mayores fallas regionales, tiene su bloque caído hacia el NW, provocando que las mesas de cantera se inclinen hacia el sur (Figuras 1, 2 y 3).

Hasta ahora, en la zona urbana de Morelia se han identificado cuatro fallas geológicas de tipo normal y de dirección NE-SW (Garduño y Escamilla, 1996; Garduño *et al.*,

1997 y Garduño *et al.*, 1998). Sin embargo, paulatinamente la ciudad comienza a ser afectada por otras que por el momento se manifiestan como fracturas que ya causan daños a las obras civiles.

Las causas de los hundimientos asísmicos (fluencia) han sido discutidas por diferentes autores (Trujillo-Candelaria, 1991; Lermo *et al.*, 1996; Garduño *et al.*, 1998), sin embargo, el problema ya ha sido bien estudiado en otros lugares del mundo, sobresaliendo los estudios realizados en Las Vegas, E.U.A., así como en varios sitios a lo largo de la Falla San Andrés (Holzen, 1984).

En este artículo hemos utilizado el termino de creep o fluencia para describir a aquel fenómeno que se lleva a cabo en sedimentos que ya han sufrido una compactación primaria y que ahora están sujetos a una deformación asísmica continua en el tiempo.

También es importante mencionar que en este trabajo se utilizará el término de falla geológica cuando ésta sea una estructura reconocible en campo, cuyo movimiento relativo sea identificable y que pueda ser cartografiada en un mapa urbano. Los tipos de fallas que estudiamos en la ciudad de Morelia son normales.

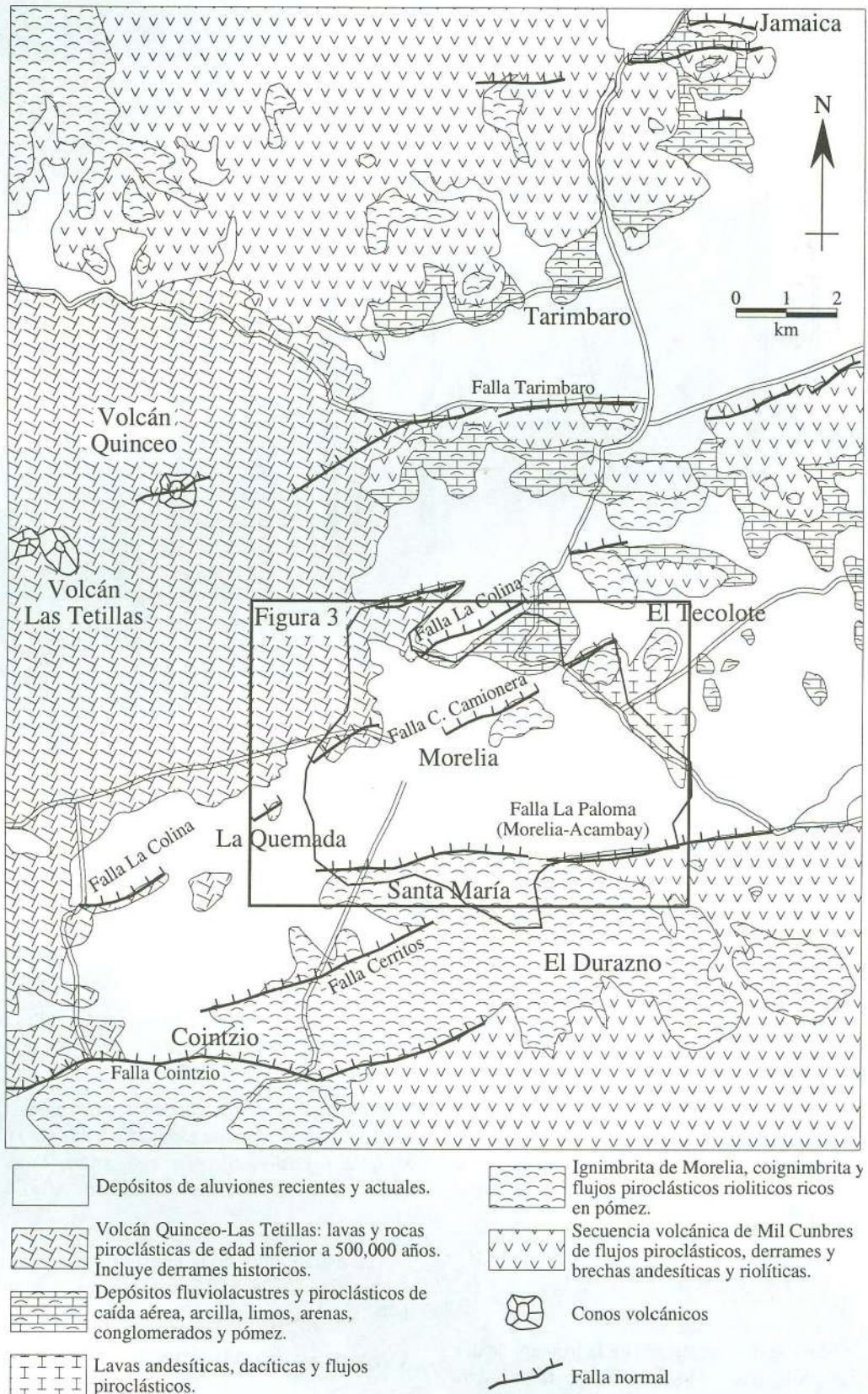


Figura 1. Esquema Geológico de la Ciudad de Morelia (modificado de Carrara y Lanza, 1997). En este esquema se pueden apreciar las principales fallas geológicas de la región de Morelia, destacando las fallas NE-SW y E-W. El recuadro corresponde a la Figura 3.

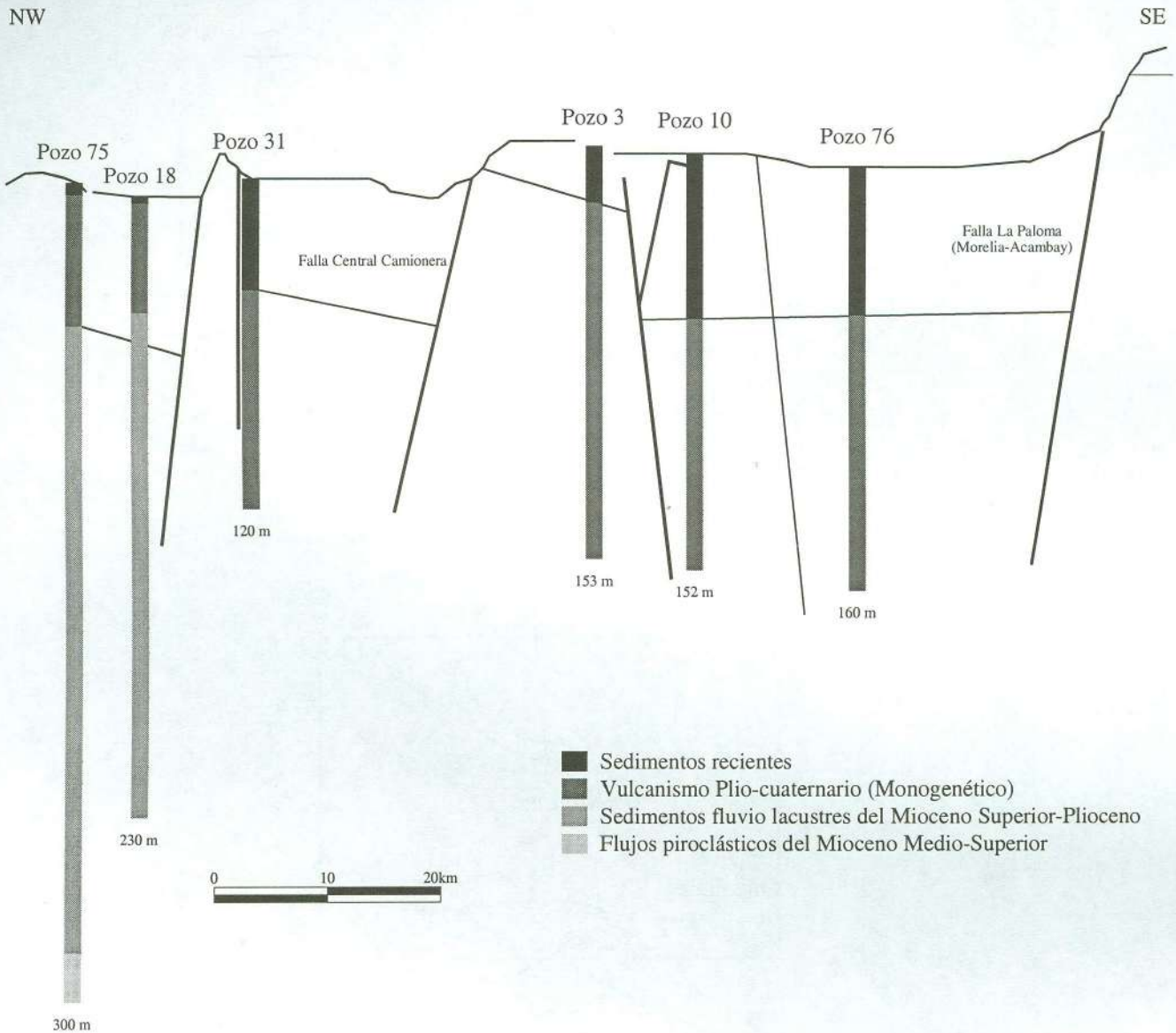


Figura 2. Sección geológica de algunos pozos de la Ciudad de Morelia. En esta sección se pueden ver las fallas principales y el basculamiento hacia el sur de las mesas de ignimbritas provocado por las mismas. Los desniveles provocados por las fallas son de más de 50 m en la Falla Central Camionera y de las de 100 m en la Falla La Paloma (Acambay-Morelia).

En este trabajo presentamos una serie de datos que permiten reconocer que el hundimiento de terreno o fluencia, durante las últimas dos décadas, está directamente relacionado con las condiciones del clima y los desarrollos urbanos mal planificados de algunas grandes ciudades de México.

GEOLOGÍA

La ciudad de Morelia está localizada en la frontera de dos grandes provincias geológicas. Al sur se encuentra una serie de rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno denominada Sierra de Mil Cumbres y hacia el norte se encuentra el Cinturón Volcánico Transmexicano que se manifiesta por el vulcanismo

monogenético, donde se encuentran los grandes lagos orientados E-W. Ambas provincias están separadas por la falla Acambay-Morelia, la cual es sísmicamente activa (Suter *et al.*, 1996) y que al sur de Morelia toma el nombre de falla La Paloma (Figura 1).

La estratigrafía de la ciudad de Morelia está constituida por cinco unidades litológicas, las que enseguida se describen de la base hacia la cima (Figura 2).

ANDESITAS DEL MIOCENO

Esta unidad está constituida por un paquete de derrames de andesita color verde intensamente alteradas y fracturadas, que a menudo alternan con horizontes piroclásticos o con otros

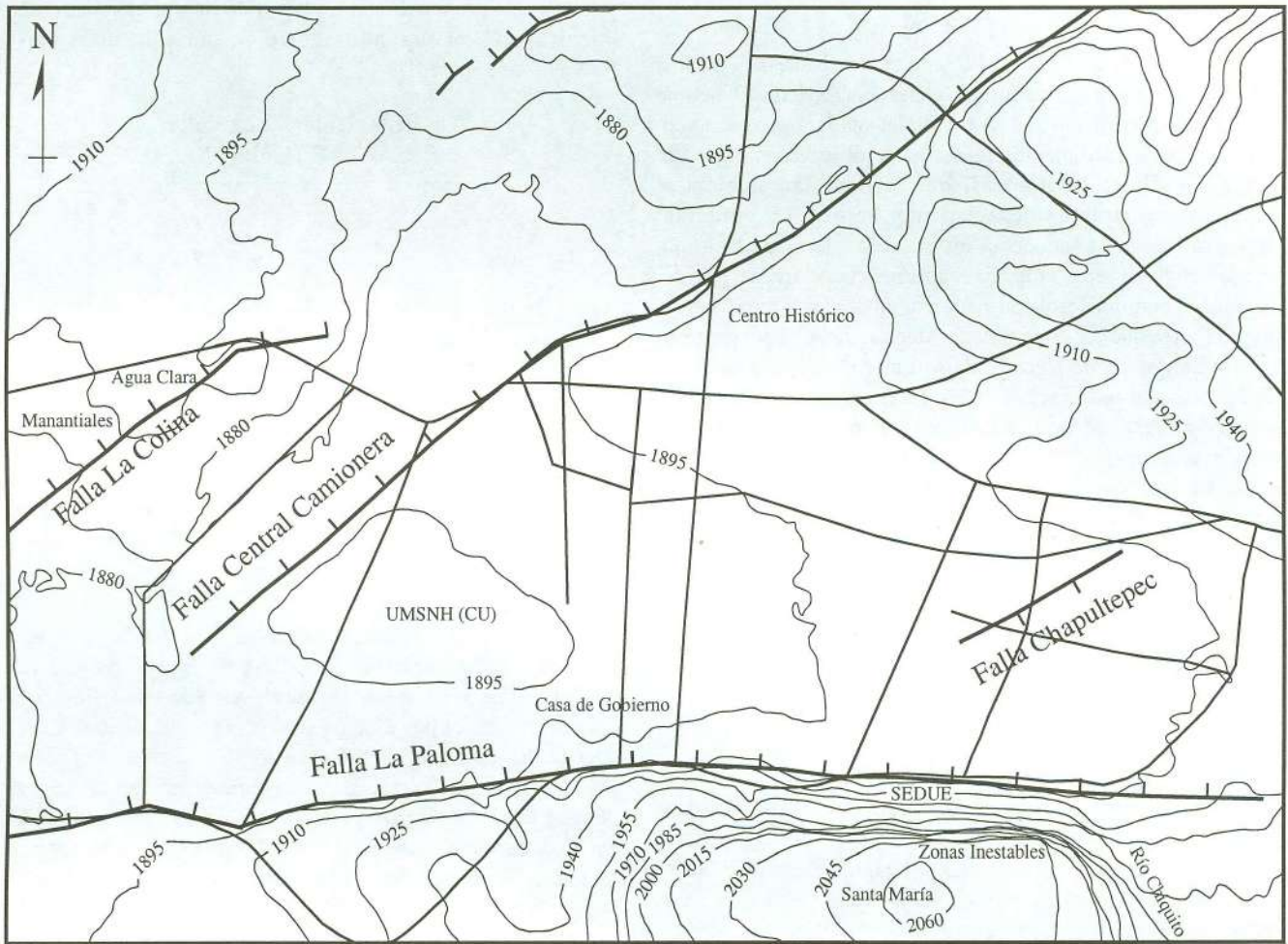


Figura 3. Localización de las principales fallas Geológicas de Morelia que están asociadas a fenómenos de fluencia. Es clara la relación entre la dirección de las fallas regionales y las fallas de la Ciudad de Morelia.

derrames de composición andesítica-basáltica. La edad de la secuencia varía de 20 a 8 Ma (Pasquare *et al.*, 1991; Silva-Mora, 1979, 1995). Estas rocas afloran en la cañada del Río Chiquito, en el sector sureste de la ciudad de Morelia. En el subsuelo de la ciudad estas rocas volcánicas se presentan claramente en los pozos perforados en la zona de Ocolusen.

IGNIMBRITA DE MORELIA

Esta unidad consiste de flujos piroclásticos de composición riolítica que muestra varios horizontes. Del nivel superior, más soldado, se ha obtenido desde la época colonial la cantera para construir los edificios más importantes de la ciudad de Morelia. Se compone de una brecha basal o coignimbrita constituida de material juvenil y de fragmentos líticos de andesita del Mioceno. Sucesivamente, se observan unidades de flujo piroclástico de color claro con bloques y lapilli de pómez alargados. Sobre esta última se encuentra un flujo piroclástico más rico en fragmentos líticos y más deleznable que el anterior. El espesor de la secuencia varía de unos metros a más de 200 m Demant (1981) obtuvo una fecha de 18 Ma para esta secuencia

y Ferrari *et al.* (1994), Garduño y Gutiérrez (1992) y Pasquare *et al.* (1992), consideran al conjunto como del Moceno. La cima de la secuencia está formada por una ignimbrita soldada de color rosa con grandes fiammes de pómez, y es este nivel el que controla la morfología de la zona de Morelia y del que se obtuvo la materia prima con la que se construyó el centro histórico.

SECUENCIA VOLCÁNICA DEL PUNHUATO

Esta secuencia de rocas volcánicas está constituida por derrames de composición andesítica y dacítica asociados con domos. Este complejo volcánico presenta una estructura en herradura que evidencia que hubo una gran explosión lateral. Los productos piroclásticos de este complejo forman un abanico que se observa en la parte oriental de la ciudad. Su edad no se conoce, pero se podría ubicar en el Mioceno, ya que subyace a los sedimentos lacustres del Mioceno-Plioceno (Istrade, 1996).

SECUENCIA LACUSTRE

Esta secuencia aflora en la parte sur de Morelia. En los pozos de este sector se han cortado espesores hasta de 40 metros de depósitos fluvio-lacustres. A través del análisis microscópico detallado de los sedimentos lacustres se observaron algas de caparazón silíceo (diatomeas) que testimonian ambientes lacustres con tirantes de agua muy bajos. La columna estratigráfica de la secuencia en el sector norte de Morelia muestra un basamento volcánico, alternancia de arenas, gravas y limos. El conjunto está coronado por un depósito piroclástico de caída aérea que fue denominado Alegría; dicho depósito puso fin a la antigua zona lacustre de Morelia (Israde y Garduño, 1999). Hacia el sur, la secuencia se adelgaza, pero conserva su aspecto granular de tipo sacaroides. Culmina hacia arriba y lateralmente en limos de color café que están cubiertos por depósitos volcánicos de caída aérea. La secuencia lacustre presenta su más completa exposición en la región de Charo donde los fechamientos radiométricos en productos volcánicos le asignan una edad Mioceno superior a Plioceno Superior (Garduño *et al.*, 1997). Sin embargo, los restos de un proboscideo encontrados en las excavaciones del IMSS permiten inferir que esta secuencia lacustre puede extenderse hasta el Pleistoceno (Israde *et al.*, 1992; Israde, 1996).

VULCANISMO MONOGENÉTICO

La unidad estratigráfica más reciente de la región de Morelia corresponde a rocas asociadas con vulcanismo monogenético. Se trata de lavas de composición basáltico andesíticas y basálticas que provienen de los volcanes del Quinceo y Las Tetillas. Este último, por su morfología y sus relaciones estratigráficas, es el más joven. Cabe mencionar que lavas de estos edificios volcánicos contienen impresiones de mazorcas de maíz (Martínez y Hobson, 1907) lo que evidencia que tuvieron actividad histórica. Si consideramos que la falla La Colina (Figura 1) y la de Tarímbaro cortan a estas lavas entonces podemos concluir que se trata de fallas activas.

MONITOREO DEL MOVIMIENTO

Desde 1982 a la fecha se ha monitoreado el hundimiento sufrido en distintas áreas de Morelia y las fallas a las que se asocia. El desnivel total actual es de 80 cm en la Falla de La Colina (Figura 3). Se puede observar de la Figura 4 que la velocidad de hundimiento no ha sido constante durante este tiempo. Antes de 1983 sólo se registraron fracturas en las calles y obras civiles, sin llegar a presentar movimiento vertical. De 1983 a 1987 (4 años) se observa un desnivel de 20 cm, mientras que de 1987 a 1993 (6 años) fue de 10 cm; de 1993 a 1996 (3 años) es de 10 cm y de 1996 a 1998 (2 años) de 40 cm. Lo anterior indica que en las fallas geológicas asociadas a fluencia hay ciertos periodos críticos en los que se acentúa el hundimiento continuo asísmico. Destacan los periodos 1983 y 1987 y 1997-1998. La diferencia entre estos dos periodos se debe a que el

primero se lleva a cabo en un lapso de tiempo de cuatro años mientras que el segundo ocurre en tan sólo unos meses (noviembre a marzo).

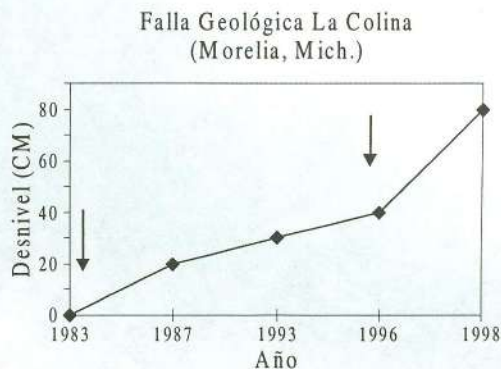


Figura 4. Gráfica del monitoreo de hundimiento de las obras civiles donde se notan varios quiebres y que ellos están relacionados a periodos críticos.

El movimiento durante el periodo 1983 - 1987 posiblemente se acentuó por el sismo de 1985, dejando ver que no se trataba de un fenómeno superficial natural, sino de una falla normal más profunda, cuyos efectos provocaron que a finales de la década de los 80 se demolieran más de 5 casas dúplex del INFONAVIT La Colina. En 1988 algunos medios de difusión pública dieron a conocer el problema de las fallas geológicas en Morelia, Santa Ana Maya y Tarímbaro; en esas notas de divulgación se advertía que toda obra civil que se construyera hacia el surponiente de la ciudad de Morelia debería tomar en cuenta la presencia de la falla (La Voz de Michoacán, 30 de octubre de 1988). A pesar de ello se construyeron las colonias López Mateos, Las Águilas, Agua Clara e INFONAVIT Manantiales. En 1998, vistos los daños en casas y edificios, más de 40 viviendas tuvieron que ser desalojadas.

También durante este primer periodo crítico (1983-1984) las instalaciones del hospital del Seguro Social sufrieron grandes daños, destacando los del área de consulta externa y el de gineco-obstetricia, así como la fábrica de aceites de Tron Hermanos (Figura 3).

En el último periodo crítico 1997-1998 (octubre de 1998) se manifestó una crisis que formó una zona de colapso particularmente evidente en la avenida Héroes de Nocupétaro, que agudizó la deformación en el edificio de gineco-obstetricia del IMSS y además se dañaron varias casas de la colonia Industrial. En la misma zona, la gasolinera La Colonial sufrió más daños de los ya presentados en la década de los 80 y mediados de los 90, creció hacia el NE la franja de hundimiento, así como su zona de influencia más 50 m. Después de esta crisis se identifican los siguientes segmentos: IMSS, Central Camionera y colonia Industrial. La geometría de estos segmentos parece indicar que su formación se debe a movimientos rotacionales que se llevan a cabo en la secuencia fluvio-lacustre (Figura 2).

Es importante resaltar de la Figura 4 que el movimiento en la Falla La Colina ha sido constante en el período de 15 años de observación.

ANÁLISIS DE LOS DATOS METEOROLÓGICOS Y PIEZOMÉTRICOS

El clima de la región es templado húmedo con verano fresco e incluye las regiones más altas (el más húmedo de los subhúmedos), las zonas entre las montañas y la cuenca (intermedio de los subhúmedos) y la porción del valle (el más seco de los subhúmedos).

Al analizar la gráfica de temperaturas medias en Morelia entre 1976 y 1998 (Figura 5a) y analizando los datos del clima de Antaramian-Harutunián *et al.* (1993) y Antaramian y Múzquiz (1997), se encontró que la temperatura muestra una tendencia a incrementarse (Figuras 5a, b y c), teniéndose que la mínima en 1977 fue de 17.1°C y la máxima en 1998 fue de 19°C. La precipitación media anual ha fluctuado de 1050 mm a 550 mm en el período de 1976 a 1997 y la evaporación de 2200 mm hasta 1550 mm en el período de 1978 a 1997 (Figuras 5b y c).

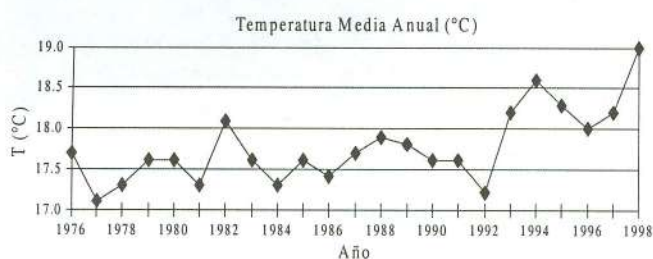


Figura 5a. Gráfica de temperatura Media Anual (°C)/tiempo en la ciudad de Morelia.

Se pueden observar en las curvas de temperatura, precipitación y evaporación algunos picos y valles, como el del período de 1982-1983. En 1982 la temperatura tuvo un importante incremento con respecto al año anterior y la evaporación, por consiguiente, se incrementó (Figura 5c) y la precipitación disminuyó considerablemente en ese mismo año (Figura 5b).

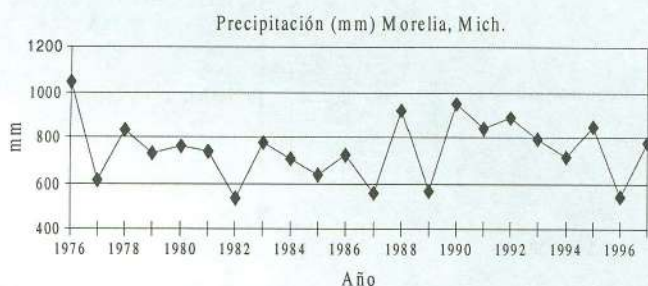


Figura 5b. Gráfica de Precipitación contra tiempo de la zona de Morelia.



Figura 5c. Gráfica de evaporación contra tiempo de la ciudad de Morelia.

Por otro lado, la curva de piezometría de uno de los pozos en la ciudad de Morelia presenta el inicio de un abatimiento de casi 15 m en 8 años (Figura 6). Sabemos que la disminución de la presión de poro provocada por la poca lluvia, alta evaporación en la región y la constante extracción de agua de los pozos, provoca que el suelo sufra una deformación continua debido a la gravedad. La Figura 4 muestra que desde 1983 comienza a haber hundimiento en la Falla de La Colina con una media de velocidad de 5 cm por año. Al compararla con la Figura 5a, se observa que ambos períodos coinciden con un quiebre de las curvas, tanto del clima como del comportamiento del acuífero de la ciudad de Morelia.

En las gráficas de la Figura 6, del registro de algunos niveles estáticos de pozos en la ciudad de Morelia, podemos observar dos aspectos fundamentales: el primero es que existe un acuífero superficial localizado entre 2 y 20 m y que es el que ha tenido abatimientos más drásticos y donde se encuentran los sedimentos más compactados; por otro lado, se observa un acuífero superior a los 20 metros de profundidad con sedimentos no totalmente compactados, que tiene un comportamiento más estable, es decir, que no se abate en la forma drástica del acuífero superficial. En la misma Figura 6 se manifiesta la misma crisis de 1985 donde nuevamente la pendiente de la curva aumenta, indicándonos que la velocidad de abatimiento es mayor, coincidiendo con el comportamiento de las curvas de temperatura y precipitación.

No se cuenta con datos actualizados de piezometría en pozos; sin embargo, la curva de hundimientos nos indica que en 1996 se inicia otro período de crisis, que coincide con un decremento en la precipitación y un incremento en la temperatura ambiente en ese mismo año. En octubre de 1997, en la zona de la colonia Industrial (Figura 3) se tuvieron hundimientos en el terreno de hasta 15 cm, provocando daños muy severos en las estructuras civiles, de manera que algunas viviendas se tuvieron que desalojar por la magnitud de los daños y ahora están a punto de ser demolidas. Por otro lado los datos de los pozos de agua cercanos al IMSS (Figura 3) muestran que a mediados de los 70 los niveles estáticos se encontraban a 5 o 6 m de profundidad y en la actualidad los pozos registran niveles estáticos por debajo de los 50 m.

Sin duda alguna podemos decir que el hundimiento asociado con fallas geológicas se agudiza por las fuertes variaciones en el clima, así como también por la

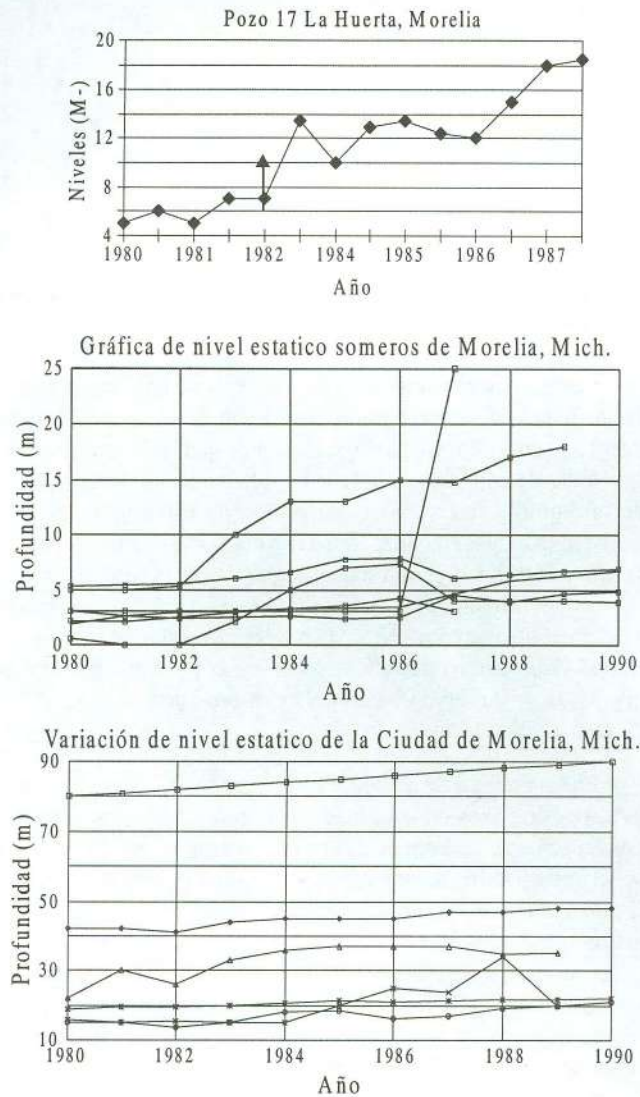


Figura 6. Registro de algunos niveles estaticos de pozos de agua de la Ciudad de Morelia.

sobreexplotación de los acuíferos, en particular los eventos que se han presentado en los últimos años (crisis del 1983-1987 y la iniciada en 1997 que aún no termina).

FENÓMENO DE HUNDIMIENTO CONTINUO ASÍSMICO (FLUENCIA)

Los colapsos, hundimientos o subsidencia en las manchas urbanas causan grandes daños en las obras civiles. Este fenómeno se genera no sólo debido a la explotación excesiva de un acuífero, también está en función del clima, de las técnicas de explotación y del fenómeno de compactación y deformación por movimientos gravitacionales que se generan en el subsuelo de terrenos normalmente constituidos por sedimentos fluvio-lacustres pobremente compactados (Figura 6).

Se puede considerar que si en un suelo se mantiene el esfuerzo externo F (gravedad) aplicado en forma constante, cualquier modificación en la presión de poro (P) podría llevar

a un estado de ruptura (falla) al material, o bien incrementar los efectos de deformación continua en el tiempo. Cuando la presión de poro en un material es grande, la falla que se produciría estaría asociada con poca deformación, en un medio frágil. Por el contrario, en el caso de que la presión de poro sea baja, la falla se desarrollaría en un medio dúctil, por lo que habría mucha deformación en el material.

En el caso de la ciudad de Morelia, los sedimentos lacustres mostrados en la Figura 7, en períodos de lluvia excepcionales (fenómenos de El Niño de 1982 y 1996), la presión de poro (p) se incrementa, provocando que la presión efectiva (σ) entre los granos disminuya, ya que está dada por la presión de confinamiento (F , esfuerzo externo aplicado, gravedad) menos la presión de poro (P). Si la presión de poro se incrementa, la fricción entre los granos disminuye y el proceso de fallamiento se facilita (Badgley, 1965). En función del diagrama de Mohr, el fenómeno se puede expresar de la siguiente manera (Figura 8), F_1 y F_3 son los esfuerzos de confinamiento, siendo soportados por los esfuerzos residuales en el suelo σ_1 y σ_3 más la presión de poro P .

$$F_1 = \sigma_1 + P; \quad \sigma_1 = F_1 - P \quad (\text{ec. 1})$$

$$F_3 = \sigma_3 + P; \quad \sigma_3 = F_3 - P \quad (\text{ec. 2})$$

Como se puede observar, si la presión de poro se incrementa, los esfuerzos σ_1 y σ_3 disminuyen provocando que el círculo de Mohr se recorra hacia la izquierda, ocasionando que en algunos casos llegue a tocar la envolvente de falla. En estas condiciones el estrato presentaría una falla frágil.

Por otro lado, el estrato inmediato inferior (sedimentos lacustres), como se encuentra poco saturado debido a la explotación de este acuífero, la presión de poro será muy

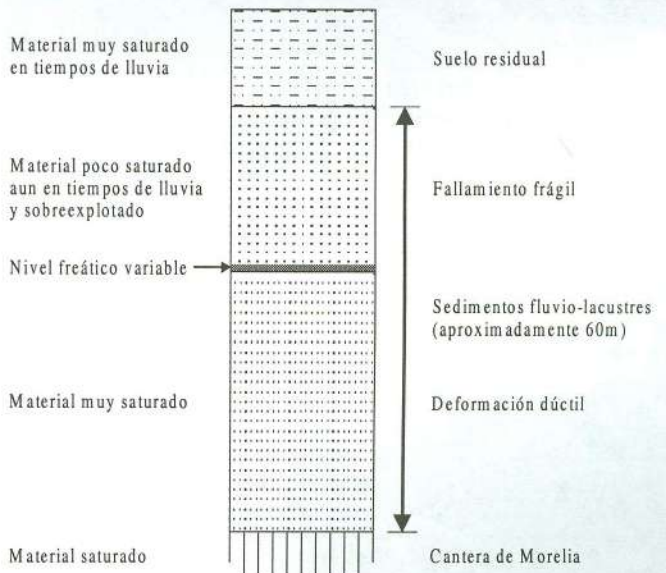


Figura 7. Columna litológica de Morelia, obtenida en base a datos geotécnicos de subsuelo.

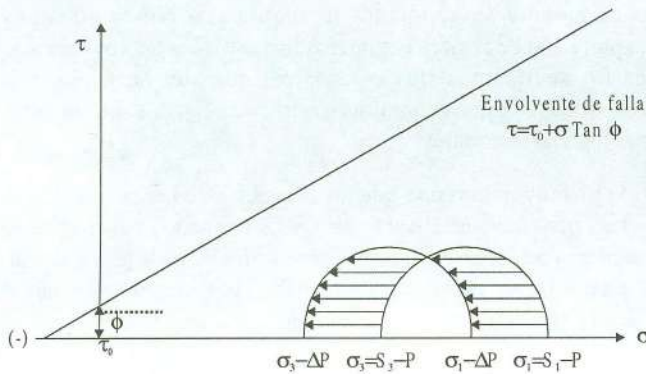


Figura 8. Diagrama de Mohr que representa la influencia de un incremento en la presión de poro en la falla del material.

pequeña, comportándose como un material muy dúctil y presentando por lo tanto deformación continua. Esto es debido a que los esfuerzos residuales del suelo se ven incrementados de acuerdo con las ecuaciones 1 y 2.

En la Figura 8 podemos separar dos tipos de secuencias sedimentarias: a) una superior, constituida por suelos y sedimentos fluvio-lacustres, que de acuerdo a las características geomecánicas obtenidas a partir de los sondeos, son sedimentos ya bien consolidados; b) por debajo de ellos se observa una secuencia fluvio-lacustre con unidades sedimentarias que aún no han sido compactadas en su totalidad.

Al analizar la Figura 7 podemos ver que cuando se tienen períodos de lluvia excepcionales (fenómenos de El Niño), el peso del estrato superior (suelos residuales y sedimentos fluvio-lacustres) aumenta, ocasionando que la secuencia fluvio-lacustre inferior que se encuentra poco saturada sufra deformación continua con mayor rapidez. Lo anterior se puede constatar en la Figura 9. Las pendientes en la curva se incrementan inmediatamente después de la aparición de un nuevo fenómeno de El Niño y sobre todo en períodos de máxima sequía.

Por otro lado en las zonas críticas (brincos de la falla) como es el caso de la Colonia Industrial, se pueden presentar fallas del suelo residual por el incremento de la presión de poro, ocasionando daños muy severos en las estructuras, al grado de tener que desalojarse las viviendas (noviembre de 1997).

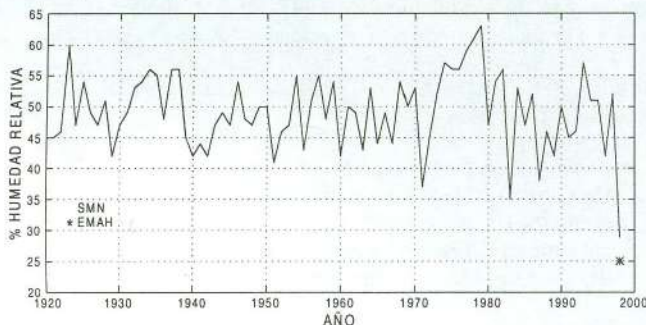


Figura 9. Gráfica de los principales Niños. Valores promedio mensuales para el mes de febrero desde 1921 hasta 1998 (Zavala et al., 1998).

DISCUSIÓN

Los factores que se han mencionado para explicar los fenómenos de fluencia (creep) que afectan a las zonas urbanas son de tres tipos: a) los que se refieren a la influencia antrópica de sobreexplotación de los acuíferos, b) los que se refieren a los efectos de arcillas expansivas y c) los estructurales relacionados a deformación continua y fallas geológicas. Este último se concibe como un fenómeno de deformación lento, paulatino y de tipo asísmico.

En los últimos cinco años se inició la discusión y la investigación sobre el papel tan importante que han jugado los fenómenos de El Niño y La Niña en el mundo. Sus efectos son grandes debido, por un lado a los períodos de abundantes precipitaciones (El Niño) y por otro a los períodos de sequía (La Niña). En la Figura 9 se pueden apreciar cuales han sido los eventos de El Niño más importantes en el período de 1965 a 1997, destacando los de 1982 y 1997.

Los períodos críticos más relevantes de fenómenos de fluencia asociados a las fallas geológicas han ocurrido durante 1983-1987 y 1997-1998. Como se ha visto, los fenómenos de El Niño y La Niña más importantes en la historia corresponden a esos períodos, es decir, que los efectos climáticos provocaron una mayor demanda de agua, haciendo cambiar las propiedades mecánicas de los primeros metros de sedimentos lacustres, ocasionando un comportamiento que ha generado el proceso de fluencia (La Niña). También se observa que el proceso es de deformación continua, agudizándose en los períodos de sequía (La Niña), aunque también en el período de lluvias abundantes se observa el movimiento vertical lento. El período crítico que inició en 1983 duró cuatro años. A partir de 1997 se inició otro período crítico cuya duración podría ser muy semejante al de 1983-1987, es decir que los problemas de hundimiento del suelo podrían ser muy importantes en los próximos dos o tres años. Otras ciudades en donde se observa este fenómeno podrían presentar desniveles de más de 1 metro, afectando en gran medida a las obras civiles, como es el caso de Celaya y Abasolo, Guanajuato.

Los problemas de fluencia asociados con fallas geológicas están afectando a varias ciudades del centro de México. Por lo general éstas están localizadas en antiguas depresiones lacustres, como en los casos de la Ciudad de México, Toluca, Querétaro, Celaya (Trujillo-Candelaria, 1985 y 1991), San Guillermo, Abasolo, Silao, en Guanajuato; Morelia, Tarímbaro y Santa Ana Maya, en Michoacán. Otra característica importante de ellas es que el fallamiento regional controla la geometría de las zonas de hundimientos debido a la explotación del acuífero, aspecto que nos podría indicar la importancia que debe tener el buen diseño de los pozos para la explotación de los acuíferos. Generalmente los pozos tienen un tubo ranurado desde su inicio hasta los 200 m de profundidad para extraer agua de acuíferos muy superficiales. Con esta acción se afecta la presión de poro de los sedimentos lacustres y en ellos se va a manifestar el proceso de hundimiento.

Se ha manejado que es la sobreexplotación de los acuíferos la que da lugar a la formación de zonas colapsadas (Trujillo Candelaria, 1991); sin embargo, consideramos que los movimientos de fluencia también están ligados con los fenómenos climáticos y con las técnicas de diseño de pozos y la forma de explotación de los acuíferos. Podría evitarse la sobreexplotación evitando extraer agua de los estratos superficiales, es decir de los primeros 20 o 60 m. La explotación de acuíferos más profundos evitaría explotar aquellos que, por descuido y mala organización están ahora contaminados, no solo por material orgánico, sino también por metales pesados. En las Figuras 5a y 5b se pueden observar claramente que los acuíferos someros (5m) son los que mayor abatimiento han tenido, mientras que los acuíferos que están a 20 m o más sufren un abatimiento más moderado.

Muchos de los escenarios que involucran desastres naturales se quisieran borrar de la vida cotidiana. Sin embargo, son estos escenarios los que sin duda alguna nos permiten aprender para tener una mayor cultura en la prevención y mitigación de desastres naturales.

CONCLUSIONES

Con los datos presentados y su interpretación se muestra una correlación entre el comportamiento del clima y el fenómeno de fluencia asociado con fallas geológicas. En particular, los dos eventos mayores en la historia de El Niño han provocado los periodos más severos en los procesos de fluencia y que afectan a las obras civiles en zonas urbanas, sobresaliendo los de 1993 y los de 1997. Los meses más destacados en este proceso de hundimiento son los de poca lluvia (invierno-primavera), aunque en los periodos húmedos también se aprecia movimiento. En más de diez años se muestra que este fenómeno de hundimiento es continuo y asísmico, con periodos más acentuados después de un fenómeno El Niño, es decir, en el periodo frío-seco o ante la presencia de La Niña.

Al fenómeno El Niño con mucha lluvia le sigue un periodo de frío y de sequía (La Niña) que puede ser de varios años, como fue el caso de El Niño de 1982-1983, evento considerado hasta 1997 como el más grande en la historia. Al periodo de máxima precipitación le siguió un periodo de sequía que se manifestó con colapsamientos. Dicho fenómeno se presenta en todas las ciudades donde hay problemas de fallas normales y secuencias sedimentarias fluvio-lacustres o lacustres. Considerando los diferentes niveles en las fallas de Morelia, se puede concluir que existe una media de movimiento vertical de 4 a 5 cm anuales. En las ciudades de Celaya, Abasolo, Aguascalientes, Querétaro los desniveles llegan a ser de más de 2 m. En estas últimas ciudades el problema parece haber iniciado en 1972 (Niño de 1972-1973).

Los efectos de El Niño más grandes de la historia, que iniciaron en 1997 y que continuaron en 1998 aún no terminan, por lo que consideramos que los problemas graves podrían presentarse en los años futuros, es decir, en los años en que

seguramente se agudizará la sequía (La Niña) y será la explotación de acuíferos someros la que provocará los colapsos de los sedimentos fluvio-lacustres que aun no están bien consolidados y que geoméricamente están ligados con las fallas geológicas regionales.

Es muy importante que los proyectos de los nuevos pozos y los pozos que puedan ser corregidos evitando extraer agua de acuíferos someros, es decir inferiores a los 40 m de profundidad. La explotación de los acuíferos debe ser realizada estudiando bien la geometría y las rocas donde se encuentran.

También se debe de considerar que a la falla de La Paloma están asociados varios cuerpos inestables, ahora ya urbanizados. Estos cuerpos inestables durante un periodo de El Niño como el de 1998 pueden ser nuevamente desestabilizados. O bien si se considera la combinación de un evento meteorológico importante y un sismo generado por la fallas sísmicamente activas de Tarímbaro, de La Colina o de la Paloma, podría presentarse un gran deslizamiento de material de rocas volcánicas.

AGRADECIMIENTOS

Llegar a concluir un trabajo de esta naturaleza ha requerido del apoyo de innumerables colaboradores tanto de la UMSNH como del IPN, a todos ellos damos las gracias. Parte del soporte financiero de este trabajo ha sido del fideicomiso SIMORELOS y CONACYT. También damos las gracias a L. Delgado-Argote y a un revisor anónimo por sus correcciones y sugerencias a este manuscrito. Todo el soporte financiero de este proyecto no podría ser tan bien ejercido sin la ayuda de la contadora Irma Tzintzun, quien con su grupo logran dar a la investigación empujes formidables.

REFERENCIAS

- Antaramian-Harutunián, E., Ortega, A., J.M. y Ríos Frías, L.L., 1993. Crecimiento urbano de Morelia y características actuales del terreno utilizado. UMSNH, Revista Trimestral de Ciencia, Arte y Cultura, N.10, p. 48-59
- Antaramian, E. y Múzquiz, E., 1997. Recent climate trends in Michoacan. Quaternary International, Vol. 43/44, p. 33-42.
- Badgley, P. C. 1965. Structural and tectonic principles. Harper and Row, LTD, p. 31-49.
- Carrara, E. y Lanza, D., 1997. La "piedra cantera" nella zona di Morelia (Michoacán, Messico); caratteri geologici e petrografici, caratteristiche fisico-meccaniche ed impiego a scopo di restauro monumentale. Tesis de Laurea in Scienza Geologiche. Università degli studi di Milano, Italia. 138 pp.
- Demant, A., 1981. L'Axe Néo-volcanique Transmexicain- étude volcanologique et pétrographique; signification géodynamique: Marseille, Université du Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille. PhD. 259 pp.

- Ferrari, L., Garduño, V.H., Pasquare, G. and Tibaldi, A., 1994. Volcanic and tectonic evolution of the central Mexico: Oligocene to Present. *Geofísica Internacional*, Vol. 33, Num. 1, p 91-105.
- Garduño, V.H. y Gutierrez, A., 1992. Magmatismo, hiatus y tectónismo de la Sierra Madre Occidental y del Cinturón Volcánico Mexicano. *Geofísica Internacional*, V. 31, p.417-429.
- Garduño, M.V.H. y Escamilla, T.R., 1996. Revisión histórica de la sismicidad en Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita*, vol. 11, p. 57-81.
- Garduño, V.H., Israde, I., Francalanci, L., Carranza, O., Chiesa, S., Corona, P., and Arreygue, E., 1997. Sedimentology, volcanism and tectonics of the southern margin of the lacustrine basins of Maravatio and Cuitzeo, Michoacan, Mexico., IAVCEI General Assambly Puerto Vallarta Mexico, p 23.
- Garduño M., V.H., Arreygue, R.E., Chiesa, S., Israde A., I., Rodríguez T., G.M. y Ayala G., M., 1998. Las fallas geológicas y sísmicas de la Ciudad de Morelia y su influencia en la planificación del territorio, *Ingeniería Civil*, Vol. 1, No. 5 p. 3-12.
- Holzen, T.L., 1984. Ground failure induced by ground-water withdrawal from unconsolidated sediment. *Man-Induced Land subsiden. Geological Society of America Reviews in Engenieering Geology*, vol.VI, p. 67-105.
- Israde, I., Garduño, V.H. y Ferrari, M., 1992. El origen transtensivo de la depresión del lago de Cuitzeo, Mexico. *Actas de las Sesiones Científicas, Congreso Latinoamericano de Geología, Salamanca, España*. 4, p.127-131.
- Israde, I., 1996. *Bacini lacustri del settore centrale dell'Arco Vulcanico Messicano: Stratigrafia ed evoluzione sedimentaria basata sulle diatomee*. PhD Thesis, Universita degli Studi di Milano, Italia, 254 pp.
- Israde-Alcántara, I. y Garduño-Monroy, V.H., 1999. Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting. The evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin systeme (Central wester Michoacan, Mexico). *Palaecogeography, Palaoclimatology, Palaecology* (in press).
- Lermo, J., Nieto-Obregón, J. y Zermeño, M., 1996. Fault and fractures in the valley of Aguascalientes: Preliminary microzonification. *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No. 1651, Elsevier Science Ltd.
- Martínez, S.M. and Hobson, B., 1907. Restos de plantas en basaltos. *Boletín de la Sociedad Michoacana de Geología. y Estadística*, Tomo. III, 15, p. 238-240.
- Pasquare, G., Ferrari, L., Garduño, V.H., Tibaldi, A. and Vezzoli L., 1991. Geology of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacán. *Geological Society of America Map and Chart series, MCH072*, 22 pp.
- Silva-Mora, L., 1979. *Contribution a la connaissance de l'Axe Volcanique Transmexicain- étude géologique et petrologique des laves du Michoacán oriental*: Marseille, Univerité du Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille, tesis de doctor ingeniero, 230 pp. (inédita).
- Silva-Mora, L., 1995. Hoja Morelia 14Q-g(2) 1:100000, Resumen de la Geología de la Hoja Morelia, estados de Michoacán y Guanajuato, Instituto de Geología, UNAM.
- Suter, M., Carrillo-Martínez, M. and Quintero-Legorreta, O., 1996. Macroseismic study of shallow earthquakes in the Central and Eastern parts of the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico. *Bulletin Seismological Society America*, Vol. 86, No. 6, p. 1952-1963.
- Trujillo-Candelaria, J.A. 1985, Subsistencia de terrenos en la ciudad de Celaya, Gto., *Sociedad Mexicana de Suelos y Asociación Geohidrológica Mexicana, Reunión sobre Asentamientos Regionales, México, D.F.*
- Trujillo Candelaria, J.A., 1991. Fallamiento de terrenos por efecto de la sobreexplotación de acuíferos en Celaya, Guanajuato, México. *XXIII Congreso de Asociación de Ingenieros Hidráulicos, Sobreexplotación de Acuíferos, España*. p. 175-178.
- Zavala, J., Romero, R. y Romero, F., 1998. Efectos de El Niño en el área metropolitana de la Cd. de México, *Geos*, V. 18-1, p. 31-32.

CAMBIOS DE GRAVEDAD INDUCIDOS EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE CERRO PRIETO ENTRE 1978 Y 1997

Jorge Ramírez-Hernández^{1,2} y Juan M. Cobo-Rivera¹

¹ Instituto de Ingeniería, UABC

² Estancia sabática en el Depto. de Geofísica Aplicada, CICESE

RESUMEN

Se comparan los cambios en la gravedad observada (corregida por subsidencia) ocurridos entre 1978 y 1997 en el Campo Geotérmico Cerro Prieto (CGCP), relacionados con la deficiencia de masa del yacimiento después de 25 años de explotación y una extracción que asciende a 1,800 millones de toneladas métricas de fluido. Se observa una deficiencia de masa generalizada en todo el CGCP formado por tres subzonas. Una de ellas, acotada en su margen oeste por la falla Cerro Prieto, está relacionada con el estrato productor alfa ($>600 \pm 200 \mu\text{Gal}$); otra se asocia al estrato productor beta en el bloque levantado de la falla H ($>700 \pm 200 \mu\text{Gal}$) cuyo límite al E se correlaciona con la zona de recarga de este estrato y en la tercera zona, se localiza el mismo estrato productor beta, pero en el flanco SE de la falla, donde se observan diferencias mayores a los $1000 \pm 200 \mu\text{Gal}$. Se identifica una zona con incrementos de gravedad asociada a la zona de recarga del estrato alfa a través de la falla L y posiblemente con la inyección de salmuera residual en CPI.

INTRODUCCIÓN

Las mediciones gravimétricas de precisión repetitivas han demostrado ser de utilidad para evaluar cambios temporales de gravedad de hasta $5\text{-}10 \mu\text{Gal}$ ($1 \mu\text{Gal} = 0.01 \mu\text{N/kg}$). Su aplicación en los últimos años ha permitido identificar cambios de masa producidos por la explotación-recarga-inyección en diversos campos geotérmicos (Allis y Hunt, 1986; Ehara, *et al.*, 1998; Sugihara y Ishido, 1998). La principal ventaja de utilizar datos de gravedad para evaluar cambios hidrológicos en los sistemas geotérmicos, es que éstos reflejan cambios del sistema geotérmico en su conjunto y que no están influenciados por condiciones locales, tal como sucede con las mediciones de temperatura y presión dentro del pozo, que son útiles para evaluar cambios en el yacimiento. (Allis y Hunt, 1986).

El Campo Geotérmico Cerro Prieto (CGCP), uno de los más grandes del mundo, está ubicado en el Valle de Mexicali, Baja California, en la porción meridional de la Depresión Salton (Figura 1). El yacimiento se encuentra entre 1200 y 2300 m de profundidad, es del tipo agua saturado ($T > 150^\circ\text{C}$) y está contenido en estratos de areniscas y arcillas del Cenozoico del paso delta del Río Colorado. La Depresión Salton contiene varios centros de dispersión activos que se asocian a un adelgazamiento de la corteza que está controlado por un régimen transtensivo del sistema transforme San Andrés - Golfo de California. (Biehler *et al.*, 1964), Las fallas de desplazamiento lateral derecho que controlan el centro de dispersión en Cerro Prieto son la Falla Imperial al oriente y la Falla Cerro Prieto (Lomnitz *et al.*, 1970; Elders *et al.*, 1972). En este centro de dispersión se localiza la fuente de calor del yacimiento (Elders *et al.*, 1984). Transversal al sistema de fallas transformes se ha identificado un sistema de fallas normales conocido como Volcano entre las que destacan las fallas normales L y H (Figura 1).

El CGCP inició su explotación económica en 1973, con una capacidad de 75 MW en la central Cerro Prieto Uno (CPI), que fue ampliada a 150 MW en 1979, con una extracción de fluido geotérmico de 22.4 a 38.1 millones de toneladas anuales. Para 1981 la capacidad instalada aumentó a 180 MW. En enero de 1986 las centrales Cerro Prieto Dos y Tres (CPII y CPIII) iniciaron la generación de energía eléctrica con 110 MW cada una. Más tarde, la CPII en septiembre de 1986 y la CPIII en junio de 1987, ampliaron su capacidad hasta 620 MW, que es la que se mantiene hasta ahora. Se ha iniciado la construcción de CPIV al NE de CPIII, con 4 plantas de 25 MW adicionales que entrarán en operación en el año 2000 (Oropeza y Wong, 1998). La generación de esta energía ha requerido la extracción de 1800 millones de toneladas de fluido entre 1973 y 1997, con sólo cerca de 140 millones de toneladas inyectadas de nuevo al reservorio a partir de 1989 (Truesdell *et al.*, 1998). La zona que corresponde a la CPI explota principalmente el estrato productor más somero (alfa), abarcando desde la vía del ferrocarril hasta la Falla Cerro Prieto, mientras que las zonas que corresponden a CPII y CPIII explotan principalmente el estrato productor beta, desde la vía del ferrocarril hasta el borde oriental del CGCP (Figura 1).

EVOLUCIÓN DEL RESERVORIO BAJO EXPLOTACIÓN

El modelo hidrogeológico del yacimiento geotérmico fue descrito por Halfman *et al.* (1984, 1986) quienes identifican tres estratos productores que, del más somero al más profundo, se denominan alfa, beta y gamma. De acuerdo con estos autores, antes de la explotación el yacimiento se alimentaba de fluidos que ascendían desde los estratos más profundos hacia los estratos superiores, a través de las fallas L y H, hasta alcanzar eventualmente la superficie o mezclarse con aguas

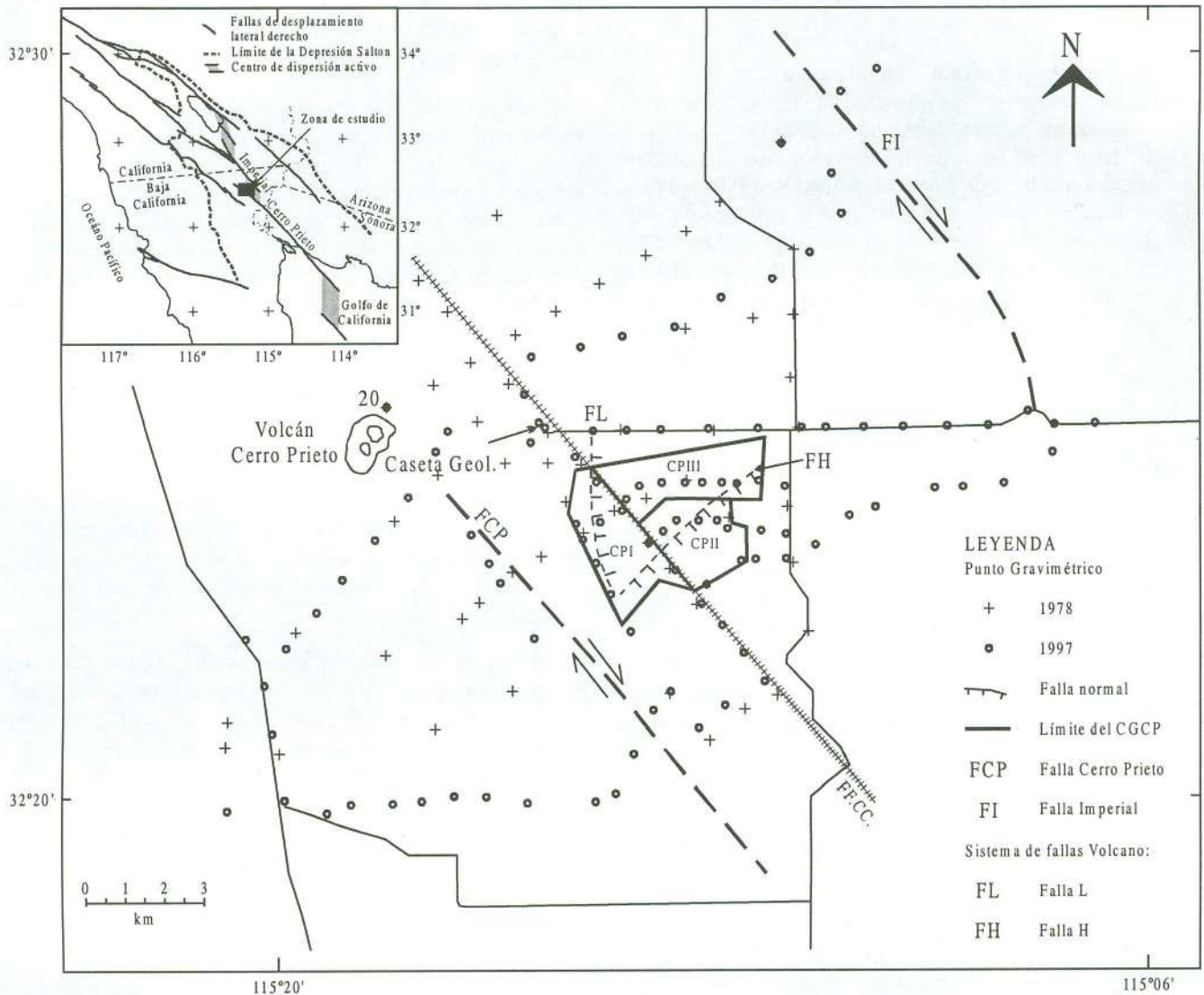


Figura 1. Localización de la zona de estudio. En el recuadro se muestra el marco tectónico de referencia, donde las zonas sombreadas corresponden a los centros de dispersión activos dentro de la depresión (modificada de Vázquez, 1998). En la figura se indica con cruces la posición de las estaciones gravimétricas de 1978 y con círculos la del estudio de 1997. La línea continua indica la extensión del CGCP dividido administrativamente en CPI, CPII y CPIII. Las fallas normales FL FH no tienen expresión superficial se identifican a partir de perforaciones (Halfman et al., 1987).

someras. Una vez iniciada la explotación el flujo se invierte y se inicia la recarga desde los estratos superiores, a través de esas mismas fallas hacia el yacimiento (Lippmann, 1991).

Truesdell *et al.* (1978), con base en los primeros estudios isotópicos del fluido geotérmico en CPI y estudios anteriores del agua del acuífero del Valle de Mexicali, sugieren que desde las primeras etapas de explotación del estrato productor alfa hubo recarga desde el borde occidental. Más tarde, Stallard *et al.* (1987), a partir del análisis de la evolución del oxígeno-18 y deuterio presente en el fluido geotérmico, entre 1977 a 1987, encontraron que existen zonas de recarga asociadas a la falla L desde estratos superiores.

Con base en evidencias geoquímicas, Truesdell *et al.* (1995), postulan que el flujo en el estrato productor beta está controlado por la falla H y que la respuesta del yacimiento es distinta en ambos flancos de la falla. En el bloque levantado, al NW de la falla, el estrato productor beta contenía fluido cercano al punto de ebullición antes de su explotación. Al iniciarse la extracción de fluido, se produjo una zona amplia de vapor debido al abatimiento de la presión y a la escasa recarga desde el SE. Por su parte, en el bloque caído al SE de la falla, el estrato beta antes de la explotación contenía fluido por debajo del punto de ebullición que, al iniciarse la explotación recibió agua fría de recarga desde el sur, lo que le permitió mantener la presión por arriba de 50 bars con respecto a la del estrato en el bloque levantado (Truesdell *et al.*, 1997).

SUBSIDENCIA EN EL CGCP

La subsidencia en el CGCP ha sido estudiada por diversos autores. Mediante nivelación diferencial de primer orden sobre una red de bancos de nivel distribuidos alrededor y dentro del CGCP, Lira (1998), reportó movimientos verticales descendentes máximos de hasta 0.1 m/año entre 1994 y 1997. En el mismo trabajo se menciona que la subsidencia más pronunciada es de 1.861 m entre las plantas geotérmicas CPI y CPII para el período de 1977 a 1997. Glowacka (1998) reportó que la velocidad media del movimiento vertical superficial de la Falla Imperial es de 0.95 m para el período de 1987 a 1997. Este valor es muy parecido al reportado por Lira (1998) como la velocidad de subsidencia del CGCP. Glowacka (1998) interpretó que los cambios de subsidencia dentro del CGCP podrían estar asociados al aumento en la explotación y que los sismos de Valle Imperial de 1979, Victoria de 1980, Cerro Prieto y Superstition Hills de 1987, entre otros, han sido disparadores de estos cambios.

ESTUDIOS GRAVIMÉTRICOS DE PRECISIÓN PREVIOS

Chase *et al.* (1978) iniciaron en 1978 el primer estudio de gravimetría de precisión en el CGCP, que repitieron Grannell *et al.* (1979, 1981a, 1981b, 1982) en 1979, 1979-80 y 1980-81, con el objeto de detectar variaciones gravimétricas temporales y espaciales asociadas con cambios en el yacimiento geotérmico por la extracción de fluido. Para obtener los valores de anomalía de Bouguer simple, se aplicaron correcciones de Aire Libre y Latitud, asignando una densidad de 2.67 g/cm³. No se hicieron correcciones topográficas debido al relieve suave de la zona, atribuyendo errores de hasta 1500 μ Gal en sitios cercanos a la Sierra Cucapá y de 20 μ Gal en estaciones situadas sobre los albardones de los canales de irrigación (Chase *et al.*, 1978). La supresión de la deriva mareológica se hizo de forma teórica, considerando el modelo propuesto por Longman (1959). Los valores de gravedad reportados están referidos a una base sobre roca firme en la Sierra Cucapá, (Estación 1, en la Figura 1 de Chase *et al.*, 1978).

Chase *et al.* (1978) confirmaron las interpretaciones de Velasco y Martínez (1963) y Fonseca y Razo (1979), al mostrar que el CGCP está ubicado cerca de la terminación sureste de un importante máximo local gravimétrico y que zonas de intenso gradiente al norte, sureste y suroeste de esta anomalía indican áreas de potente relleno deltáico y aluvial controladas posiblemente por fallas. Chase *et al.* (1978) notaron además que el sistema Volcano y el Volcán Cerro Prieto carecen de una expresión gravimétrica y que la abrupta terminación del máximo al sur del campo geotérmico, entre la planta CPI y el poblado Delta, es indicativa de una falla con orientación NE del sistema Volcano (Falla Pátzcuaro, no indicada en los mapas). Además, interpretaron el cambio de dirección de las

líneas de contorno, de noroeste a este-oeste, localizadas en la esquina noreste de la zona como el límite de un área de relleno sedimentario más profundo (Figura 3 de Chase *et al.*, 1978).

Grannell *et al.* (1979) reportaron cambios de gravedad de hasta 10 μ Gal entre 1978 y 1979, que atribuyeron a la falta de precisión del primer levantamiento, pero que también pudieron deberse al corto intervalo de tiempo entre las mediciones, a que hubo una recarga de igual magnitud a la explotación, o bien, a que la cobertura de datos no fue lo suficientemente densa, particularmente afuera de la zona de producción. Los mismos autores, en la tercera campaña de mediciones gravimétricas (1979-1980 y 1980-1981) alcanzaron un notable incremento en la precisión de los datos, con respecto a las campañas anteriores (± 10 μ Gal). Identificaron cambios gravimétricos significativos en sentido positivo (mayores a 20 μ Gal) con respecto a la campaña de 1979 asociados con la Falla Hidalgo (Figura 1 de Grannell *et al.*, 1981a). En el flanco oriental de la falla se observan los cambios en gravedad más intensos y por el flanco occidental son de menor magnitud y se ubican en la parte más antigua del CGCP, por lo que consideraron que la causa del aumento de gravedad se debe principalmente a la extracción de fluido.

El importante déficit de masa debido a la extracción del fluido, aunado al fenómeno de subsidencia, la presencia de una zona generalizada de vapor, la recarga de aguas frías, así como la inyección de fluido geotérmico desde la superficie, ha producido variaciones gravimétricas temporales y espaciales. El propósito de este trabajo es estimar la variación temporal y espacial de los valores de gravedad durante un período de 19 años comprendido entre 1979 y 1997 y analizar dichas variaciones en términos de subsidencia y procesos de remoción o aumento de masa en el yacimiento. La identificación de la ubicación espacial y temporal de los principales cambios gravimétricos permitirá inferir cambios en la dinámica del yacimiento producidos por la explotación y por la actividad tectónica regional.

MEDICIONES GRAVIMÉTRICAS DE 1997

Se realizaron mediciones de la aceleración de la gravedad en los 112 bancos de nivel de la red de nivelación de primer orden de la CFE y del CICESE que se muestran en la Figura 2 (González, 1994) con un gravímetro Scintrex modelo CG-3. La metodología de campo se realizó mediante circuitos, volviendo a la estación base intermedia en intervalos de tiempo menores a 3 horas, período de tiempo en que la deriva del instrumento se consideró lineal.

La nivelación diferencial de primer orden de los bancos de nivel se llevó a cabo durante febrero de 1997 y la campaña de mediciones gravimétricas de precisión en junio, julio, agosto, septiembre y octubre, durante jornadas nocturnas para evitar en lo posible el ruido ambiental y las variaciones bruscas de temperatura. Para poder comparar los resultados la

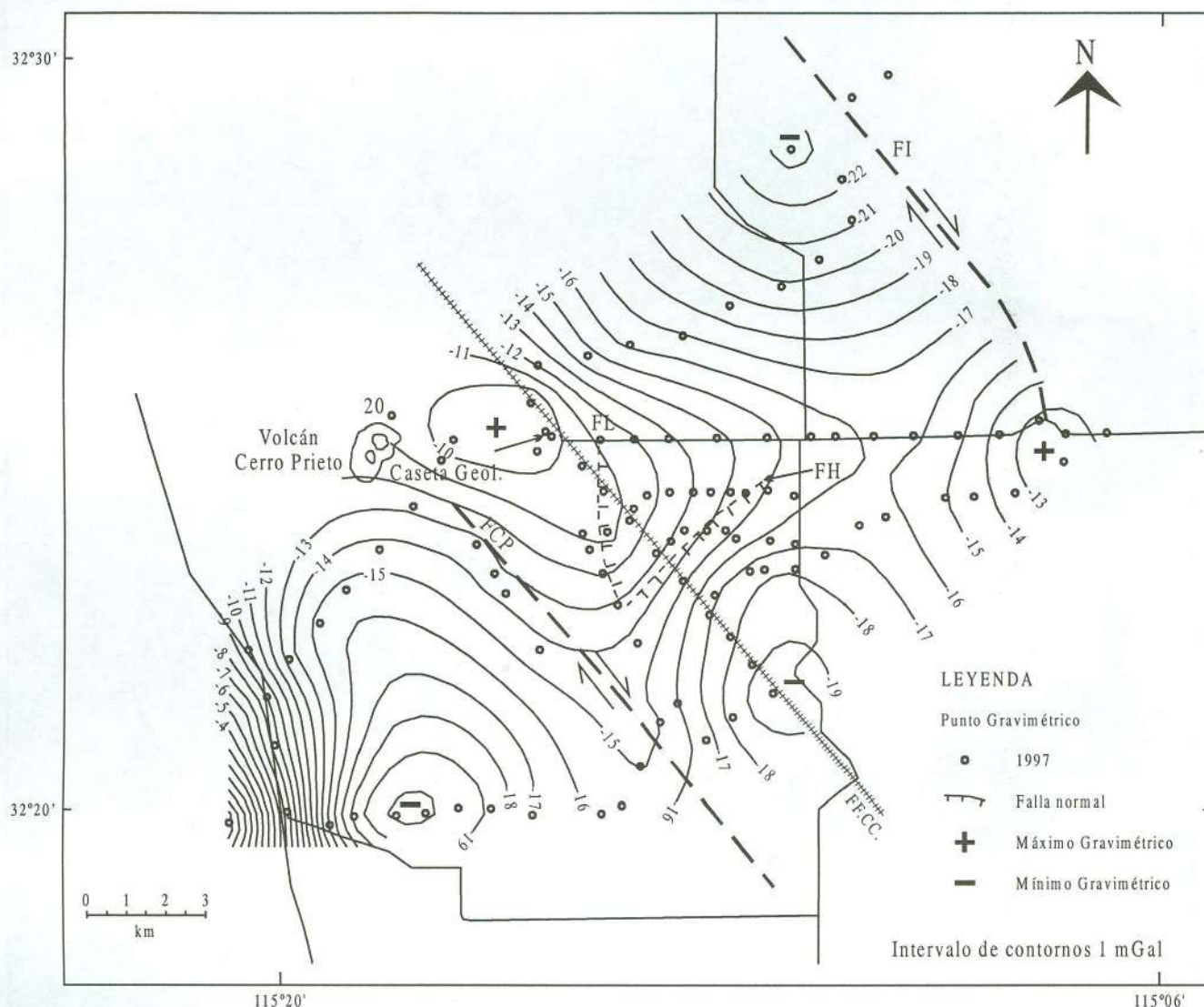


Figura 2. Configuración de la anomalía de Bouguer simple para 1997. Los valores son relativos a la estación No. 20 del estudio de 1978. El intervalo entre isolíneas es de 1 mGal.

reducción de datos hasta la anomalía de Bouguer simple se realizó siguiendo la metodología de Chase *et al.* (1978). Para la corrección por marea se utilizó el modelo propuesto por Longman (1959) y las constantes de Chase *et al.* (1978). Se consideró una densidad de 2.67 g/cm^3 para la corrección de Bouguer y la fórmula de gravedad teórica del elipsoide internacional de 1931 (Nettleton, 1979). Ambos estudios se ligaron haciendo relativas las mediciones a la estación No. 20 ubicada en la falda del Volcán Cerro Prieto, cuya posición sobre roca volcánica supone que ha sufrido menor subsidencia que las estaciones ubicadas sobre el relleno sedimentario del Valle de Mexicali.

ANÁLISIS DEL ERROR EN LA ESTIMACIÓN DE Δg_B

El número de mediciones tomadas en cada estación fue determinado por la ocurrencia e intensidad de vibraciones del terreno durante las mediciones que, en orden de mayor a menor intensidad, son producidas por la extracción de fluido geotérmico y el tráfico de vehículos y en menor medida, por la actividad sísmica. En sitios fuera del CGCP, con bajos niveles de vibraciones, se realizaron un mínimo de 93 mediciones; el promedio de mediciones en todos los sitios fue de 340 con un máximo de 1050 en aquellos con problemas de ruido ambiental. El criterio para suspender las mediciones en cada estación fue alcanzar un error estándar de la media (desviación estándar del muestreo entre la raíz cuadrada del número de muestras) cercano al predefinido de $5 \mu\text{Gal}$. El error

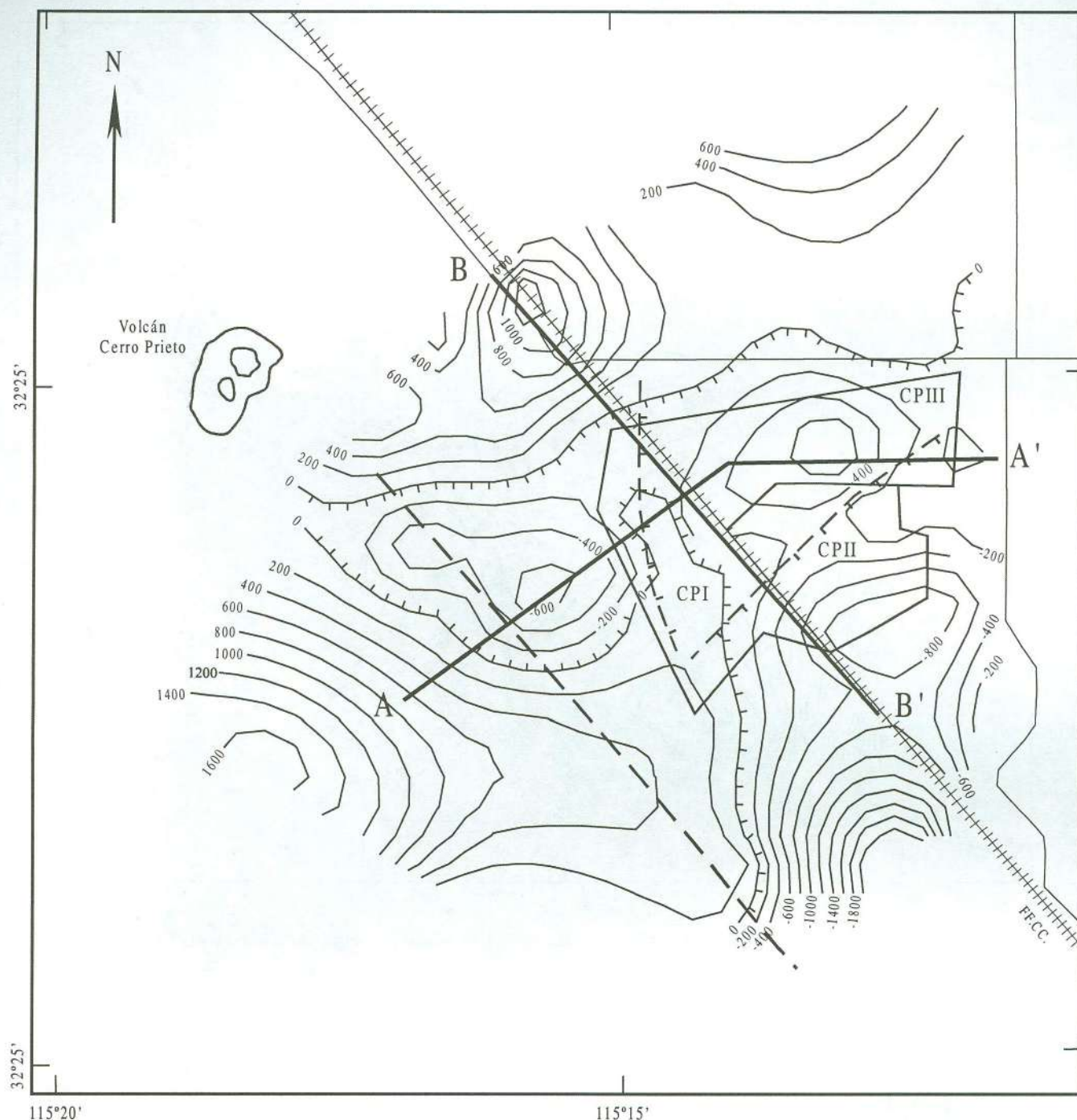


Figura 3. Diferencias en gravedad observada corregida para el período 1978-1997. El signo negativo implica disminución de la densidad. El intervalo de contornos es de $200 \mu\text{Gal}$. La posición de la Falla Cerro Prieto fue tomada de Fonseca (1982) mientras que las posiciones de las fallas L y H a las del techo del estrato productor beta, según Truesdell *et al.* (1995). Se indica la ubicación de los perfiles A-A' y B-B' de la Figura 4.

estándar de la media promedio para todo el levantamiento fue de $9 \mu\text{Gal}$, con un valor máximo de 39 y un mínimo de $5 \mu\text{Gal}$.

Únicamente se utilizaron estaciones indicadas con mojoneras o chapas de bronce en estructuras de canales perfectamente identificables, con posterioridad a la nivelación de 1er y 2o. orden, que implica errores de 3-5 mm y de 6-8

mm por kilómetro de longitud de cierre del transecto, respectivamente (Kissam, 1981). Considerando el error mayor de 8 mm por kilómetro y una longitud de cierre máxima de 25 km, se obtienen errores máximos de 0.04 m que corresponden por efecto de aire libre a $12.3 \mu\text{Gal}$ y a errores en la estimación de la corrección de Bouguer a $4.5 \mu\text{Gal}$,

considerando una densidad de 2.67 g/cm^3 . El error total por imprecisiones en la determinación de las alturas es de $16.8 \text{ } \mu\text{Gal}$.

El error en la ubicación de las estaciones tiene muy poca influencia en la determinación de la anomalía de Bouguer, siendo despreciable en un levantamiento topográfico de 1er. o 2o. orden pues se obtienen errores máximos del orden de 0.005 m . A la latitud del CGCP los errores de 1 m en dirección N-S (latitud) conllevan diferencias de 0.0005 segundos que implican diferencias de $0.7 \text{ } \mu\text{Gal}$ con respecto a la fórmula de gravedad teórica del elipsoide internacional de 1931 (Nettleton, 1979).

La comparación entre estudios se llevó a cabo sin considerar la corrección por efectos topográficos (anomalía de Bouguer simple), dado el escaso relieve topográfico en la zona de interés. En las estaciones ubicadas sobre los bordes de canal, con desniveles de 2 a 2.5 m cercanos a las estaciones, el error máximo es de $25 \text{ } \mu\text{Gal}$, suponiendo que se conserva esta diferencia en un radio de 16 m , según el esquema propuesto por Hammer (en Telford *et al.*, 1979). Este error es mayor ($1500 \text{ } \mu\text{Gal}$) en las estaciones cercanas a la Sierra Cucapá (Chase *et al.*, 1978).

El error asociado al enlace entre levantamientos está en función del cambio en elevación de la estación gravimétrica de enlace (estación No. 20 del estudio de 1978) ubicada sobre roca volcánica en la falda del Volcán Cerro Prieto. La subsidencia asociada al volcán puede suponerse de menor intensidad que la del relleno sedimentario en aproximadamente 0.001 m/año . En el período considerado esta subsidencia asciende a 0.019 m que, por efecto de aire libre, es de $5.8 \text{ } \mu\text{Gal}$ y por Bouguer, de $2.1 \text{ } \mu\text{Gal}$.

El cálculo de la anomalía de Bouguer simple es la suma algebraica de las correcciones a los distintos factores que afectan la lectura gravimétrica. El error total asociado a su estimación se calcula a partir de la suma de los errores de cada corrección.

$$\epsilon \Delta g_B = \pm \epsilon g_{\text{obs}} \pm \epsilon g_N \pm \epsilon g_{\text{a.l.}} \pm \epsilon g_{\text{boug}} \pm \epsilon g_{\text{topog.}} \pm \epsilon g_{\text{enlace}}$$

donde:

$\epsilon \Delta g_B$ = error total en la estimación de la anomalía de Bouguer simple ($\pm 60 \text{ } \mu\text{Gal}$).

ϵg_{obs} = error instrumental ($\pm 9 \text{ } \mu\text{Gal}$).

ϵg_N = error en la estimación de la gravedad teórica ($\pm 0.7 \text{ } \mu\text{Gal}$).

$\epsilon g_{\text{a.l.}}$ = error en la estimación del efecto de aire libre ($\pm 12.3 \text{ } \mu\text{Gal}$).

ϵg_{boug} = error en la estimación de la corrección de Bouguer ($\pm 4.5 \text{ } \mu\text{Gal}$).

$\epsilon g_{\text{topog.}}$ = error por desnivel topográfico en estaciones alejadas de la sierra Cucapá ($\pm 25 \text{ } \mu\text{Gal}$).

$\epsilon g_{\text{enlace}}$ = error de enlace entre la campaña de 1978 y 1997 ($\pm 8 \text{ } \mu\text{Gal}$).

Diferencias mayores a $60 \text{ } \mu\text{Gal}$, en anomalía de Bouguer simple (Δg_B) entre ambas campañas gravimétricas, pueden ser consideradas significativas. No obstante, con el propósito de dar mayor certidumbre a las diferencias, no se incluyen las estaciones ubicadas a menos de 2 km de la Sierra Cucapá en las que la corrección por el efecto del desnivel topográfico es mayor a $\pm 25 \text{ } \mu\text{Gal}$.

ANOMALÍA DE BOUGUER SIMPLE

La configuración de la anomalía de Bouguer simple obtenida se presenta en la Figura 2. El mapa de anomalía de Bouguer relativa para 1997 muestra el mismo patrón de anomalías que el de 1978 (Figura 3 de Chase *et al.*, 1978) y las obtenidas por Velasco y Martínez (1963) y Fonseca y Razo (1979). La configuración para 1997 delinea la estructura terciaria constituida por las lutitas y areniscas del ambiente deltáico en el CGCP, en la que destaca un máximo con eje de rumbo NW-SE ubicado al noroeste del área de estudio. Este máximo es coincidente con grandes depósitos de areniscas, según se aprecia en los cortes litológicos de los pozos M-3, Q-757, M-96, correspondientes a las facies frontales del delta (Cobo, 1979).

Debido a una mejor cobertura de estaciones, el bajo gravimétrico ubicado al SW de la zona de estudio se ha desplazado aproximadamente 3 km al S con respecto al presentado por Chase *et al.* (1978) coincidiendo con el de Velasco y Martínez (1963). El mínimo ubicado al SE de la zona coincide con el configurado por Velasco y Martínez (1963) y Fonseca y Razo (1979). Se observa el efecto de silla de montar en el poblado Nuevo León presentado por Fonseca y Razo, (1979) y bosquejado por Velasco y Martínez (1963) y Chase *et al.* (1978).

CAMBIOS EN GRAVEDAD OBSERVADA EN EL PERIODO 1978-1997

En vista de que las bases gravimétricas utilizadas en 1978 no corresponden a las de 1997, se uniformizaron los datos para configurar un mapa de cambios gravedad. Para ello se interpolaron, tanto la gravedad observada como las alturas de las estaciones gravimétricas en una malla regular. El esquema de interpolación utilizado es kriging y la distancia entre nodos fue de 400 m . La gravedad observada y la altura de las mallas interpoladas del levantamiento de 1997 fueron restadas de las de 1978, nodo a nodo. De esta forma los signos negativos en los cambios de gravedad observada implican disminuciones en la gravedad y los signos negativos en la diferencia de alturas reflejan subsidencia.

Los cambios en la gravedad observada producto de la resta contienen el efecto de la diferencia en elevación entre nodos, por lo que se procedió a corregir el efecto de aire libre considerando $30.86 \mu\text{Gal/m}$. Ante la dificultad de considerar la compresibilidad de la roca y el espesor del estrato compactado que es muy variable y difícil de evaluar, Allis y Hunt (1986) propusieron considerar que la subsidencia en el terreno es igual a la compactación causada por la extracción de masa del yacimiento. Esta consideración implica que los espacios desocupados por el fluido extraído son ocupados, durante el intervalo de tiempo considerado, por el reacomodo de los sedimentos. El efecto en el cambio de gravedad se expresa como sigue:

$$\Delta g = 2\pi G\rho\Delta h,$$

donde G es la constante gravitacional ($6.673 \times 10^{-8} \text{ (g/cm}^3\text{)/s}^2$), ρ corresponde a la densidad del fluido extraído y Δh es la diferencia en elevación en el periodo de tiempo considerado. En este trabajo se supone que el fluido extraído es agua (sistema agua-saturado) con $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$ y la diferencia en elevación es $\Delta h = h_{1997} - h_{1978}$. Se estiman que el efecto es $\Delta g \approx -40 \mu\text{Gal/m}$. No obstante, si el fluido extraído fuera únicamente vapor, el efecto sería mucho menor ($\Delta g \approx -0.4 \mu\text{Gal/m}$). Además, el efecto topográfico de las estaciones se minimizó al considerar únicamente la zona del CGCP alejada de los relieves topográficos abruptos, como la Sierra Cucapá.

Los cambios en gravedad corregidos por subsidencia que se consideran significativos son los mayores a $200 \mu\text{Gal}$, pues se tienen errores asociados a la medición y reducción de datos del orden de $60 \mu\text{Gal}$, que sumados al causado por la interpolación, podrían ascender a $150 \mu\text{Gal}$. De aquí en adelante, a los cambios significativos observados entre 1978 y 1997, corregidos por subsidencia, se les referirá únicamente como diferencias en **gravedad observada**.

La configuración de las diferencias en gravedad observada se presenta en la Figura 3, incluyéndose además las posiciones de la Falla Cerro Prieto (Fonseca, 1982) y la zona de las fallas H y L en el techo del estrato beta (Truesdell *et al.* 1995).

Se observan dos zonas con diferencias en gravedad observada. Una corresponde a prácticamente todo el CGCP con mínimos gravimétricos en la que se identifican tres subzonas y la otra, ubicada al NW y fuera del CGCP muestra un aumento en la respuesta gravimétrica, según se describen en seguida.

Las tres subzonas con disminución en la respuesta gravimétrica dentro del CGCP son:

1. Subzona CPI y zona de la Falla Cerro Prieto. Se ubica en la porción W del CGCP con disminuciones en la respuesta gravimétrica mayor a $-648 \pm 200 \mu\text{Gal}$. En esta zona la isolínea de cero se extiende más hacia el occidente de la zona de la Falla Cerro Prieto, controlada por las bases gravimétricas de

1997, pero sin cobertura por parte del estudio de 1978. Por lo anterior, la extensión en dirección NW-SE no puede ser acotada con precisión. Se observa que la isolínea de cero entra desde el flanco sur del CGCP en la intersección de las fallas L y H extendiéndose hacia el NNW hasta la porción central de CPI.

2. Subzona CPIII. Esta subzona es la que presenta mejor control de estaciones está limitada al norte por las estaciones ubicadas sobre la carretera, en su porción central por las que se encuentran dentro del CGCP, y al occidente, por las estaciones a lo largo de la vía del ferrocarril. La amplitud de las variaciones de gravedad observada es mayor a los $-774 \pm 200 \mu\text{Gal}$ y parece estar limitada al SE por el trazo a profundidad de la falla H. Corta al reservorio beta, en donde se cierra para dar lugar a una zona de menor variación ($-200 \pm 200 \mu\text{Gal}$).
3. Subzona CPII. En esta zona se observa la mayor variación dentro del CGCP ($-1018 \pm 200 \mu\text{Gal}$); sin embargo, es importante puntualizar que para el levantamiento de 1978, no se contó con una cobertura suficiente de estaciones, para poder restringir su extensión hacia el sur.

Por su parte, el máximo de diferencias gravimétricas positivas ubicado al oriente del Volcán Cerro Prieto se encuentra fuera de la zona de explotación y está circunscrito al eje de la vía del ferrocarril. No obstante, no se tiene suficiente cobertura de estaciones en los flancos oriental y occidental para acotarlo con certidumbre. La magnitud de la diferencia en gravedad es mayor a $+1200 \pm 200 \mu\text{Gal}$.

El perfil A-A' de orientación SW-NE en su primera sección y de W-E en la segunda (Figuras 3 y 4) presenta dos mínimos relativos con diferencias en gravedad negativas. El mínimo más occidental inicia con diferencias positivas en la primera sección del perfil y disminuye hasta llegar a cero al aproximarse a la zona de la Falla Cerro Prieto, donde alcanza valores menores a los $-600 \pm 200 \mu\text{Gal}$ al occidente de CPI y aumenta gradualmente a valores positivos en la zona de CPI y en la del trazo de la falla L. El segundo mínimo relativo empieza a descender en el flanco oriental de la falla L hasta alcanzar diferencias en gravedad observada mínimas de $-774 \pm 200 \mu\text{Gal}$ en la zona que cruza CPIII, para elevarse de nuevo en el margen oriental del CGCP y en la porción noreste de la falla H, sin alcanzar diferencias positivas.

El perfil B-B', cuya orientación es NW-SE (Figura 3), es paralelo a las estructuras principales del centro de dispersión (fallas Cerro Prieto e Imperial). Muestra una evolución positiva de gravedad en su porción más NW, fuera del CGCP y baja gradualmente hasta alcanzar un mínimo relativo en la falla H. Decece de nuevo al SE de la zona y fuera del CGCP (Figura 3).

INTERPRETACIÓN DE LOS CAMBIOS EN GRAVEDAD

SUBZONA DE LA FALLA CERRO PRIETO Y CPI

La disminución de la respuesta gravimétrica en esta zona puede deberse a la deficiencia de masa por la extracción de fluido. La pérdida de fluido geotérmico dentro del reservorio alfa se ha manifestado por la disminución de niveles en los pozos y la pérdida de entalpía (Beall *et al.*, 1994). El volumen extraído en el reservorio alfa hasta 1997, asciende a 48 millones de toneladas métricas (Truesdell *et al.*, 1998). No obstante, el monitoreo de la concentración de cloruros en el fluido geotérmico junto con la composición en oxígeno-18 y deuterio, han indicado una zona de recarga de aguas frías desde la porción oeste del campo desde el inicio de la explotación, (Stallard *et al.*, 1987; Truesdell *et al.*, 1979), que ha sido cuantificada en aproximadamente el 50% del total del fluido extraído (Truesdell *et al.*, 1998).

El alto relativo que muestra el perfil A-A' a 4000 m del inicio del perfil (Figura 4) configura el borde oriental de esta subzona y se extiende desde la porción sur de CPI hasta su porción central en dirección NW a lo largo del trazo de la falla L (Figura 3). Allí se efectúan dos procesos de incorporación de masa: Primero, la recarga del acuífero alfa a través de la falla L, que coincide con la extensión del máximo relativo (isolínea cero) y segundo, se interpreta que ocurre una inyección de salmuera residual ($T < 25^{\circ}\text{C}$). Este último aporte de masa, aunque de menor cantidad, pues representa aproximadamente el 30% del total de fluido extraído del reservorio alfa (Truesdell *et al.*, 1998), podría provocar un aumento en la masa neta, tanto por ser más denso que el fluido geotérmico, como por la contracción de la roca por el cambio de temperatura. Se considera que el aumento en la densidad por la contracción de la roca debido a la diferencia en temperatura podría no ser significativo, dado su bajo coeficiente de expansión (Schatz *et al.*, 1981).

SUBZONA CPIII

El mínimo en la evolución de la gravedad observada refleja la deficiencia de masa en el reservorio geotérmico. En esta subzona está ubicado el bloque levantado del estrato productor beta, ampliamente documentado, tanto por la formación de zonas de vapor alrededor de los pozos (que denota escasa recarga), como por la interpretación de datos isotópicos y químicos del fluido geotérmico (Truesdell *et al.*, 1998). El límite NE de este mínimo relativo corresponde con la posible zona de recarga del estrato productor beta en la porción NE de la falla H, donde las diferencias son menores a $-250 \pm 200 \mu\text{Gal}$ (Perfil A-A', Figura 4). Por su parte, el límite SE del mínimo gravimétrico está asociado a la ubicación del contacto de la falla H con el reservorio beta. De igual forma, el límite de deficiencia de masa en la margen norte del CGCP se marca con la isolínea cero.

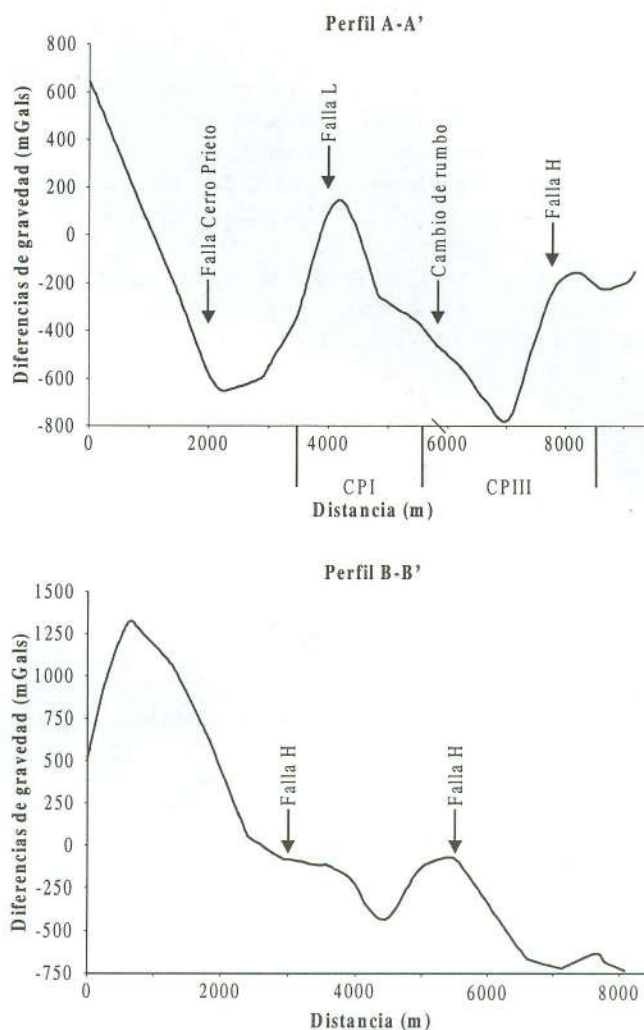


Figura 4. Perfiles de diferencia de gravedad observada (corregida por subsidencia) entre 1978 y 1997. La ubicación espacial de los perfiles se muestra en la Figura 3.

SUBZONA CPII

Esta subzona está relacionada con la porción del estrato productor beta ubicado en el bloque caído de la falla H, observándose el cambio en gravedad espacialmente más extenso dentro del CGCP. Sin embargo, la cobertura entre estaciones no es suficiente para acotarlo, mostrándose desplazado hacia el SE fuera del CGCP. Truesdell *et al.* (1998) estimaron que la extracción de fluido geotérmico en este estrato productor asciende a 1.3×10^9 toneladas métricas de las que aproximadamente el 20% proviene de la recarga de agua fuera del sistema geotérmico. Este déficit de masa es congruente con la disminución de la respuesta gravimétrica durante el período 1978-1997 que abarca prácticamente toda la historia de explotación de este reservorio.

Los numerosos sismos que han ocurrido de 1978 a 1997, dentro y fuera del CGCP, (Frez y Frías-Camacho, 1998) pudieron haber funcionado como disparadores de

asentamientos produciendo compactación e incremento en la densidad al igual que los sismos Victoria en 1980 y Cerro Prieto y Superstition Hills en 1987, entre otros (Glowacka, 1998). Este fenómeno no está circunscrito únicamente a la zona del CGCP, ya que dichos movimientos están relacionados a movimientos tectónicos. No obstante, el esquema de corrección por subsidencia propuesto por Allis y Hunt (1987) supone que el medio geológico ha respondido a la subsidencia al compactarse, los espacios intergranulares desocupados por el fluido extraído, sin considerar la ocurrencia de los sismos. A su vez, el esquema de corrección por subsidencia aplicado en este trabajo supone que la compactación desplazó únicamente agua. Esto podría estar ocurriendo parcialmente, ya que en algunas zonas del yacimiento, particularmente en el estrato productor beta, al NW de la falla H, se han formado zonas de vapor, es decir, el fluido geotérmico extraído contiene mayor proporción de vapor que de agua, sobrestimando las diferencias gravimétricas.

CONCLUSIONES

La comparación de las configuraciones de la anomalía de Bouguer simple entre ambos levantamientos mostraron diferencias, principalmente en la ubicación del mínimo gravimétrico al SW de la zona de estudio y el máximo al SE con el estudio de Chase *et al.* (1978). Se delineó el rasgo de silla de montar en el Poblado el Ejido Nuevo León al este de la zona de estudio que había sido bosquejado por Chase *et al.* (1978) y configurado por Velasco y Martínez (1963) y Fonseca y Razo (1979).

Las diferencias gravimétricas observadas corregidas por subsidencia, según el esquema propuesto por Allis y Hunt (1986) dentro del período 1978-1997, son mayores que el error estimado en la obtención y reducción de datos, así como del error en la interpolación a una malla regular ($\pm 200 \mu\text{Gal}$).

El análisis de las diferencias gravimétricas observadas entre 1978 y 1997 es congruente con la respuesta inferida a partir de los estudios isotópicos, geoquímicos y termodinámicos del yacimiento geotérmico por su explotación. Se encontró que existe una zona generalizada de pérdida de masa que coincide espacialmente con el CGCP y que puede dividirse en tres subzonas. Una está relacionada espacialmente con la Falla Cerro Prieto y el reservorio alfa con diferencias en gravedad observada de $-648 \pm 200 \mu\text{Gal}$. Las otras dos están relacionadas con el estrato productor beta a ambos lados de la falla normal H. En el costado NW de la falla H, correspondiente al bloque levantado, se obtuvieron diferencias de $-774 \pm 200 \mu\text{Gal}$, mientras que en el flanco SE, en el bloque hundido, se observaron diferencias de $-1018 \pm 200 \mu\text{Gal}$. La extensión de estas diferencias gravimétricas negativas sólo pudo ser acotada en la subzona correspondiente al bloque levantado, al NW de la falla H, debido a la mejor cobertura de estaciones. Se identificó la disminución de las diferencias en gravedad observada de hasta $-250 \pm 200 \mu\text{Gal}$ al oriente de

esta subzona, que corresponde al borde NE de la falla H, posiblemente relacionado con la zona de recarga del estrato beta. A su vez, es posible relacionar la zona con diferencias positivas de gravedad (máximo relativo) que entra desde la porción sur de CPI con zonas de aportación de masa al estrato productor alfa por recarga a través de la falla L, o bien, por la inyección de una salmuera residual.

No se observa en la frontera SE del CGCP, por donde se infiere recarga del estrato productor beta, una zona con diferencias gravimétricas menores con respecto a las de la zona de explotación.

El monitoreo de las variaciones gravimétricas temporales y espaciales en el CGCP podría ayudar a inferir cambios de masa dentro del yacimiento debido al efecto combinado de extracción-inyección-subsidencia de utilidad al conocimiento de la evolución del yacimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a la Residencia de Estudios del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, CFE, especialmente a su Residente el Ing. Hector Gutiérrez Puente y a los Ings. Francisco Arellano y Hector Lira por haber puesto a nuestra disposición los datos de nivelación de bancos del CGCP. Agradecemos también al Dr. Juan García Abdeslem por sus atinados comentarios en el análisis de los datos y edición del manuscrito, a la Dra. Ewa Glowacka por su arbitraje y a los demás arbitros anónimos, a Luis A. Delgado Argote por su inapreciable ayuda en la edición del texto, a Victor M. Frías Camacho por la edición de las figuras y a Bárbara Uribe por la corrección del manuscrito. Este trabajo forma parte de la Tesina del Ing. Juan Manuel Cobo Rivera dentro del programa de la Especialidad en Geotermia del Instituto de Ingeniería de la UABC.

REFERENCIAS

- Allis, R.G. y Hunt, T.M., 1986, Analysis of exploitation-induced gravity changes at Wairakei Geothermal Field, *Geophysics*, Vol 51, pp. 1647-1660.
- Beall, J.J., Pelayo, A., Ocampo J. de D., 1994, Dry Steam Feed Zones and Silica Scaling as Major Controls of Total Flow Enthalpy at Cerro Prieto, Mexico., *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 21, pp. 153-156.
- Biehler, S., Kovach, R.L. y Allen, C.R., 1964, Geophysical framework of the northern end of the Gulf of California structural province: in Van Andel, T., y Shor, G., eds., *Marine Geology of Gulf of California: American Association of Petroleum Geologist Memoir 3*, p. 126-296.
- Chase, D.S., Clover, R.C., Grannell, R.B., Leggewie, R.M., Eppink, J., TAarman, D.W., y Goldstein, N.E., 1978, Precision Gravity Studies at Cerro Prieto, *Proceedings, First Symposium on the*

- Cerro Prieto Geothermal Field, Lawrence Berkeley Laboratory, LBL report 7098, pp. 249-264.
- Cobo, J.M.R., 1979, Geología y mineralogía del campo geotérmico de Cerro Prieto. Proceedings, Segundo Simposio sobre el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, México, pp. 103-117.
- Ehara S, Fujimitsu, Y., Nishijima, J., Mtoyama, T., Shimisako, N. y Y. Nakano, 1998, Reservoir monitoring by repeat gravity measurements at some geothermal fields in Kyushu, Japan. *Geothermal Resources Council Transactions*, 22, pp. 153-162.
- Elders, W.A., Rex, R.W., Meidav, T., Robinson, P.T. y Biehler, S., 1972, Crustal Spreading in Southern California. *Science*, 178, pp. 15-24.
- Elders, W.A., D.K. Bird, A.E. Williams y P. Schiffman, 1984, Hydrothermal flow regime and magmatic heat source of the Cerro Prieto Geothermal system, Baja California, México, *Geothermics*, 13(1), pp. 27-47.
- Fonseca, H. y Razo, A., 1979, Gravity, magnetics and seismic reflection studies at the Cerro Prieto geothermal field. Proceedings, Second Symposium on the Cerro Prieto Geothermal Field, Comision Federal de Electricidad, pp. 303-328.
- Fonseca, H., 1982, El campo Geotérmico de Cerro Prieto. Estudios geofísicos realizados. Proceedings. Cuarto Simposio sobre el campo geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, México. Vol. 1, pp. 5-40.
- Frez, C. y V. Frías-Camacho, 1998, Mapas anuales de sismicidad para la región fronteriza de ambas californias. *GEOS*, 18(2), pp. 112-130.
- Glowacka, E., 1998, Deformaciones superficiales en el area de Cerro Prieto y sus relaciones con sismicidad y extracción de fluidos. Resumen. Simposio CICESE-CFE, Ensenada, B.C., Mexico.
- González G. J. J., 1994, Control Geodésico y Gravimétrico de la Falla Imperial en el Valle de Mexicali: Primera Epoca. Parte Nivelación. Informe Técnico Final. Div. Ciencias de la Tierra. CICESE., Ensenada, México.
- Grannell, R.B., Tarman, D.W., Clover, R.C., Leggewie, R.M., Aronstam, P.S., Kroll, R.C., y Eppink, J., 1979, Precision Gravity Studies at Cerro Prieto-The Second Year, Proceedings, Second Symposium on the Cerro Prieto Geothermal Field, Comision Federal de Electricidad, pp. 329-334.
- Grannell R.B., Kroll, R.C., Wyman, R.M., Aronstam, P.S., 1981a, Precision Gravity Studies at Cerro Prieto-A Progress Report, Proceedings, Third Symposium on the Cerro Prieto Geothermal Field, Lawrence Berkeley Laboratory, LBL Report 11967, pp. 329-333.
- Grannell, R.B., Whitcomb, J.H., Aronstam, P.S. y Clover, R.C., 1981b, An assessment of Precise Gravity Measurements for Monitoring the Response of a Geothermal Reservoir to Exploitation, Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-12910, GSRMP-11, UC-66e.
- Grannell, R.B., Wyman, R.M., y Randall, G.A., 1982, Subsidence Detection at Cerro Prieto Geothermal Field by Precision Gravity Studies. Proceedings, Fourth Symposium on the Cerro Prieto Geothermal Field., pp. 195-197.
- Halfman, S.E., M.J. Laippmann, R. Zelwer y J.H. Howard, 1984, Geologic interpretation of geothermal fluid movement in Cerro Prieto field, Baja California, Mexico, *American Association of Petroleum Geologist Bulletin.*, 68, pp. 18-30.
- Halfman, S.E., Mañon, A. y M.J. Lippamnn, 1986, Update of the hydrogeologic model of the Cerro Prieto field based on recent well data. *Geothermal Resources Council Transactions*, 10, pp. 369-375.
- Kissam, C.E., 1981, Surveying for civil engineers. McGraw-Hill, pp 799.
- Lippmann, M.J., Truesdell, A.H., S.E. Halfman-Dooley y Mañón M., 1991, A Review of the hydrogeologic-geochemical model for Cerro Prieto. *Geothermics* 20 (1/2), pp. 39-52.
- Lira, H. H., 1998, Monitoreo de la subsidencia en el campo geotermico de Cerro Prieto. Resumen. Simposio CICESE-CFE, Ensenada, B.C., Mexico.
- Longman, I.M., 1959, Formulas for computing the tidal accelerations due to the moon and the sun: *Journal of Geophysical Research*, 64, No.12, pp. 2351-2355.
- Lomnitz, C., Mooser, F., Allen, C. R., Brune, J. N. y Thatcher, W., 1970, Seismicity and tectonics of the northern Gulf of California region, México, preliminary results. *Geofísica Internacional*. 10(2), pp. 37-48.
- Nettleton, L.L., 1979, Gravity and magnetics oil prospecting. Mc. GrawHill, pp. 464.
- Oropeza P.A., y J.M. Wong Z., 1998, Status and thecnical design of the Cerro Prieto IV geothermal Project. *Geothermal Resources Council Transactions*, 22, pp. 315-319.
- Schatz, J.F., 1981, Propierties of Cerro Prieto rock at simulted in situ conditions. Proceedings. Tercer Simposio sobre el campo geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, México, pp. 292-296.
- Stallard, M.L., Winnet, T.L., Truesdell, A.H., Coplen, T.B., Kendall, C., White, L.D., Janik, C.J. y J.M. Thompson, 1987, Patterns of change in water isotopes from the Cerro Prieto geothermal field 1977-1986. *Geothermal Resources Council Transactions*, 11, pp. 203-210.
- Sugihara, M. y T. Ishido, 1998, Gravity monitoring at the Sumikawa Geothermal field, Japan. *Geothermal Resources Council Transactions*, 22, pp. 191-195.
- Telford W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. y D.A. Keys, 1976, Applied Geophysics, Cambridge Univ. Press., pp. 860.
- Truesdell, H.A., Rye, R.O., Pearson, Jr. F.J., Olson, E.R., Nehring, N.L., Huebner, M.A. y T.B. Coplen, 1978, Preliminary isotopic studies of fluids from the Cerro Prieto Geothermal Field, Proceedings, First Symposium on the Cerro Prieto Geothermal Field, Lawrence Berkeley Laboratory, LBL report 7098, pp. 95-101.

- Truesdell, H.A., Mañón, A., Jiménez, M.E., Sánchez, A. y Fausto, J.J., 1979, Geochemical evidence of drawdown in the Cerro Prieto geothermal field, *Geothermics*, 8, pp. 257-265.
- Truesdell, H.A., Lippmann, M.J., Quijano, J.L. y D'Amore, F., 1995, Chemical and physical indicators of reservoir processes in exploited high-temperature, liquid-dominated geothermal fields. Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence, Italy, 18-31 May 1995, pp. 1933-1938.
- Truesdell H.A., Lippmann, M.J. y H. Gutierrez P., 1997, Evolution of the Cerro Prieto reservoirs under exploitation, *Geothermal Resources Council Transactions*, 21, pp. 263-269.
- Truesdell H.A., Lippmann, M.J., H. Gutiérrez P y J. de León V., 1998, The importance of natural fluid recharge to the sustainability of the Cerro Prieto resource, *Geothermal Resources Council Transactions*, 22, pp. 529-536.
- Vázquez, G. R., 1998, Estudio Geohidrológico del Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Informe Técnico RE 05/98. Div. Ciencias de la Tierra. CICESE., Ensenada, México.
- Velasco, J. y Martínez, 1963, Levantamiento gravimétrico. Zona geotérmica del Valle de Mexicali, Baja California. Consejo Recursos Naturales No Renovables, *Reporte Interno*.

APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO AL MÉTODO MAGNETOTELÚRICO

Marco A. Pérez Flores

Depto. de Geofísica Aplicada, CICESE
Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México

E-mail: mperez@cicese.mx

<http://www.cicese.mx/~mperez/index.html>

RESUMEN

La técnica de optimización estocástica de Algoritmos Genéticos nos ayuda a resolver problemas de Inversión No-lineales complejos. Se vale de un proceso de búsqueda aleatoria de la solución a un problema físico determinado, simulando un proceso de evolución biológica. El método magnetotelúrico es un método de la geofísica usado para explorar el interior de la Tierra, mediante el estudio de los campos electromagnéticos medidos en la superficie aire-tierra. De esta manera, la técnica de Algoritmos Genéticos nos ayuda a proponer aleatoriamente modelos de la Tierra y mediante un proceso de selección natural, sólo los modelos más adaptados o cuyas respuestas mejor ajustan a las observaciones son los que sobreviven, donando parte de sus características exitosas a los modelos propuestos aleatoriamente para la siguiente generación y asegurando de esta manera una convergencia hacia el modelo que mejor ajustará a las observaciones. Se plantea el problema para un modelo sintético de pocos parámetros, aunque complicado desde el punto de vista físico.

INTRODUCCIÓN

El surgimiento de las computadoras electrónicas ha sido sin duda uno de los más grandes avances de la ciencia y tecnología de la era moderna. A partir de ellas, gran cantidad de áreas del conocimiento han experimentado una evolución notable. De esta forma, ahora estamos en posibilidades de involucrarnos en la solución de problemas que en la primera mitad de este siglo aun parecían inimaginables.

La creciente capacidad de las computadoras casi permite calificarlas como especies inteligentes. Los impulsores de la Cibernética como Emilio Rosembueth, Alan Turing, John von Neumann, Norbert Wiener y otros, empezaron a concebir la idea de programas con cierta inteligencia que pudieran tomar algún tipo de decisiones y que tuvieran la capacidad de aprender a partir de la experiencia humana, surgiendo así, el concepto de Inteligencia Artificial. No sorprende entonces que los primeros computólogos dedicaran tiempo a entender la Biología y la Psiquiatría como medios para entender los procesos naturales y de esta manera tratar de emular algunos procesos del cerebro, como el proceso de aprendizaje y aun la simulación de la evolución biológica. A partir de la década de los ochenta ha aumentado considerablemente la comunidad científica interesada en estudiar computacionalmente los procesos de la vida para poderlos reproducir mediante complejos algoritmos de computación. Es así como han surgido diferentes técnicas en el área de la Inteligencia Artificial: Redes Neuronales, Sistemas Expertos y Computación Evolutiva.

Las Redes Neuronales tratan de simular procesos naturales complejos a partir de interacciones complejas de sub-procesos muy simples, como la conexión o desconexión de un elemento

llamado neurona y la interacción entre muchas de ellas. Como ejemplo, una Red Neuronal bien entrenada podría tomar el control de un avión cuando el piloto ha sufrido algún percance médico. Así mismo, se han entrenado Redes Neuronales para poder determinar las características eléctricas en un subsuelo de capas a partir de mediciones magnetotelúricas (Hidalgo y Gómez-Treviño, 1996), o de resistividad de corriente directa (Rodríguez-Ramírez y Esparza, 1997; Rodríguez-Ramírez, 1998). Los Sistemas Expertos tratan de resolver problemas de toma de decisiones a partir de algoritmos que tienen la capacidad de aprender de personas expertas en una área específica; por ejemplo, algoritmos que pueden entrevistar a un paciente y determinar su enfermedad, o los que recomiendan a inexpertos qué hacer cuando un pozo petrolero cae en descontrol. La Computación Evolutiva simula el proceso de evolución biológica hasta lograr una óptima adaptación de un organismo a su medio; por ejemplo, un algoritmo analizador de la estructura gramatical de oraciones completas que nos puede indicar la estructura gramatical óptima o bien, uno que nos determina cual es la estructura interna de la Tierra a partir de mediciones geofísicas, como las de refracción sísmica (Sambridge y Drijkoningen, 1992), curvas de dispersión sísmica y magnetometría (Iglesias-Mendoza, 1997) y mediciones de resistividad aparente con el método magnetotelúrico (Everett y Schultz, 1993; Pérez-Flores *et al.*, 1997).

El grado de avance de tales algoritmos es tal que se requiere de un programa diferente para cada área específica del conocimiento de un experto para ser entrenados o para aprender. Por ello, aún estamos muy lejos de diseñar algoritmos de múltiples aplicaciones e independientes del hombre, pero podemos reflexionar acerca de la forma en la que acostumbramos a resolver un problema complejo. Se supone

que un problema complejo también debe tener una solución compleja; sin embargo, esta quizá no necesariamente debe serlo tanto, pues la naturaleza ha resuelto problemas complicados a partir de interacciones complejas o aleatorias de *sub-procesos simples o elementales*.

El método más común para resolver un problema de Inversión no-lineal en geofísica es mediante *linealización*. Esta aproximación supone una variación lineal de los parámetros alrededor de un modelo de referencia inicial y, para actualizar el modelo iterativamente, se requiere calcular las derivadas parciales de los campos con respecto a las incógnitas (parámetros). Cuando el problema directo es complejo, sus derivadas parciales son por lo regular aún más complejas, de tal forma que algunas veces no se pueden determinar analíticamente, sino sólo numéricamente, con un alto costo computacional. Los Algoritmos Genéticos nos ofrecen la oportunidad de tratar problemas complejos sin necesidad de añadirle dificultades de linealización al problema; además, como método probador de hipótesis, sólo trabaja con el problema directo y no involucra ningún tipo de aproximación.

ALGORITMOS GENÉTICOS

Programación Evolutiva es la marca genérica de diversas formas de programación que simulan la Evolución Biológica. El antecesor más importante de este género es el de Algoritmos Genéticos (GAs), al grado que aún siguen usando GAs como marca distintiva para métodos similares o aun diferentes a GAs.

Este género de algoritmos se usa para resolver problemas complejos, mediante el planteamiento de hipótesis aleatorias (posibles soluciones al problema) y mediante un sistema que

sanciona a las hipótesis más absurdas, pretendiendo conservar las más coherentes, aun cuando éstas no expliquen el fenómeno completamente. Lo que se busca es que, al realizar una combinación inteligente de las hipótesis supervivientes se puedan construir nuevas hipótesis que quizá expliquen mejor el fenómeno. Al desechar las peores y conservar las mejores, combinando adecuadamente estas últimas, se puede llegar a una hipótesis que explique mejor el fenómeno que se está estudiando. La forma como persisten las mejores hipótesis y se desechan las peores, así como la manera como se generan nuevas, es a través de la simulación del proceso de *Evolución Biológica*. De esta manera podemos hallar equivalencias entre el proceso de evolución y un proceso de optimización en geofísica. A continuación se enuncian algunas definiciones y conceptos importantes para observar la similitud entre un problema de inversión no-lineal en geofísica y evolución. (Tabla 1). El ejemplo de la Figura 1 está enfocado a la inversión de datos tomados con el método magnetoteléurico, suponiendo una estructura bidimensional como causante de las mediciones en la superficie de resistividad aparente a diversas frecuencias. De esta manera, los datos son las resistividades aparentes (amplitud y fase) de varias frecuencias de los dos modos de polarización (TE y TM) y las incógnitas o parámetros son los valores de resistividad constante en cada prisma bidimensional, al ir discretizando el subsuelo. En la Figura 1 se observa como el subsuelo ha sido dividido en prismas de longitud infinita en la dirección de x. Dentro de cada prisma suponemos que la conductividad o su inverso, la resistividad, es constante.

La tabla anterior muestra un *ejemplo* de un esquema de Algoritmo Genético adaptado para resolver un problema de optimización en geofísica. El mismo problema se puede

Tabla 1. Comparación entre evolución y optimización.

EVOLUCIÓN BIOLÓGICA	OPTIMIZACIÓN EN GEOFÍSICA
Un individuo.	El modelo es un conjunto de parámetros que representa una hipótesis.
Un cromosoma representa una cadena de ADN.	El parámetro representa un prisma bidimensional del modelo y está codificado en forma binaria.
Un gen representa fragmentos de la cadena de ADN.	Segmento de la cadena binaria.
De generación en generación el individuo exitoso se adapta mejor a su medio.	En optimización, el propósito es que iterativamente haya un mejor ajuste entre lo observado y lo calculado.
Al iniciar el proceso de evolución, se define una población de igual cantidad de machos que hembras con rasgos aleatorios.	Al iniciar el proceso de optimización se definen dos grupos iguales de modelos con valores aleatorios de los parámetros.
Se organizan parejas aleatorias, de tal manera que el número de descendientes sea igual a la población inicial. Tales descendientes conservan algunas características de sus padres, pero son individuos diferentes.	Se generan pares de modelos aleatorios y se mezclan algunos parámetros de los modelos para obtener la misma cantidad de modelos iniciales, pero con algunas características de los anteriores.
Se eligen pares de descendientes aleatoriamente y de cada par se elige al mejor adaptado a su medio. La idea es que los sobrevivientes tengan el mismo tamaño que el de la población inicial. La posición del peor adaptado es ocupada por el mejor adaptado a lo largo de todas las generaciones.	Se seleccionan pares aleatorios de modelos resultantes y de cada par se elige al que mejor ajusta a los datos y la posición del peor ajustado es ocupado por el del mejor ajustado global.
Se agrupan igual cantidad de descendientes hembras que machos para que se conserve la misma población inicial.	Se generan dos grupos de modelos para que la suma sea igual a la población inicial.
Cuando los descendientes son adultos, éstos se cruzan aleatoriamente, dando inicio a otra generación.	De estos dos grupos se eligen pares aleatorios y se genera un modelo resultante, dando origen a otra iteración.
La mutación es otro factor muy importante en la evolución y cuyo objetivo es añadir características nuevas a una población que tiende a homogeneizarse en la medida que avanzan las generaciones.	La mutación es un parámetro que impide que la población de modelos se vuelva demasiado homogénea en el transcurso de las iteraciones y deje de operar la búsqueda aleatoria.
Con este proceso se pretende que los sobrevivientes vayan conservando sólo las características que los lleven a adaptarse mejor a su medio.	Mediante esta técnica de optimización se espera que haya una exploración aleatoria adecuada y que el modelo resultante sea el más cercano al mínimo global.

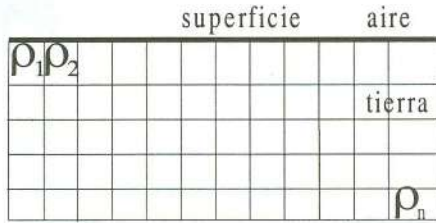


Figura 1. El subsuelo consiste de un conjunto de prismas de longitud infinita en la dirección de x. Dentro de cada prisma suponemos que la resistividad es constante.

resolver con múltiples variantes aun simulando la evolución biológica.

Si entendemos que el proceso de selección natural descrito por Darwin es un proceso de optimización, donde el organismo sobreviviente es el que contiene características que lo hacen más funcional con respecto a su medio, la naturaleza estuvo ensayando muy diversas características hasta que fue logrando organismos cada vez mejor adaptados a su hábitat. El trabajo de la naturaleza no termina, pues los hábitats también cambian con el tiempo, de tal suerte que los organismos requieren irse modificando continuamente (por ejemplo, hacerse inmunes a diferentes virus o bacterias que podrían causar la extinción masiva de una especie). Tales cambios operan sobre la información del ADN, de tal manera que se propagan a la siguiente generación. Si tales cambios son aleatorios, debemos imaginar el proceso de evolución como un proceso tortuoso y lento, pues gran cantidad de cambios no serán exitosos (no procurarán una mejor adaptación) y si los cambios fuesen guiados o no-aleatorios, podríamos hablar de un tipo de evolución acelerada.

Si estamos de acuerdo en que la evolución es un proceso de optimización, entonces podemos pensar que su ejemplo nos puede ayudar a resolver otros problemas de optimización en diversas áreas de la ciencia. Por eso, ya desde la década de 1960, Rechenberg (1965) introdujo las *estrategias evolutivas* para el diseño de *alerones* de un avión, o de Box (1957) quien introdujo ideas evolutivas para incrementar la producción industrial. En la actualidad existen infinidad de aplicaciones a diferentes áreas de las ciencias y muy diversas formas de aplicar los conceptos de evolución, (ver por ejemplo los resúmenes de la *Evolutionary Programming Society* (<http://www.natural-selection.com/eps/index.html>)).

La técnica de Algoritmos Genéticos (GAs) fue inventada por John Holland en la década de 1960 y ampliamente desarrollada por él y sus colegas en la Universidad de Michigan. El objetivo de Holland no fue hallar un esquema para resolver un problema de optimización cualquiera, sino tratar de entender el fenómeno de adaptación tal como ocurre en la naturaleza y desarrollar caminos en los cuales el mecanismo de adaptación natural pudiera incorporarse a un sistema computacional. En el libro *Adaptation in Natural and Artificial Systems* (Holland, 1975), se presentan los algoritmos genéticos como una abstracción de la evolución biológica y

se desarrolla el marco teórico de lo que hoy conocemos como GAs. En el algoritmo de Holland se plantea que los *cromosomas* están formados por *genes* y estos últimos se representan como un grupo de *bits*. De esta manera, el intercambio de información mediante *apareamiento* y las perturbaciones por *mutación*, operan directamente sobre los *bits*. En la actualidad algunos algoritmos usan el esquema básico de evolución, pero el *apareamiento* (o *cruzamiento*) y la *mutación* operan directamente sobre los *cromosomas*. En términos de optimización, significa que se pueden modificar (por *apareamiento* o *mutación*) directamente los valores del *parámetro*. Para nuestro caso, cada *parámetro* es la *resistividad* de un prisma bidimensional. Si el *apareamiento* y *mutación* ya no opera sobre los *genes*, entonces ya no tiene sentido llamarle *Algoritmos Genéticos*, de ahí que se haya propuesto una etiqueta más general, que es la *Programación Evolutiva*. Bajo esta nueva etiqueta, se engloban diferentes variantes de GAs y aun diferentes estrategias evolutivas.

MÉTODO MAGNETOTELÚRICO

El método magnetotelúrico (MT) es una técnica geofísica de exploración del subsuelo cuya fuente son campos electromagnéticos naturales producidos por interacciones entre el plasma solar y la magnetósfera (Vozoff, 1993). Estos campos inciden sobre la superficie terrestre como ondas planas; una parte de su energía es reflejada y otra es transmitida en el subsuelo, donde por inducción electromagnética generan corrientes eléctricas. La intensidad de estas corrientes inducidas es mayor en cuerpos de alta conductividad.

En el método MT se miden las variaciones temporales de las dos componentes horizontales del campo eléctrico (E_x , E_y) en la superficie del terreno, usando dos dipolos eléctricos y las tres componentes del campo magnético (H_x , H_y , H_z) por medio de tres bobinas ortogonales. La variación en tiempo de estos campos generalmente presenta un carácter errático debido al comportamiento aleatorio de la fuente proveniente de la magnetósfera. Sin embargo, un análisis espectral de Fourier de estos registros permite observar coherencias entre diferentes componentes de los campos y determinar que en algunas frecuencias los campos son más intensos. Debido a que no conocemos la intensidad de la fuente para cualquier tiempo, en el método MT se trabaja con razones de campos eléctricos y magnéticos con la finalidad de eliminar el efecto de las fluctuaciones de la fuente. A estas razones se les conoce como impedancias ($Z_{xy} = E_x / H_y$, $Z_{yx} = E_y / H_x$). Al elevar al cuadrado cada impedancia y dividirla entre la permeabilidad magnética (μ_0) y la frecuencia angular (ω), se obtiene una cantidad con unidades de resistividad, denominada resistividad aparente (ρ_a), que es una cantidad compleja debido a que existen defasamientos entre los campos. Es común representar la resistividad aparente como una amplitud ($|\rho_a|$) y una fase (ϕ) en función de la frecuencia lineal (f) o bien su inverso, el periodo (T). La gráfica de la amplitud de la resistividad aparente nos da una primera idea del comportamiento de la

resistividad en el subsuelo con la profundidad, donde las altas frecuencias nos indican profundidades someras y las bajas frecuencias denotan grandes profundidades.

En un subsuelo homogéneo, o formado por capas horizontales, las dos impedancias son iguales (con excepción de una diferencia de fase de 90 grados). Para otros subsuelos las impedancias son diferentes. Para el caso de un subsuelo bidimensional, en donde la resistividad no varía en la dirección y (conocida como rumbo eléctrico de las estructuras), el análisis de las corrientes inducidas se facilita pues éstas se desacoplan en dos modos independientes entre sí: el *modo TM*, donde las corrientes son perpendiculares al rumbo eléctrico y el modo TE, donde son paralelas (Figura 2). En el caso de un subsuelo tridimensional, en donde la resistividad varía en las tres direcciones, el fenómeno de inducción es más complicado pues ya no se desacoplan los modos. En este trabajo se utiliza un modelo bidimensional en el que, a partir de la transformación de los campos eléctricos y magnéticos observados al dominio de la frecuencia, se calculan un par de resistividades aparentes para los modos TE y TM (amplitud y fase vs frecuencia o periodo):

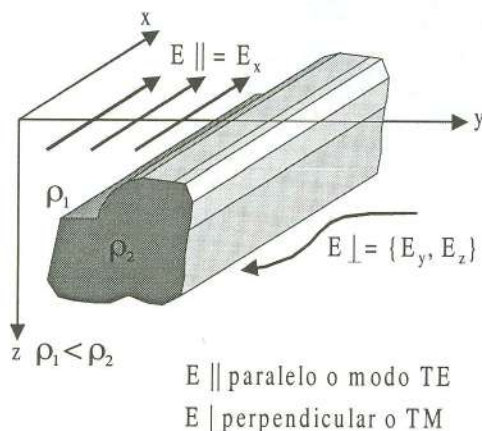


Figura 2. En un medio bidimensional existen dos direcciones o modos para el campo eléctrico. El modo TM que atraviesa la estructura perpendicularmente y el modo TE que es paralelo a la estructura.

$$\rho_a^{TE}(f) = \frac{1}{\omega \mu_o} \left(\frac{E_x}{H_y} \right)^2 \quad y \quad (1)$$

$$\rho_a^{TM}(f) = \frac{1}{\omega \mu_o} \left(\frac{E_y}{H_x} \right)^2 \quad (2)$$

Cada estación o sondeo MT nos da información sobre la estructura eléctrica del subsuelo que volumétricamente se encuentra cerca de la estación. Para tener información sobre

una región más extensa es necesario tener una serie de sondeos que, para el caso bidimensional, deben estar localizados sobre un perfil perpendicular al rumbo eléctrico (Figura 3). Las resistividades aparentes de los dos modos tienen diferentes sensibilidades a la misma estructura del subsuelo, por consiguiente, cada modo tiene información diferente sobre la estructura. Para el Algoritmo Genético se proponen modelos aleatorios del subsuelo, los cuales se seleccionan con base en qué tan bien sus resistividades aparentes y fases calculadas reproducen a los correspondientes datos observados de los dos modos, de acuerdo con alguna función de ajuste (rms ó chi-cuadrada). Este proceso iterativo requiere el cálculo exacto de las respuestas de un gran número de modelos bidimensionales, muchos de ellos con contrastes fuertes de resistividad. Existen diversos algoritmos de solución de la ecuación diferencial bidimensional que describe el fenómeno magnetoteléurico. Tres diferentes algoritmos de modelado fueron probados, optándose por el método de Weaver (Weaver y Brewitt-Taylor, 1978; Pu *et al.*, 1993) por ser éste el más preciso al considerar modelos altamente heterogéneos, como los propuestos aleatoriamente por GAs. Dentro del código de computación las ecuaciones diferenciales para cada modo se resuelven con diferencias finitas, integrando alrededor de cada nodo de la rejilla de discretización para mejorar la estabilidad numérica. En este método se aplican condiciones integrales de frontera en la interface aire-tierra para evitar discretizar el aire en el modo TE, ahorrando tiempo de cómputo. Además, la rejilla de discretización del subsuelo se calcula automáticamente, haciéndola dependiente de la frecuencia y de las resistividades y profundidades de las celdas del modelo, es decir, modelos diferentes en frecuencias iguales tienen rejillas diferentes.

CRITERIO DE OPTIMIZACIÓN

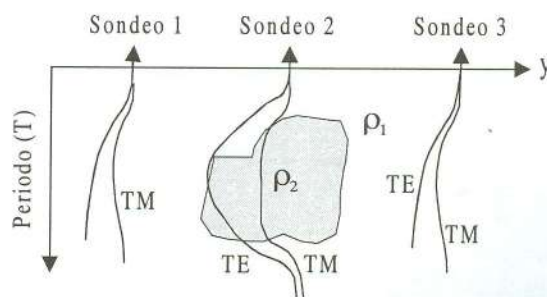


Figura 3. Se planean varios sondeos de MT perpendiculares a la estructura. Cada sondeo se grafica en forma de perfiles de periodo vs amplitud de la resistividad o fase para ambos modos.

Para el ejemplo que se presenta en este artículo, se usó la norma cuadrática de los residuales; esto es, la suma de las diferencias al cuadrado, entre las amplitudes de la resistividad aparente observada $|\rho_a^{obs}|$ y calculada $|\rho_a^{cal}|$ para los modos TE y TM y la suma de las diferencias entre las fases para los mismos modos.

$$F(\rho_i) = \|\rho_a^{obs} - \rho_a^{cal}\|^2 + \|\phi^{obs} - \phi^{cal}\|^2 \quad (3)$$

Cada modelo tendrá una distribución de resistividades ρ_i para los prismas y por modelado obtendremos sus $\|\rho_a^{cal}\|$ y ϕ^{cal} correspondientes. A partir de ahí, obtendremos un valor de $F(\rho_i)$ para cada modelo. Sólo los modelos que tengan el valor más bajo de F son los que sobreviven, de tal manera que después de muchas generaciones el modelo con menor F será el óptimo o el mejor adaptado en términos de selección natural. Cabe hacer notar que en la definición de la función objetivo F también se incluyen las incertidumbres en los datos observados por medio de la covarianza de los errores de observación. La definición de F no está limitada a la norma cuadrática, pudiendo ser cualquier otra norma de grado n , o inclusive, condiciones adicionales de suavidad, como puede ser la minimización de la variación espacial de las resistividades entre celdas.

PRUEBAS CON DATOS SINTÉTICOS

El algoritmo se probó con datos sintéticos de un modelo "tablero de ajedrez" (Figura 4) caracterizado por la alternancia de 16 bloques de resistividad $100 \Omega^m$ (cuadros claros de la Figura) o $20 \Omega^m$ (cuadros oscuros). Desde el punto de vista de la inversión, este modelo tiene pocos parámetros (16) pero es complicado desde el punto de vista de cálculo de las respuestas, pues es muy heterogéneo. Requiere de discretizaciones finas para un cálculo exacto de las resistividades aparentes de ambos modos en cinco frecuencias (10, 3, 1, 0.3 y 0.1 Hz) para ocho sondeos localizados en $y = -3.5, -2.5, 1.5, -0.5, 0.5, 1.5, 2.5$ y 3.5 km, resultando un total de 160 observaciones o datos. Asimismo, para simular las incertidumbres típicas en los datos observados, se les agregó un error gaussiano de 5%.

En el paso inicial del Algoritmo Genético se definió una población de 10 parejas, es decir, 20 modelos con 16 resistividades elegidas aleatoriamente para cada modelo. A continuación, las respuestas de estos modelos fueron calculadas y comparadas con las observadas por medio de la función

objetivo, seleccionándose los modelos más aptos (con menor valor de F) siguiendo el procedimiento descrito anteriormente. En las primeras generaciones la similitud de los modelos seleccionados con el modelo verdadero es muy pobre, mejorando conforme avanzan las generaciones. Después de 330 generaciones el programa se detuvo una vez que cumplió con un criterio de convergencia predefinido.

$$1.0 \leq \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \frac{(Y_{obs} - Y_{cal})^2}{C_y^2} \right] \leq 1.2 \quad (4)$$

Donde Y_{obs} representa las amplitudes y fases observadas más el error gaussiano agregado en caso de observaciones sintéticas y Y_{cal} representa los mismos, pero de la respuesta de cada modelo. C_y representa la barra de error estimada para cada observación. Cuando la diferencia entre lo observado y calculado es casi igual al error estimado, toda la ecuación tiende a la unidad, es decir, que pedimos un modelo que ajuste a los datos, pero no más allá del error estimado.

El modelo mejor adaptado se muestra en la Figura 5a, observándose una gran similitud entre éste y el verdadero de la Figura 4 en los bloques superficiales y de profundidades intermedias. Sin embargo, en tres de los bloques más profundos (entre $-2 \leq x \leq 4$ km) las resistividades encontradas difieren significativamente de las verdaderas. Para el bloque localizado en $0 \leq x \leq 2$ km, parece existir una razón física que puede explicar la discrepancia entre la resistividad estimada ($13.2 \Omega^m$) y la verdadera de $100 \Omega^m$. Esta puede provenir de un problema de equivalencia del bloque suprayacente, que es una limitación bien conocida de los métodos electromagnéticos en la determinación independiente de la resistividad y espesor de un cuerpo conductor a profundidad. Hasta el momento no se ha encontrado una explicación física similar para las discrepancias de los otros bloques profundos, aunque se supone que se deben a la física de inducción y galvánica asociada al modo TM, que es más difícil de evaluar usando argumentos cualitativos sencillos. De cualquier forma, estos resultados indican la pérdida de resolución de los datos de MT con la profundidad, una característica reconocida de este método. Aunque es posible que las discrepancias mencionadas disminuyan si se reduce el error gaussiano agregado a los datos y se aumentan el número de sondeos y más frecuencias bajas,

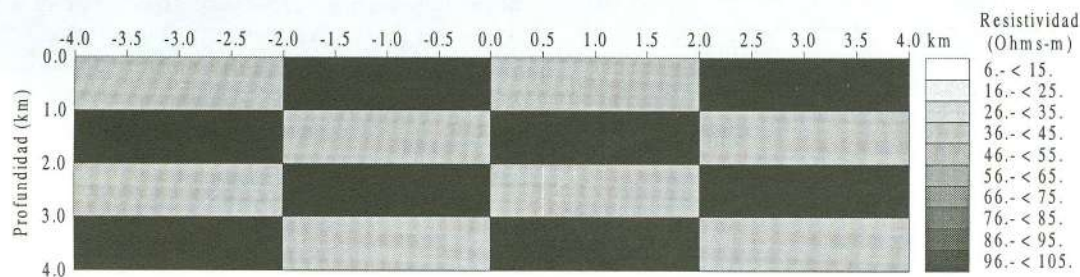


Figura 4. Un subsuelo tipo "Tablero de Ajedrez" consistente en 16 prismas bidimensionales donde los cuadros oscuros corresponden a 100 ohms-m y los claros a 20 ohms-m.

es difícil que ellas desaparezcan por completo, ya que se deben a limitaciones inherentes al fenómeno de inducción electromagnética en este modelo complicado y no a deficiencias del Algoritmo Genético. Sin embargo, de acuerdo con los estándares de inversión, éste es un resultado muy bueno. En la Figura 5b se presenta la gráfica de convergencia ($r.m.s$ vs generaciones). Se puede observar que en las primeras 20 generaciones hay una convergencia rápida, lo que indica que en estas generaciones la población de modelos está cambiando rápidamente de absurdos a no absurdos. Después, los modelos empiezan a converger más lentamente, o sea que al ya no ser tan absurdos, al Algoritmo se le dificulta encontrar cambios genéticos que produzcan mejoras sustanciales, es decir, el proceso de evolución se halla en la parte de adaptación más fina. Como se puede observar, esta gráfica es no-lineal, indicándonos que es difícil hallar fórmulas que puedan predecir en cuántas generaciones un organismo se va a adaptar a su medio. Lo que sí se sabe es que deben ser muchas y que en un proceso natural, no terminan, pues el medio también está cambiando. Cuando la velocidad de cambio del medio es equiparable a la velocidad de adaptación de un organismo, éste se preserva, pero cuando la velocidad de adaptación de una especie es menor a la velocidad de cambio del medio, se produce una extinción.

En las Figuras 5c y 5e se muestran los ajustes entre las amplitudes de la resistividad aparente para el modo TE y TM, respectivamente, para varias frecuencias. En las Figuras 5d y 5f se muestran los ajustes para las fases de la resistividad aparente de los modos TE y TM, respectivamente. Se observa en estas últimas cuatro gráficas un buen ajuste entre las líneas continuas (observadas) y punteadas (calculadas del mejor modelo). Como se observa en la Figura 5f, el ajuste no es muy bueno, sin embargo, el criterio de convergencia decidió que el ajuste general promedio era suficientemente bueno para detener el proceso de búsqueda. Esto quiere decir que el criterio de convergencia no le da más peso a unas mediciones que a otras. Si pusiéramos pesos más altos a la fase del modo TM, seguramente el proceso de minimización trataría de obtener un mejor ajuste en la fase del TM (Figura 5f).

CONCLUSIONES

Mucho tiempo ha pasado desde que los fundadores de la cibernética empezaron a idear sistemas de programación que tomaran algún tipo de decisiones dando lugar a lo que conocemos hoy como Inteligencia Artificial y sus tres grandes grupos: redes neuronales, sistemas expertos y computación evolutiva. La computación evolutiva es una marca de clase que engloba a diferentes técnicas de optimización simulando un proceso de evolución biológica, incluyendo a la técnica de Algoritmos Genéticos. El grado de avance en computación evolutiva es tal que existen infinitas aplicaciones a diferentes áreas de la ciencia, industria y aún milicia. Sin embargo, aún estamos muy lejos de diseñar algoritmos de múltiples aplicaciones. Con la técnica de Algoritmos

Genéticos se busca que los cambios aleatorios que operan sobre los parámetros recaigan directamente sobre los genes, o bien, sobre la representación binaria de los parámetros. En la actualidad, existen múltiples variantes que aplican los cambios aleatorios directamente sobre el valor numérico de los parámetros.

La técnica de Algoritmos Genéticos es un método de optimización que nos permite resolver problemas de inversión no-lineal complejos, como es el caso del método magnetotelúrico, donde nuestro objetivo es determinar la estructura geoelectrica bidimensional que mejor explica o ajusta las mediciones de campos electromagnéticos tomados en la superficie aire-tierra. Al ser un método probador de hipótesis, sólo requiere que resolvamos el problema directo (modelado de MT en dos dimensiones) con suficiente exactitud, rapidez y versatilidad, pues ha de calcular la respuesta (resistividades aparentes) de una gran cantidad de modelos aleatorios. Para este fin, se probaron varios métodos de modelado de MT, hasta que elegimos el mejor de acuerdo a nuestros objetivos. Ya que la rejilla de discretización para resolver las ecuaciones diferenciales correspondientes depende de la frecuencia y del propio modelo, además de que trabaja con ciertas condiciones de frontera en el modo TE, nos evita hacer discretizaciones innecesarias en el semi-espacio de aire y es suficientemente preciso aún en medios altamente heterogéneos.

Una vez resuelto el problema directo de una manera eficiente, lo demás es calcular una gran cantidad de modelos aleatorios y, mediante un criterio de evolución biológica, obtener el mejor modelo que explica los datos observados. El código de programación resultante nos permite proponer funciones objetivo que minimizan cualquier norma de los residuales, incluyendo la cuadrática. Además, nos permite añadir términos a la función, como minimización de la variación espacial de las resistividades, lograr modelos más planos o suaves, así como considerar el error en las observaciones, incluyendo una matriz de covarianza de los errores de observación.

En el ejemplo de un medio tablero de ajedrez se observa un ajuste a los datos aceptable y un modelo resultante muy parecido al real, con pequeñas diferencias en la región profunda, que es donde físicamente las observaciones no tienen mucha información. De acuerdo a la curva de convergencia, se observa que en las primeras 20 generaciones los modelos cambian rápidamente de absurdos a no-absurdos y en posteriores generaciones los cambios exitosos son más lentos, además de que en esta etapa, la población de modelos es muy parecida a la del mínimo global o mejor adaptado.

Podemos concluir que el método de algoritmos Genéticos, es una muy buena alternativa para resolver problemas complicados. El problema con el método es que sólo hay que resolver el problema directo cientos de veces, mientras que en linealización sólo decenas, pero hay que calcular también decenas de derivadas parciales, así que para problemas

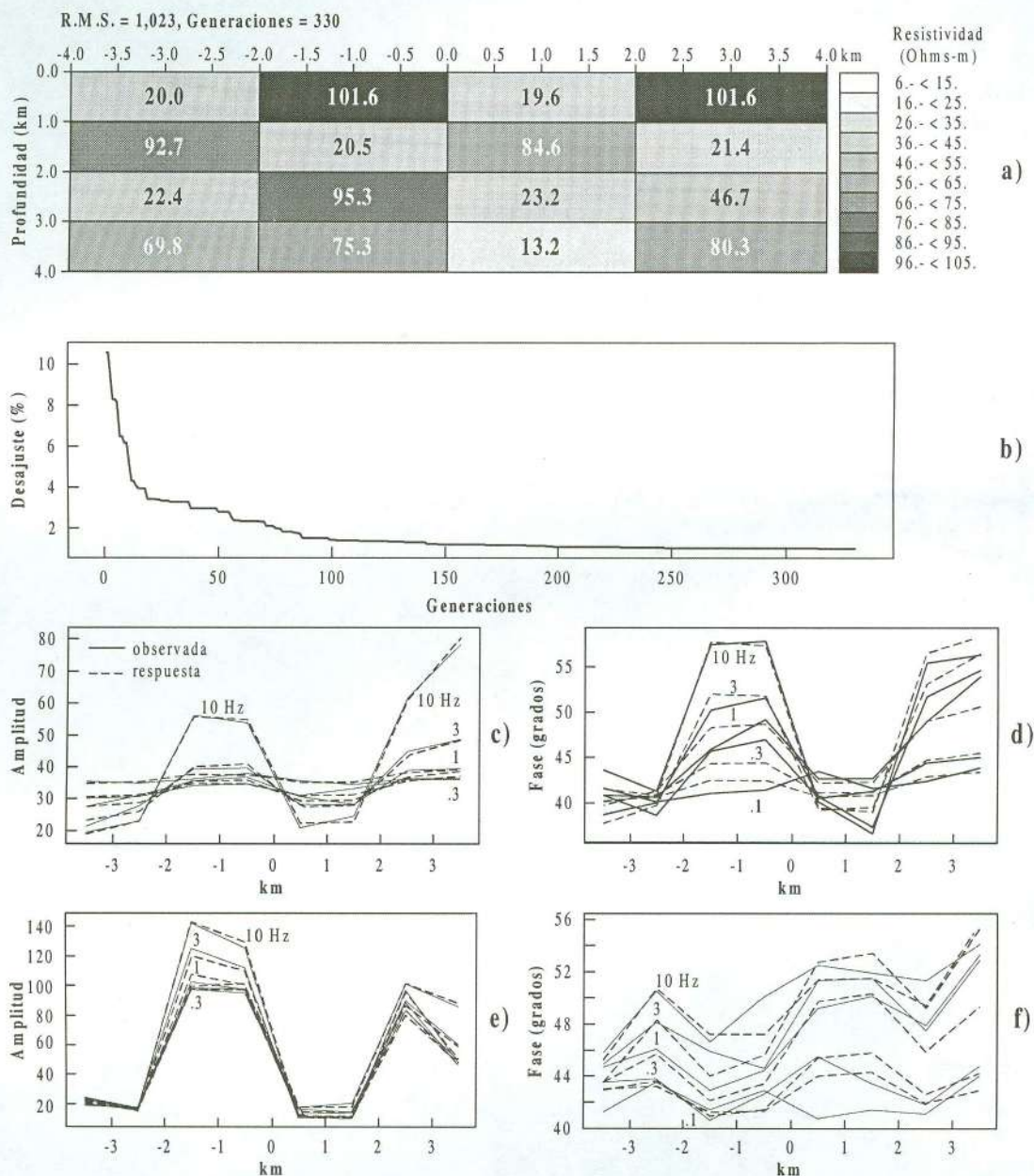


Figura 5. (a) Mejor modelo después de 330 generaciones, (b) gráfica de convergencia del proceso de evolución aleatoria. (c) y (d) comparación de lo observado con la respuesta del modelo para la amplitud y fase de la resistividad aparente para el modo TE, (e) y (f) comparación de lo observado para el modo TM.

relativamente complejos, quizá el método de algoritmos Genéticos no solo pueda ser una opción más, sino aún mejor que la linealización. Además, hay fenómenos físicos donde el problema de linealización es intratable. Como buscador aleatorio de soluciones, el método que aquí se presenta nos ofrece una mayor probabilidad de hallar el *mínimo global*, mientras que la linealización está diseñada para hallar el mínimo más cercano a un modelo inicial. La técnica de Algoritmos Genéticos no requiere ninguna información inicial, sin embargo, sí se le pueden sugerir ciertos rasgos al modelo mediante la manipulación de los intervalos de variación de cada parámetro. De esta manera, podemos aumentar la velocidad de convergencia asignándole información adicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Juan García y Luis Delgado por motivarme para hacer este escrito y también a Hugo Hidalgo, Carlos Flores y Gustavo Olague por tomarse el tiempo para revisar el escrito y proponerme toda serie de cambios para mejorarlo a Victor M. Frías Camacho por la edición de las figuras y a Bárbara Uribe por la corrección del manuscrito.

REFERENCIAS

- Box, G.E.P., 1957, Evolutionary operation: A method for increasing industrial productivity. *Journal of the Royal Statistical Society C6*, v. 2: 81-101
- Everett, M.E. y Schultz, A., 1993, Two-dimensional nonlinear Magnetotelluric Inversion using a Genetic Algorithm. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, v. 45, p. 1013-1026
- Hidalgo, H. y Gómez-Treviño, E., 1996, Application of Constructive Learning Algorithms to the Inverse Problem. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, v. 34, p. 874-885.
- Holland, J.H., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press.* (Second Edition: MIT Press, 1992)
- Iglesias Mendoza, A., Cruz Atienza, V.M. y Rodríguez Zúñiga, J.L., 1997, Inversión de datos Geofísicos con Algoritmos Genéticos: Curvas de dispersión y anomalías magnéticas. Reunión anual de la *Unión Geofísica Mexicana*, en GEOS de Noviembre, p. 213.
- Pérez Flores, M.A., Schultz, A. y Weaver, J., 1997, Inversión no-lineal de datos de MT mediante Algoritmos Genéticos. Reunión anual de la *Unión Geofísica Mexicana*, en GEOS de Noviembre, p. 213.
- Pu, X.H., Agarwal, A.K. y Weaver, J.T., 1993, Magnetic field solutions of the E-polarization induction problems. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, v. 45, p. 859-872
- Rechenberg, I., 1965. Cybernetic solution path of an experimental problem. *Ministry of Aviation, Royal Aircraft Establishment (U.K.)*
- Rodríguez Ramírez, J.E. y Esparza, F., 1997, Obtención de perfiles de resistividad aparente utilizando una Red Neuronal del tipo Cascor. Reunión anual de la *Unión Geofísica Mexicana*, en GEOS de Noviembre, p. 217.
- Rodríguez Ramírez, J.E., 1998, Inversión de Sondeos Eléctricos mediante Redes Neuronales. *Tesis de Maestría*, CICESE, Ensenada
- Sambridge, M. y Drijkoningen, G., 1992, Genetic Algorithms in seismic waveform inversion. *Geophysical Journal International*, v. 109, p. 323-342.
- Weaver, J.T. y Brewitt-Taylor, C.R., 1978, Improved boundary conditions for the numerical solution of E-polarization problems in geomagnetic induction. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* v. 54, p. 309-317.
- Vozoff, K., 1993, The magnetotelluric method. En: *Electromagnetic methods in applied geophysics*, Misac N. Nabighian (Ed.), Society of Exploration Geophysicists, IG-3, v. 2, p. 641-712.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE ADCP EN LA ZONA DE LAS ISLAS SAN LORENZO Y SAN ESTEBAN: EDICIÓN, CONTROL DE CALIDAD, CALIBRACIÓN Y ESTADÍSTICA BÁSICA

Laura Elena Carrillo Bibriezca, Maria Luisa Argote Espinoza, Alberto Amador Buenrostro, Carolina Morales Zúñiga y Felipe Plaza Flores

CICESE

Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, 22860, B.C.

RESUMEN

Se presenta la rutina de procesamiento seguida para el control de calidad y calibración de los datos procesados de BB-ADCP obtenidos durante junio de 1995, a bordo del B/O Francisco de Ulloa en la región del archipiélago central del Golfo de California. Los mayoría de los criterios sobre control de calidad de datos de ADCP reportados en la literatura han sido generados en el procesamiento de datos de corrientes obtenidos en zonas en donde la topografía del fondo presenta pendientes suaves y la magnitud de las corrientes es del orden de unos cuantos cm/s. En esas regiones se emplean como indicadores de datos erróneos la presencia de corrientes verticales intensas y las diferencias muy marcadas entre perfiles vecinos. En la zona del archipiélago, el campo de corrientes presenta intensas corrientes horizontales (de hasta 2.5 m/s), fuertes gradientes horizontales y velocidades verticales relativamente intensas. Por lo anterior, fue necesario establecer nuevos criterios para discernir la calidad de los datos. En este informe se presenta el procedimiento seguido para el control de calidad de los datos, que consistió en aplicar algunos de los criterios reportados en trabajos anteriores y nuevos criterios generados al procesar los datos en la región del archipiélago.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las corrientes oceánicas es básico para entender algunos procesos biológicos, químicos, geológicos y físicos que ocurren en una zona determinada. La medición de corrientes puede realizarse a través de métodos indirectos o directos. Entre los métodos directos de medición de corrientes se encuentran el seguimiento de trazadores tales como boyas, tintas, etc. y el uso de correntómetros. En las últimas décadas se han desarrollado instrumentos tales como los perfiladores acústicos de corrientes, que permiten obtener una mayor cobertura espacial y temporal que los métodos anteriores. El perfilador acústico de corrientes, a diferencia del correntómetro, que registra mediciones de la velocidad en un punto de la columna de agua, nos permite obtener el perfil de velocidad de toda la columna.

El presente informe contiene datos de corrientes obtenidos con un perfilador acústico doppler de corrientes (ADCP) durante el período del 14 al 27 de junio de 1995 a bordo del B/O Francisco de Ulloa, en la región del archipiélago central del Golfo de California (Figura 1). Esta campaña forma parte de un estudio para el análisis de la circulación, dispersión y mezcla de masas de agua en esta zona, en donde se realizaron en forma simultánea observaciones hidrográficas (CTD), de corrientes con anclajes de correntímetros y registros batimétricos. Se obtuvieron registros de corrientes con el ADCP para conocer el patrón de corrientes en la zona del archipiélago. Se ha reportado en la literatura un gran número de campañas de observación, en las cuales las corrientes han

sido medidas por medio de ADCP; no obstante, no ha sido reportado un procesamiento definido para datos de ADCP a un nivel técnico. Además, los criterios propuestos para el control de calidad de los datos son para áreas específicas, ya que al ser aplicados en la zona del archipiélago (en donde se presentan fuertes cambios batimétricos) no se obtienen resultados satisfactorios. Esto nos condujo a diseñar una rutina de procesamiento de los datos, a la elaboración de programas de cómputo y a la búsqueda de criterios más apropiados para el control de calidad de los datos recabados. En este trabajo se proponen criterios y una rutina para el procesamiento de datos de ADCP que sirvan de referencia para el procesamiento de futuras campañas y en particular en regiones que presentan cambios batimétricos abruptos.

OBTENCIÓN DE DATOS

INSTRUMENTACIÓN

Se utilizó un perfilador acústico de corrientes VM-150 ADCP con una señal acústica de 150 kHz, manufacturado por RD Instruments de San Diego CA (BB-ADCP). El BB-ADCP está constituido por un transductor cóncavo de 4 haces con un ángulo del haz de 30°, montado en el casco del B/O Francisco de Ulloa, cuya distancia nominal es de 2.8 metros a partir de la línea de flotación y está orientado 45° con respecto a la línea de fe del barco. El transductor no está directamente en contacto con el agua de mar sino que se encuentra inmerso en agua destilada.

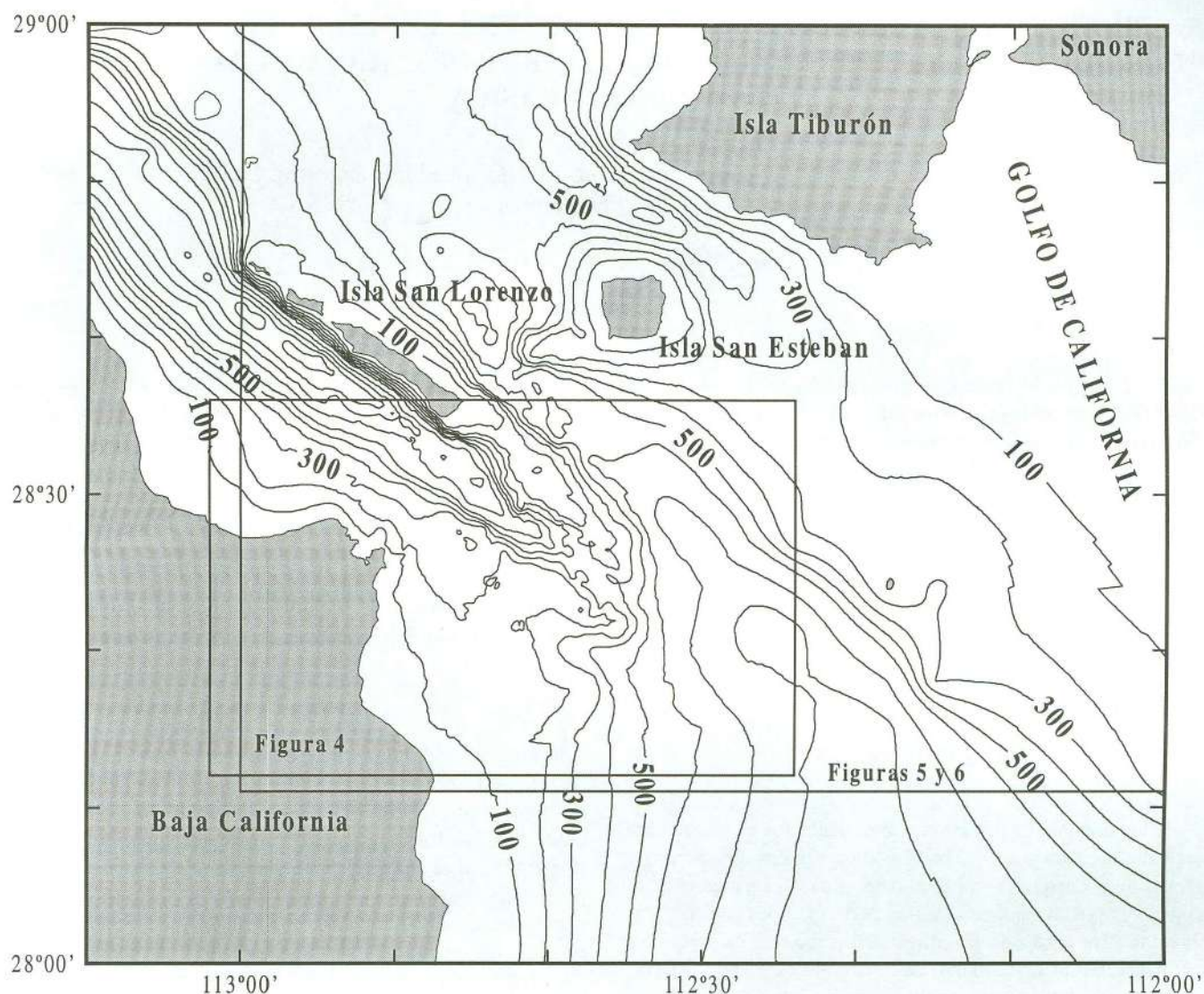


Figura 1. Batimetría del área de estudio y zonas aledañas.

La señal del BB-ADCP se envió a una interfase que también funciona como receptora de la señal del girocompás Sperry MK-37E del buque, el cual provee de la información del rumbo del barco. Ambas señales son enviadas a una computadora HP vectra 486-66, donde se encuentran los programas de cómputo utilizados para el almacenamiento de los datos provenientes del BB-ADCP y los datos de navegación que envía el navegador GPS Trimble XL. Es importante mantener ajustado y calibrado el rumbo del barco en la interfase con respecto a la señal de la girocompás durante la adquisición de los datos, debido a que pequeños errores en dicho ajuste conducen a grandes errores en la componente perpendicular de la velocidad del barco. El sistema de adquisición de datos se describe adelante.

EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El sistema de adquisición de datos utilizado es el programa BB-TRANSECT versión 2.70 proporcionado por RD

Instruments. Con éste se controla el perfilador, se reciben los datos, se promedia y se registra la información. Además, permite observar en pantalla los datos adquiridos en tiempo real (los detalles de operación se pueden consultar en el manual del BB-TRANSECT). Durante la adquisición de los datos, la información de navegación es capturada por medio del programa NAVSOFT del RDI, llamado por el programa BB-TRANSECT, a través del que se colecta y decodifica la información proveniente del GPS en forma simultánea a la toma de datos con el ADCP.

El programa BB-TRANSECT funciona como un sistema semi-autónomo de adquisición, pues requiere de una revisión ocasional una vez que se ha alimentado el programa con el archivo de configuración. La revisión depende de las circunstancias durante las mediciones, tales como el estado del mar, cambios de profundidad, o incluso, cuando la presencia un banco de peces obstruye la señal acústica del instrumento y detecta un fondo falso. Los cambios en el archivo de

configuración durante la toma de datos son válidos, anotándose en la bitácora la hora de la modificación y la naturaleza del cambio, por lo que es recomendable cambiar el nombre del archivo de configuración. Las modificaciones más comunes durante el tiempo de operación del instrumento incluyen: los cambios en el intervalo de muestreo, el número de capas de profundidad, los cambios en la intensidad de la señal acústica y del nivel de referencia, entre otras.

En el archivo de configuración se indica el intervalo de muestreo (en tiempo o espacio), el número de capas de velocidad del perfil (celdas de profundidad), la profundidad de muestreo deseada donde la profundidad nominal es limitada por el instrumento, el modo de operación (velocidades referidas al fondo y a una profundidad), entre otros parámetros. Antes de la obtención de datos se debe realizar un estudio de los parámetros que controlan la información (cambios batimétricos, velocidades esperadas, velocidad de navegación, características energéticas de la región de muestreo), así como diseñar los transectos que se realizarán, evitando los cambios de rumbo innecesarios o bien evitar mezclar estaciones de CTD con mediciones de ADCP en períodos cortos, pues aceleraciones y desaceleraciones afectan la calidad de la información.

El programa BB-TRANSECT genera archivos de datos crudos, datos procesados y datos de navegación. Los 2 primeros contienen información de las velocidades del ADCP. Los datos procesados contienen promedios de las señales acústicas (pings), donde cada intervalo de tiempo está dado en el archivo de configuración. Además, la posición también se promedia durante el muestreo. Los datos crudos contienen la información directa del ADCP sin procesado alguno, y no contienen información de navegación. Esta última se almacena en los archivos de navegación y se encuentra en el formato del GPS.

CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS

Se realizó una serie de transectos adyacentes a la región del archipiélago comprendida entre 28° y 29° de latitud norte y 113° y 112° de longitud oeste.

Cada archivo contiene arreglos de datos que representan un perfil promedio durante el intervalo de muestreo. Para este crucero cada arreglo corresponde al promedio de datos cada 2 minutos utilizando el fondo como referencia. Cada perfil de velocidad obtenido por el BB-ADCP se divide en un número igual de celdas de profundidad; a cada una de ellas se le sobreponen sus celdas vecinas (Figura 2). El centro de cada celda se puede ubicar aproximadamente en el centro de la celda de profundidad. Con el fin de evitar ruido en las mediciones cerca de la superficie, inducidas por el propulsor y la quilla del barco debido a aceleraciones y al efecto del oleaje, se elige una profundidad de "blanqueo". Sin embargo, se debe tener cuidado al tomar el dato de la primera celda pues éste forma parte de la región de *blanqueo*.

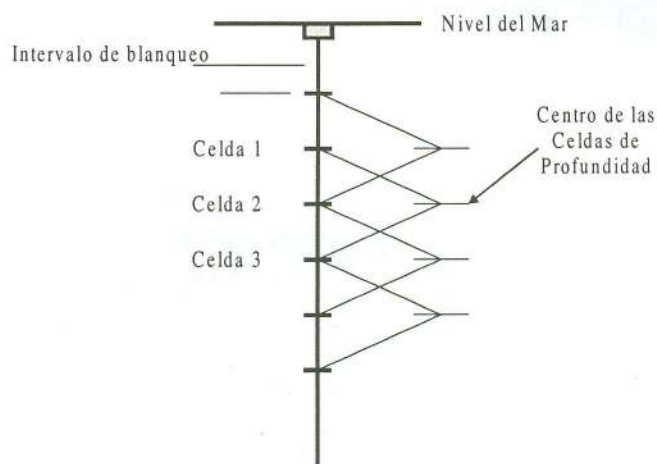


Figura 2. Diagrama que representa el intervalo de "blanqueo" y las celdas de profundidad. Obsérvese que cada celda se sobrepone a sus vecinas.

Para este crucero se realizaron transectos con arreglos de 72 celdas con profundidad de 4 m. La primera celda correspondió a la profundidad de 14.78m y la última celda a 298.78m.

El formato de estos archivos (Tabla 1) se obtiene con formato ASCII del programa BB-TRANSECT. Cada arreglo de los archivos procesados contiene información de fecha y hora, posición promedio en el arreglo, velocidad del barco con respecto al fondo y perfiles de magnitud y dirección de la velocidad de la corriente, componentes u y v de la velocidad de la corriente orientadas con respecto al norte magnético, componente vertical w , error de la velocidad vertical, intensidad de los haces, porcentaje de confiabilidad y gasto. El porcentaje de confiabilidad corresponde al porcentaje de la señal acústica recibida por el sistema durante el intervalo de muestreo. Las velocidades están expresadas en cm/s y el gasto en m^3/s .

El ADCP operó durante toda la campaña, generándose 53 archivos procesados (promedio) los que, después de pasar por el procesamiento que se explicará en las siguientes secciones, se redujeron a 38, según se indica en la Tabla 2.

PROCESAMIENTO APLICADO A LOS DATOS DE ADCP CAMPAÑA FU9506

La rutina de procesamiento de los datos de ADCP de la campaña FU9506 consistió básicamente en el cambio de formato a los archivos, la verificación de tiempo y fecha, el abanderamiento, la identificación, el control de calidad, la edición y la calibración. Cada uno de estos puntos se describen a continuación.

Tabla 1. Ejemplo del formato de los archivos procesados ASCII para FU9506.

Número de arreglo 95 6 17 5 28 37 67 1 9 .000 .000 130.630 22.210 270.60 -191.80 -9.00 -60 -32768.0 -32768.0 -32768.0 -32768.0 86.92 90.14 87.89 88.96 405.28 121.30 228.29 -330.76 401.89 28.3647900 -112.8312000 341.20 -114.90 463.30 -6797.9 -666.6 -1289.6 .0 .0 .0 .0 .0 .0 72 cm BT counts .43 .044												
Fecha y Hora 17 de Junio 1995 5:28 hrs.												
Componente u y v de la velocidad referida al fondo.												
Latitud y longitud promedio para ese arreglo.												
Número de celdas de profundidad, unidades y modo de operación (en este caso fondo como rereferencia).												
Matriz de datos. Columna 1: profundidad (m) Columnas 2-6 perfiles de velocidad: 2: rapidez (cm/s) 3: dirección (grados) 4: componente u (cm/s) 5: componente v (cm/s) 6: componente w (cm/s) 7: error de la vel. vertical (cm/s) Columnas 8-11 intensidad de la señal de cada transductor 1, 2, 3 y 4. Columna 12: porcentaje de confiabilidad Columna 13: Gasto (m³/s)												
Valores bandera												

CAMBIO DE FORMATO A LOS ARCHIVOS

Los archivos procesados provenientes de ADCP se encuentran en un formato binario y son cambiados a un formato ASCII utilizando el programa BB-TRANSECT en la función de PLAYBACK. El cambio de formato se hace según la descripción contenida en el manual de operación del ADCP (RD Instruments, 1995).

VERIFICACIÓN DE TIEMPO Y FECHA

Aunque el GPS y la computadora donde se efectúa el procesamiento deben estar sincronizados o bien tener un desfase no mayor a 5 segundos, la diferencia en tiempo puede ser corregida cuando se trabaja con los datos de navegación. Durante este crucero se confirmó que la hora y fecha en los archivos coincidiera con la indicada en la bitácora, por lo que la corrección en tiempo no fue necesaria.

ABANDERAMIENTO

Este proceso consiste en etiquetar datos que presentan contaminación durante la navegación por la cercanía del fondo, cambios batimétricos considerables, detección de un fondo falso debido a la presencia de organismos, mal funcionamiento

momentáneo del instrumento o interrupciones durante el almacenamiento de la información.

Para realizar la prueba de calidad y abanderamiento se elaboró un programa en lenguaje fortran con el que, además del abanderamiento, se cambia el formato para reducir espacio en la memoria de disco. En el abanderamiento, el primer criterio para descartar datos erróneos es el porcentaje de confiabilidad y/o el gasto. El porcentaje de confiabilidad es una medida de la intensidad de la señal recibida. El porcentaje de confiabilidad requiere de los 4 transductores para ser calculado. Se observó empíricamente que los datos se encuentran contaminados cuando el valor del gasto es mayor a 20000 m³/s, por lo que se decidió tomar el valor del gasto en conjunto con el porcentaje de confiabilidad como un primer criterio para el abanderamiento de los datos erróneos. El abanderamiento de datos contaminados consiste en sustituir con el número 9999.9 aquellas celdas con valores menores de 85% para el porcentaje de confiabilidad y un valor del gasto mayor a 20000 m³/s. No existe en la literatura un valor crítico único para el porcentaje de confiabilidad que garantice una buena calidad de los datos, sin embargo, se han considerado valores desde un 30% hasta un 95% (Münchow *et al.*, 1992; Ozimez *et al.*, 1993; Flagg y Shy, 1995). Para la información obtenida en este crucero se obtuvieron resultados satisfactorios con el

Tabla 2. Archivos ASCII con la información procedente del ADCP campaña FU9506, después de pasar por el control de calidad y edición.

NOMBRE DEL ARCHIVO	# DE ARREGLOS	HORA LOCAL	FECHA
9506006c.000	80	1:08-4:12	17/Junio/95
9506007c.000	29	4:19-5:17	17/Junio/95
9506008c.000	146	5:28-11:36	17/Junio/95
9506008c.001	135	11:38-17:46	17/Junio/95
9506008c.002	17	17:48-18:42	17/Junio/95
9506009c.000	125	20:08-1:40	17-18/Junio/95
9506009c.001	155	1:42-7:50	18/Junio/95
9506009c.002	59	7:54-9:50	18/Junio/95
9506011c.000	99	16:10-20:18	18/Junio/95
9506011c.002	42	2:08-4:00	19/Junio/95
9506012c.000	21	4:02-5:08	19/Junio/95
9506014c.001	37	11:50-14:46	19/Junio/95
9506014c.002	33	15:39-18:12	19/Junio/95
9506014c.003	16	18:47-20:04	19/Junio/95
9506015c.000	121	20:07-1:47	19-20/Junio/95
9506016c.000	185	1:50-9:16	20/Junio/95
9506016c.001	131	9:18-15:32	20/Junio/95
9506017c.000	88	15:42-20:04	20/Junio/95
9506019c.000	28	20:06-21:00	20/Junio/95
9506023c.000	185	21:14-4:08	21-22/Junio/95
9506023c.001	21	4:10-5:18	22/Junio/95
9506024c.000	63	5:29-8:25	22/Junio/95
9506025c.000	75	8:34-16:10	22/Junio/95
9506025c.001	78	16:12-23:54	22/Junio/95
9506025c.002	109	1:10-10:16	23/Junio/95
9506025c.003	25	10:18-12:40	23/Junio/95
9506026c.000	141	21:29-4:15	23-24/Junio/95
9506027c.000	32	9:33-15:25	24/Junio/95
9506027c.001	25	19:29-22:59	24/Junio/95
9506027c.002	150	0:53-6:41	25/Junio/95
9506027c.003	123	6:46-14:03	25/Junio/95
9506028c.000	15	14:11-15:07	25/Junio/95
9506030c.000	172	16:44-1:46	25-26/Junio/95
9506030c.001	153	1:48-7:32	26/Junio/95
9506031c.000	178	7:35-15:17	26/Junio/95
9506031c.001	138	15:19-21:25	26/Junio/95
9506032c.000	67	22:03-4:47	26-27/Junio/95
9506033c.000	14	5:58-6:27	27/Junio/95

85%. El resultado de aplicar este criterio para eliminar datos erróneos se indica en la Figura 3. En esta figura se presenta un transecto (archivo 9506011.000) en gráfica tipo astillas, en el que se observa claramente como se han eliminado datos erróneos, principalmente cerca del fondo.

IDENTIFICACIÓN

Esta parte del procesamiento consiste en identificar transectos, estaciones de CTD, cambios del rumbo del barco, huecos en la información o bien arreglos sospechosos de contaminación por navegación, fondo u otras causas. Esta identificación se realizó graficando los vectores de velocidad para una primera visualización de la información. Este procedimiento depende de la apreciación y experiencia del observador y es un paso importante para establecer la coherencia de la información y detectar arreglos sospechosos. La identificación de cambios pronunciados en el rumbo del barco y huecos en la información, se realiza utilizando el programa *flag.m*, elaborado en MATLAB. Este programa genera un archivo de salida con el listado de los arreglos donde

se realizan cambios abruptos del rumbo del barco o donde existen huecos en la información.

CONTROL DE CALIDAD

Para definir la calidad de los datos, se siguieron pruebas utilizando criterios estadísticos, de correlación y visual, sugeridos por Ozimek *et al.* (1993), Flagg y Shy (1996) y los procedimientos para procesar datos de ADCP sugeridos por el CODAS de la Universidad de Hawaii. Se utilizó la velocidad en la vertical w y el error de la velocidad vertical para discriminar datos de calidad pobre, pero se observó que la aplicación de estos criterios no fue suficiente en esta campaña, debido principalmente a que en esta zona la velocidad vertical es intensa y muy variable y por lo tanto el orden del error de la velocidad vertical es del orden de la velocidad w (según observaciones de los datos).

Los criterios más satisfactorios para llevar un control de calidad de la información de este crucero dependen principalmente de la estadística básica de los perfiles de u y v para descartar datos con una calidad dudosa. Se observó que perfiles con una confianza estadística pequeña fueron aquellos en que las componentes u y/o v de la velocidad presentaban un valor mayor a 3 veces la desviación estándar de su promedio, así como aquellos que presentaban velocidades superiores a 150 cm/s en todo el perfil, aún cuando se encontraron perfiles de velocidad con magnitudes de hasta 300 cm/s. En esta zona es posible encontrar velocidades altas (250 cm/s, según datos de correntómetros correspondientes a esta misma campaña), pero estas velocidades sólo se observan en ciertas profundidades y no en toda la columna de agua. Una forma de automatizar este procedimiento fue la utilización de los programas elaborados en MATLAB *estadis.m* y *amplitud.m*, respectivamente.

Otro criterio estadístico utilizado para eliminar arreglos erróneos fue la correlación entre arreglos vecinos, principalmente de las componentes u , v , y en la dirección. El programa elaborado en MATLAB para tal fin es *cricorr3.m*. Es importante, sin embargo, considerar que los accidentes batimétricos pueden inducir variaciones drásticas entre perfiles vecinos como el caso donde la batimetría cambia abruptamente por la presencia de umbrales y canales (Figura 1).

Con todos estos criterios en ocasiones resulta complicado discernir la calidad de la información. Aunque la estimación visual es subjetiva, en muchos de los casos es el mejor recurso para discernir la calidad de los datos.

EDICIÓN

El trabajo de edición consiste en la eliminación de aquellos arreglos identificados como erróneos y en la rectificación de algún problema de formato de escritura (normalmente por insuficiencia del espacio). También se eliminan los perfiles cuando existen cambios repentinos en la velocidad de navegación o cuando sólo se tienen datos aislados.

Transecto 9606011.000 arreglos 140:170

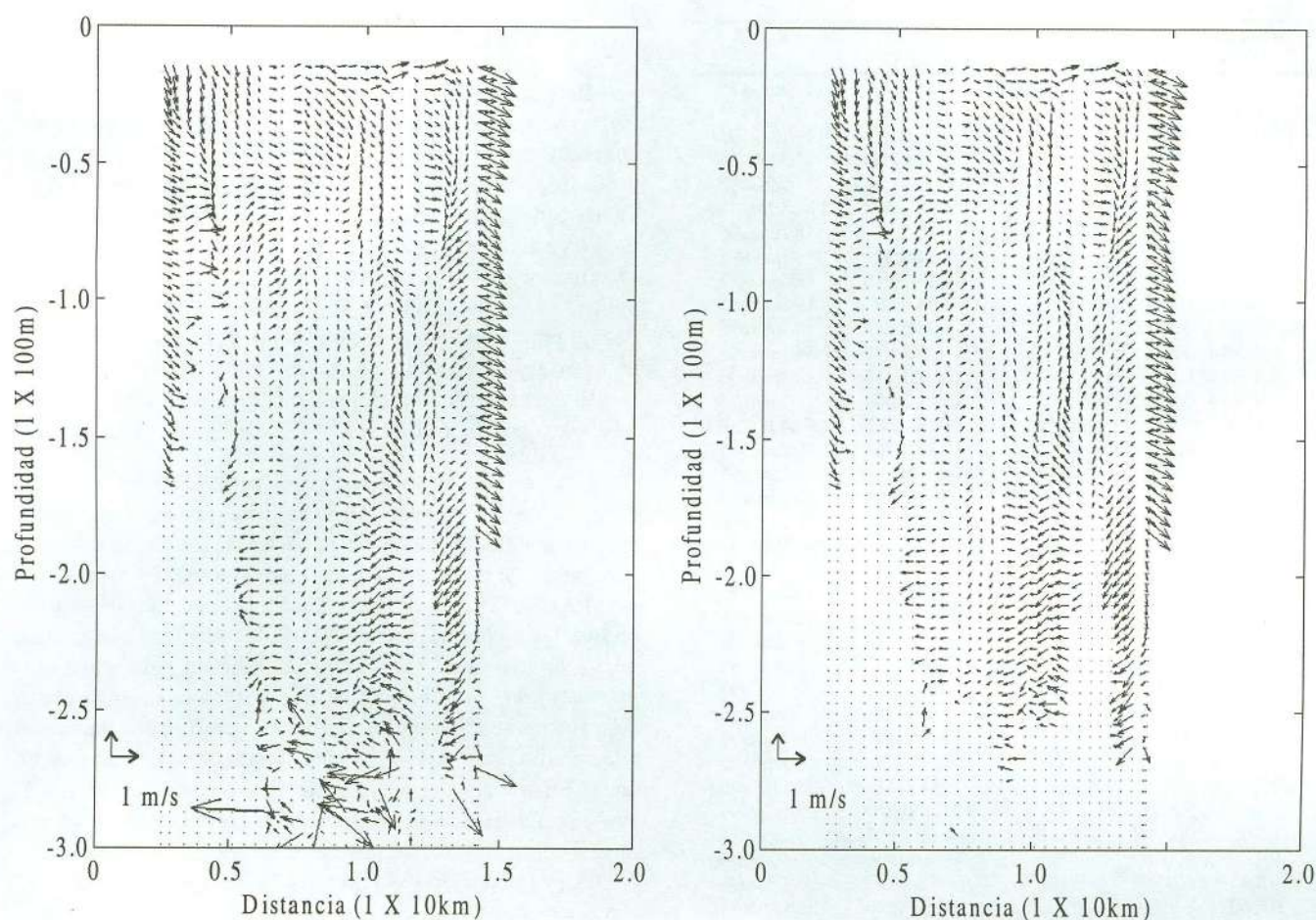


Figura 3. Gráficas tipo astillas para la sección del transecto del archivo 9506011.000 que comprende los arreglos 140:170. a) Utilizando un porcentaje de confiabilidad de 10%. b) Aplicando un porcentaje de confiabilidad de 85%.

El resultado de aplicar la edición sobre los datos se puede observar en la Figura 4. Nótese como se eliminan los datos erróneos provocados por cambios en el rumbo de la navegación, fluctuaciones en la velocidad del barco o cambios batimétricos.

CALIBRACIÓN

Existe una incertidumbre en la orientación del ADCP con respecto al rumbo del barco, la cual puede ser fija y causada por una mala alineación del instrumento durante su instalación o bien, variable debido a desajustes del ángulo de la girocompás del barco durante la operación del ADCP. Debido a que pequeñas desviaciones en el ángulo del rumbo pueden conducir a errores tanto en la dirección como en la escala de las velocidades observadas, es necesario determinar los valores del ángulo de desfase y el factor de escala para ajustar o calibrar los datos. Este paso en el procesamiento de la información recibe el nombre de calibración.

La calibración de los datos fue realizada usando la rutina establecida por Pollard y Read (1989) y Joyce (1989). Esta consiste básicamente en una comparación entre las velocidades obtenidas por navegación contra las velocidades estimadas usando el fondo como referencia. Los parámetros de la calibración fueron obtenidos por el programa en MATLAB *bt.m* (versión modificada del programa *btcuv.m* del CODAS). En este programa, la obtención de los valores de escalamiento y ángulo de rotación son obtenidos expresando el vector de velocidad (u, v) como un número complejo ($u+iv$). Calculando el valor absoluto y el ángulo del cociente entre el número complejo de la velocidad de navegación (u_{nav}) y la velocidad usando el fondo como referencia (u_{vbt}), obtenemos el factor de escalamiento y el ángulo de desfase, respectivamente.

Se utilizaron transectos con una trayectoria más o menos rectilínea y sin aceleraciones notables para calcular los valores de escala y desfase. En las Tablas 3 y 4 se muestran los valores de la mediana, media y desviación estándar para la escala y el desfase en grados. El valor medio de todos los transectos es

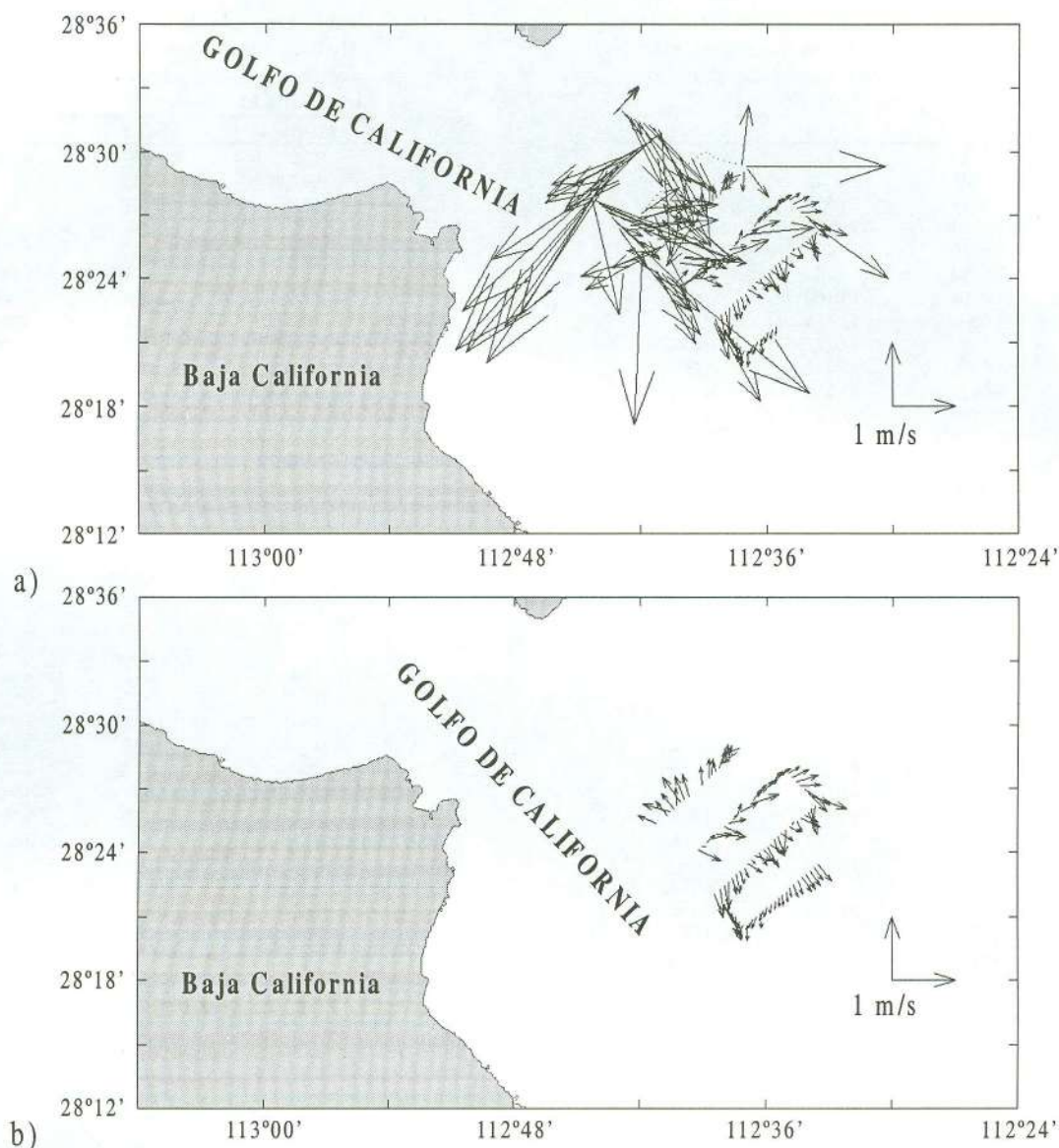


Figura 4. Vectores de velocidad correspondientes al promedio de los primeros 50 metros del archivo 9506011c.000. a) Sin aplicar criterios, b) Aplicando criterios de control de calidad.

1.0249 y 0.3886° para el escalamiento y la rotación respectivamente. Los errores potenciales sobre los datos de esta campaña pueden ser hasta ± 15 cm/s para una rapidez de 70 cm/s (aproximadamente un 20%), o tan pequeños como ± 1 cm/s o aún menores. En virtud de que la desviación estándar del instrumento es de ± 1 cm/s esta corrección es innecesaria para valores de velocidad menores a 10 cm/s.

PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

TRANSECTOS

En la Figura 5 se muestra la localización en el área de estudio de los transectos de ADCP realizados durante la campaña FU9506, del 16 al 27 de junio de 1995, a bordo del

B/O Francisco de Ulloa. En la Figura 6 se muestran las secciones a las cuales se redujeron los datos una vez corregidos.

ESTADÍSTICA BÁSICA

En las Figuras 7 y 8 se muestran perfiles representativos de valores promedio y desviación estándar para la rapidez, componente u , componente v , componente w , % de confiabilidad y el error de la velocidad vertical. Los perfiles corresponden al promedio de los arreglos del archivo 9506008.000 arreglos del 45 al 100. Se muestran los perfiles representativos de los valores promedios, para los datos antes (Figura 7) y después a la corrección (Figura 8). Obsérvese como es mejorada la calidad de la información al discriminar datos erróneos del análisis.

Tabla 3. Resultados de la calibración.
Mediana, media y desviación estándar del factor de escalamiento para datos de ADCP (campana FU9506).

Mediana	Media	Desv. Est.
1.0127	1.0172	0.0665
0.9843	1.0445	0.1769
1.0172	1.0590	0.1985
1.0054	1.0155	0.0597
0.9980	1.0107	0.0580
0.9994	1.0106	0.0582
1.0104	1.0102	0.0626
1.0060	1.0116	0.0262
1.0174	1.0227	0.0563
1.0036	1.0133	0.0654
1.0453	1.0231	0.0808
1.0170	1.0241	0.1526
1.0105	1.0130	0.0580
1.0058	1.0119	0.0687
1.0098	1.0106	0.0615
1.0143	1.0121	0.0630
1.0047	1.0128	0.0592
1.0064	1.0067	0.1158
1.0078	1.0131	0.0639
1.0316	1.0225	0.0537
1.0231	1.0254	0.0832
1.0075	0.9992	0.0540
0.9838	0.9814	0.1321
1.0324	1.0329	0.0907
1.0543	1.0096	0.1516
1.0278	1.0189	0.1016
1.0018	1.0103	0.6000
1.0120	1.0358	0.1189
1.0039	1.0531	0.2173
1.0476	1.0886	0.2381
0.9962	1.0040	0.0776
1.0434	1.1081	0.2121
1.0135	1.0256	0.1543
1.0210	1.0185	0.0480
1.0176	1.0534	0.1542
0.9794	1.0085	0.1280
1.0181	1.0143	0.0844
1.0195	1.0581	0.3177
1.0135	1.1097	0.4160
1.0299	1.0341	0.0776
1.0226	1.0762	0.2434
1.0069	1.0076	0.0253
1.0020	1.0019	0.0555
1.0181	1.0601	0.1352
0.9851	0.9772	0.1494
1.0134	1.0821	0.7158
0.9812	1.0068	0.1130
1.0099	1.0411	0.1542
0.9736	0.9926	0.0533
1.0178	1.0072	0.0499
1.0157	1.0020	0.1452
1.0101	1.0053	0.0486
1.0017	1.0033	0.0721
1.0518	1.0213	0.0811
1.0072	1.0114	0.0719
1.0301	1.0128	0.0718
1.0230	1.0108	0.0912
1.0143	1.0258	0.0880
1.0152	1.0109	0.0506
1.0118	0.9962	0.0460
1.0486	1.0693	0.1256
1.0073	1.0693	0.4057
Media:	1.0132	0.0281

Tabla 4. Resultados de la calibración.
Mediana, media y desviación estándar del ángulo de desfase para datos de ADCP (campana FU9506).

Mediana	Media	Desv. Est.
0.3590	0.8190	4.2718
4.4739	-0.0013	15.3732
0.5187	-0.5420	5.1638
0.5804	0.7268	2.6917
0.3409	0.5247	2.8098
0.4750	0.4083	1.1915
0.5400	0.9039	3.0082
0.8941	0.0436	4.7389
-0.3698	-0.4227	4.8758
0.5537	0.6487	3.4776
0.1259	0.1741	2.7616
1.0945	0.6718	4.7412
0.7542	0.5393	3.4495
0.7543	0.7704	2.8008
1.8242	0.9638	3.6623
0.5766	1.0574	2.6167
1.0708	0.0590	3.1779
-0.4410	-0.8701	12.7729
1.2795	1.5510	1.3476
0.0318	-0.1596	3.6372
-0.4331	0.5688	2.5342
-0.4213	0.1553	2.5881
1.1484	-0.2377	8.4246
0.2353	1.0415	4.8925
3.6470	1.1234	5.5866
0.9351	1.1997	2.0199
-0.9155	-0.4266	4.8767
1.3797	1.7354	5.2664
0.7640	-0.3535	5.2942
-1.7078	-0.7947	16.8225
-1.0600	0.2006	4.5168
0.6117	1.0448	5.8746
0.6242	-0.0698	3.1941
-0.9763	0.4205	4.2827
0.0399	-2.6564	10.0369
1.3234	1.2252	3.7913
1.1117	0.0467	3.1656
-0.3095	1.4972	26.8644
0.3609	0.7561	4.7387
1.3225	-0.4100	11.4653
-0.5542	-0.4633	9.2108
0.0444	0.8048	3.8974
1.3085	1.1355	4.8130
1.1207	0.6533	2.3437
-1.3337	0.6945	15.7044
0.9803	1.1285	6.9010
-0.7959	0.1404	6.5721
0.6308	-0.5250	4.7049
1.5542	1.6469	4.1970
1.2755	0.7504	2.4768
0.7169	1.0220	3.9001
1.5860	0.8875	3.8573
0.2156	0.7833	3.6736
-0.1177	1.3896	6.3478
0.5935	1.0530	4.2663
-0.5904	-0.1865	3.7959
1.5708	0.2104	4.7551
0.5814	1.2419	3.6714
1.2389	1.4366	2.6872
0.7417	0.3241	2.4279
-0.1591	-2.2173	8.9136
0.6246	-1.7513	14.2030
Media:	0.6088	0.8755

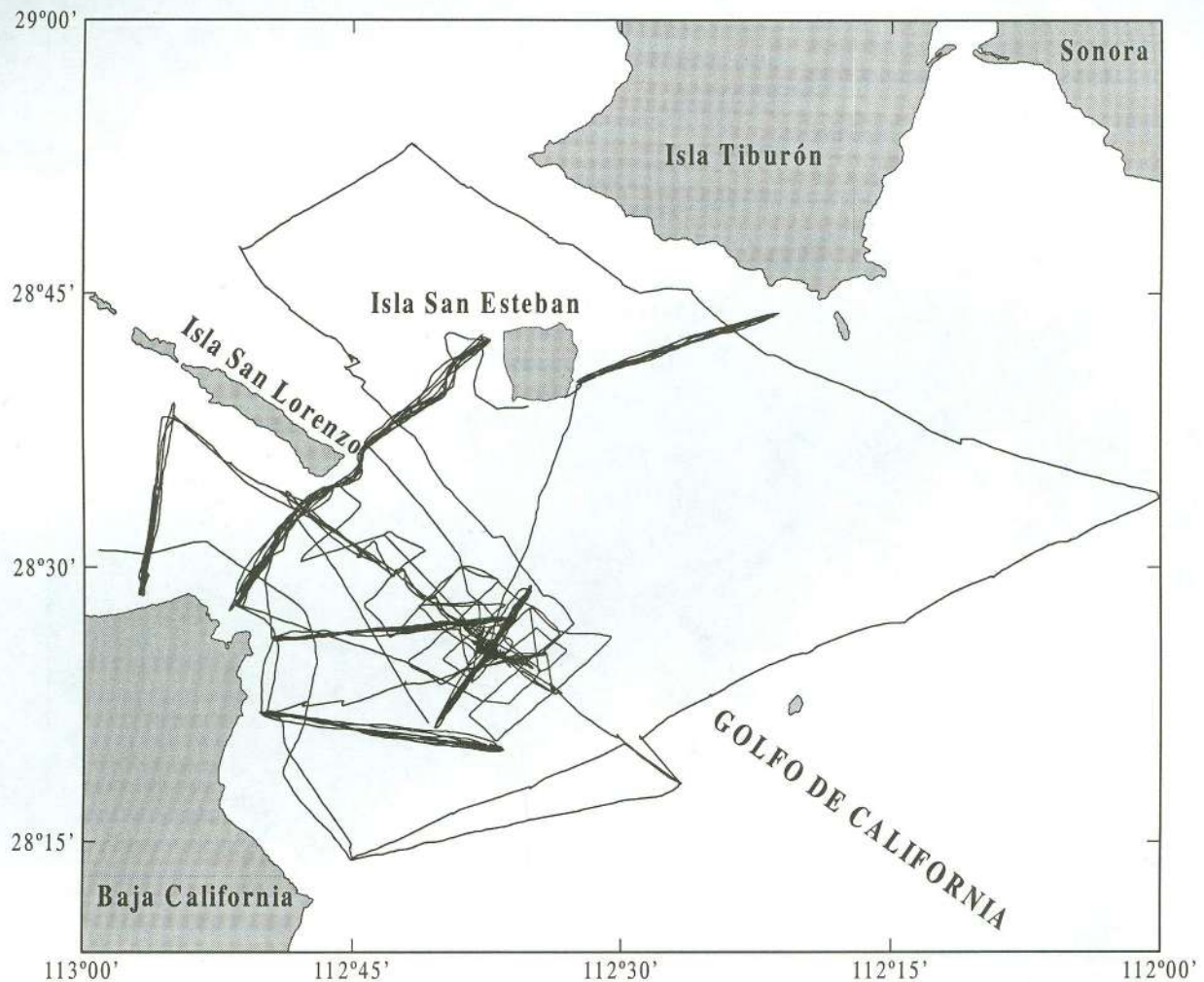


Figura 5. Localización en el área de estudio de los transectos de ADCP realizados durante la campaña FU9506, del 16 al 27 de junio de 1995, a bordo del B/O Francisco de Ulloa.

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Los criterios existentes en la literatura son particulares para áreas donde las condiciones físicas (pendiente suave en el fondo y corrientes relativamente débiles), permiten obtener información de calidad aceptable con un mínimo de procesamiento. Los criterios aplicados bajo estas condiciones, tales como utilizar la velocidad vertical (componente w de la velocidad) y el error en la velocidad vertical no fueron suficientes para esta área de estudio, ya que la batimetría complica el análisis, no sólo por el error ocasionado durante la adquisición de los datos por los fuertes cambios batimétricos, sino también porque esta zona del archipiélago es caracterizada por la intensa mezcla y turbulencia generada por las fuertes corrientes de marea, inducidas por el estrechamiento del Golfo de California y la presencia de umbrales y las velocidades en la vertical son relativamente grandes y variables, comparadas con otras zonas del Golfo de California. Esto condujo a buscar empíricamente nuevos criterios como la aplicación de criterios estadísticos, de correlación entre arreglos vecinos y valores

críticos para la magnitud de la velocidad de hasta 150 cm/s. Sin embargo, el discernir la calidad de los datos no depende de criterios rígidos o establecidos y se encontró que el factor subjetivo del analista siempre fue el más importante.

La carencia de un procesamiento definido para datos de ADCP nos condujo a diseñar una rutina de procesamiento, a la elaboración de programas de cómputo y a la búsqueda de criterios más apropiados para el control de calidad. Este trabajo propone una rutina para el procesamiento de datos de ADCP que se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Cambio de formato a los archivos.
2. Verificación de tiempo y fecha.
3. Abanderamiento de datos erróneos.
4. Identificación de transectos.
5. Control de Calidad por medio de criterios: visual, estadística, correlación y amplitud.
6. Edición.
7. Calibración.

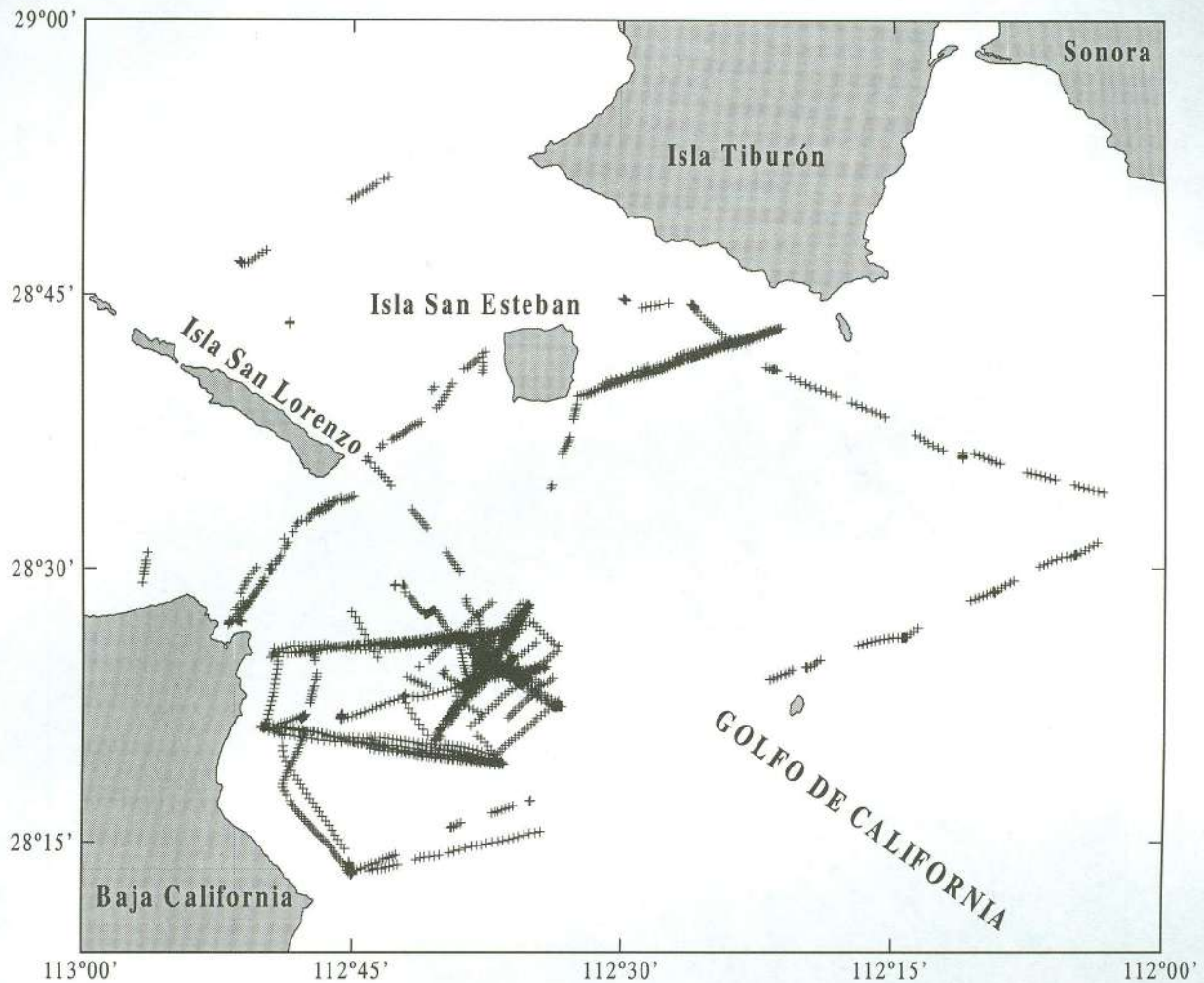


Figura 6. Localización en el área de estudio de las secciones de los transectos originales de los datos corregidos.

Los criterios de calidad del punto 5 (sección III.5) fueron los establecidos específicamente para discernir la calidad de los datos de la zona del archipiélago. Se espera que estos criterios y procedimientos sirvan de referencia para procesamiento de campañas posteriores en la zona. Los programas de cómputo aún no se encuentran en una etapa terminal, pues no son amigables al usuario, pero pueden ser obtenidos solicitándolos a la siguiente dirección de correo electrónico: lcarrill@cicese.mx.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo brindado por el Capitán Gerardo Sánchez Lías y a la tripulación del B/O Francisco de Ulloa su valiosa colaboración durante la adquisición de datos. Algunos de los programas integrados en la calibración fueron proporcionados por el Dr. Julio Candela, a quien agradecemos también sus sugerencias durante el procesamiento de los datos. Este trabajo fué realizado con el apoyo financiero de CICESE y CONACyT (Convenio 4929-T).

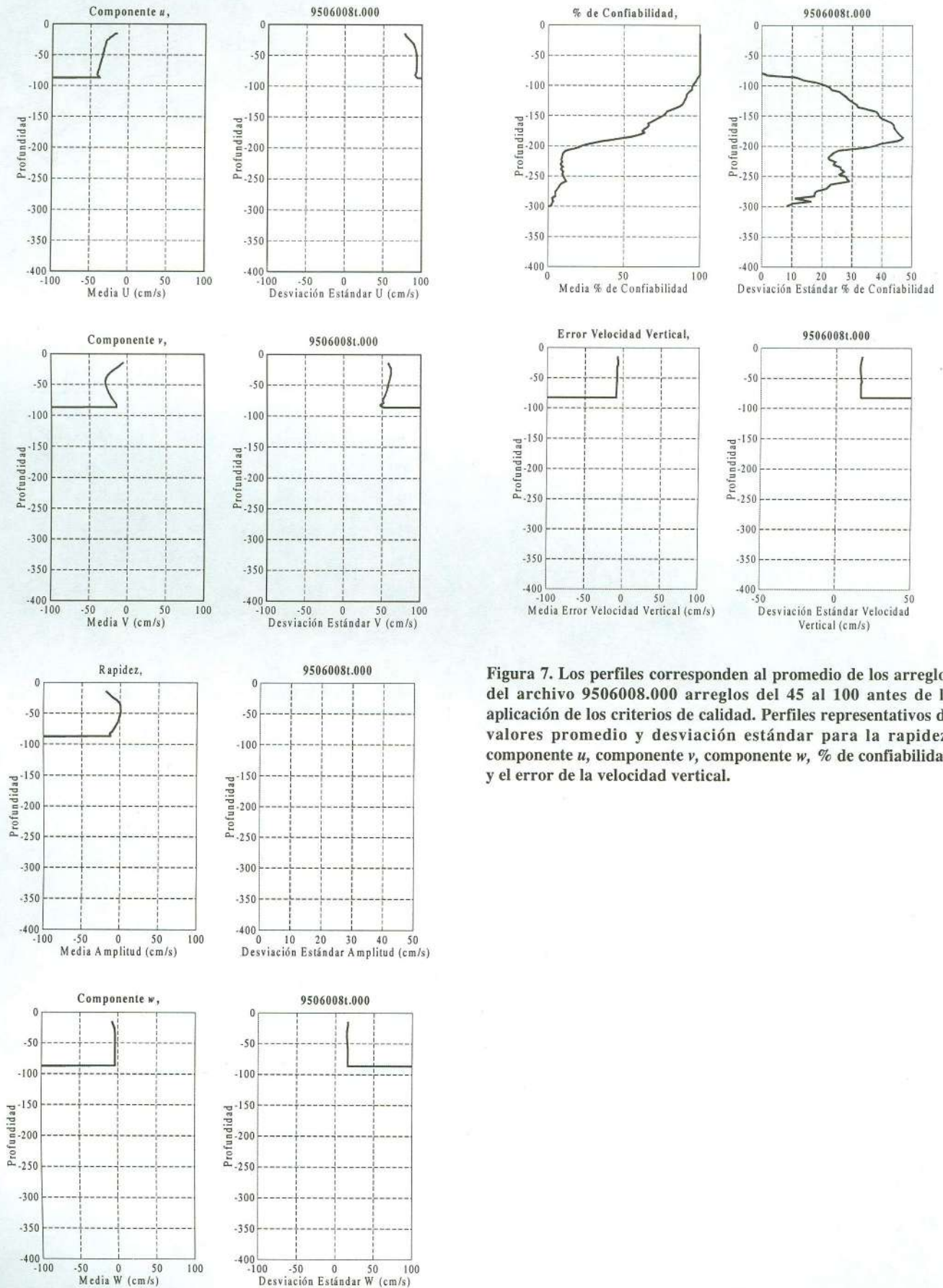


Figura 7. Los perfiles corresponden al promedio de los arreglos del archivo 9506008t.000 arreglos del 45 al 100 antes de la aplicación de los criterios de calidad. Perfiles representativos de valores promedio y desviación estándar para la rapidez, componente u , componente v , componente w , % de confiabilidad y el error de la velocidad vertical.

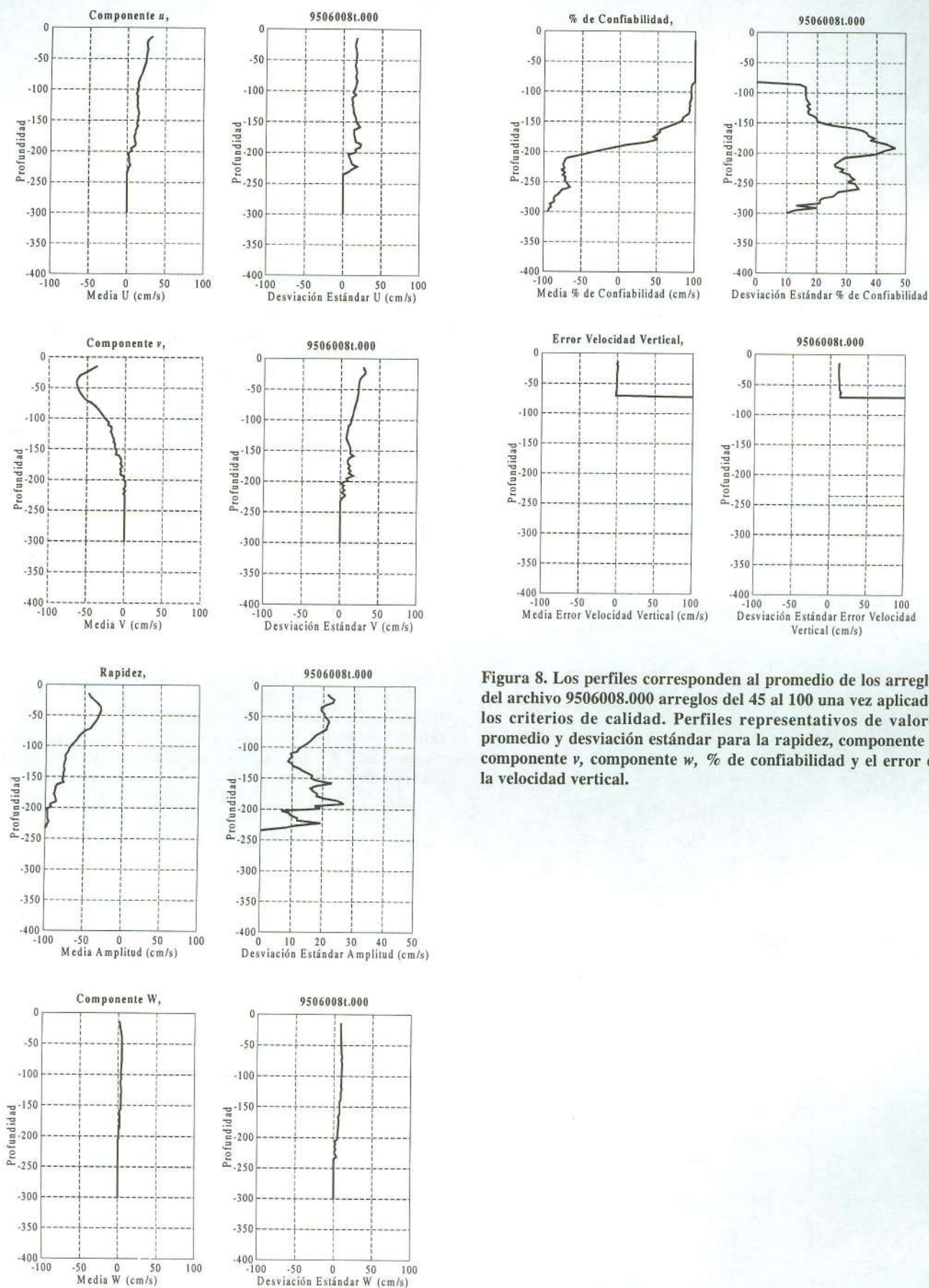


Figura 8. Los perfiles corresponden al promedio de los arreglos del archivo 9506008.000 arreglos del 45 al 100 una vez aplicados los criterios de calidad. Perfiles representativos de valores promedio y desviación estándar para la rapidez, componente u , componente v , componente w , % de confiabilidad y el error de la velocidad vertical.

REFERENCIAS

- Firing, E., J. Ranada and P. Caldwell. Processing ADCP Data with CODAS Software System Version 3.1. University of Hawaii. June, 1995.
- Flagg, C. and Y. Shi. Acoustic Doppler Current Profiling from the JGOFS Arabian Sea Cruises Aboard the RV T.G. THOMPSON. Data Report. Oceanographic and Atmospheric Sciences Division, Brookhaven National Laboratory, April, 1995.
- Joyce, T. M., "On situ "calibration" of shipboard ADCPs", J. Atmos. Oceanic. Technol., Vol. 6, pp. 169-172 (1989).
- Münchow, A., R. W. Garvine and T.F. Pfeiffer. Subtidal currents from a shipboard acoustic Doppler current profiler in tidally dominated waters. Continental Shelf Research, Vol 12, No.4, pp. 499-515 (1992).
- Ozimek, K., P. Flament, E. Firing, J. Firing, J. Read, R. Pollard and J. Luyten. Shipboard Acoustic Doppler Current Profiler, Data from the Angulhas Current and Retroflexion Region. SOEST Technical Report 93-04. School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii. April, 1993.
- Pollard, R. and J. Read, "A method for calibrating shipmounted Acoustic Doppler Profilers and the limitations of gyro compasses", Journal of Atm. and Ocn. Tech, vol. 6, No. 6, pp. 859-865 (1989).
- RD Instruments. Direct Reading and self-contained Broadband Acoustic Doppler Current Profiler Technical Manual, November 1995.

SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO

GRUPO RESNOM

Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Apartado Postal #2732, Ensenada, Baja California, México
E-mail: resnor@cicese.mx

REFERENCIAS

Este Boletín de Información Sísmica tiene como objetivo difundir las localizaciones de los sismos registrados por la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM), en la región norte de Baja California y áreas adyacentes con magnitudes $M \geq 3.5$ en el período comprendido de **Enero a Abril de 1999**.

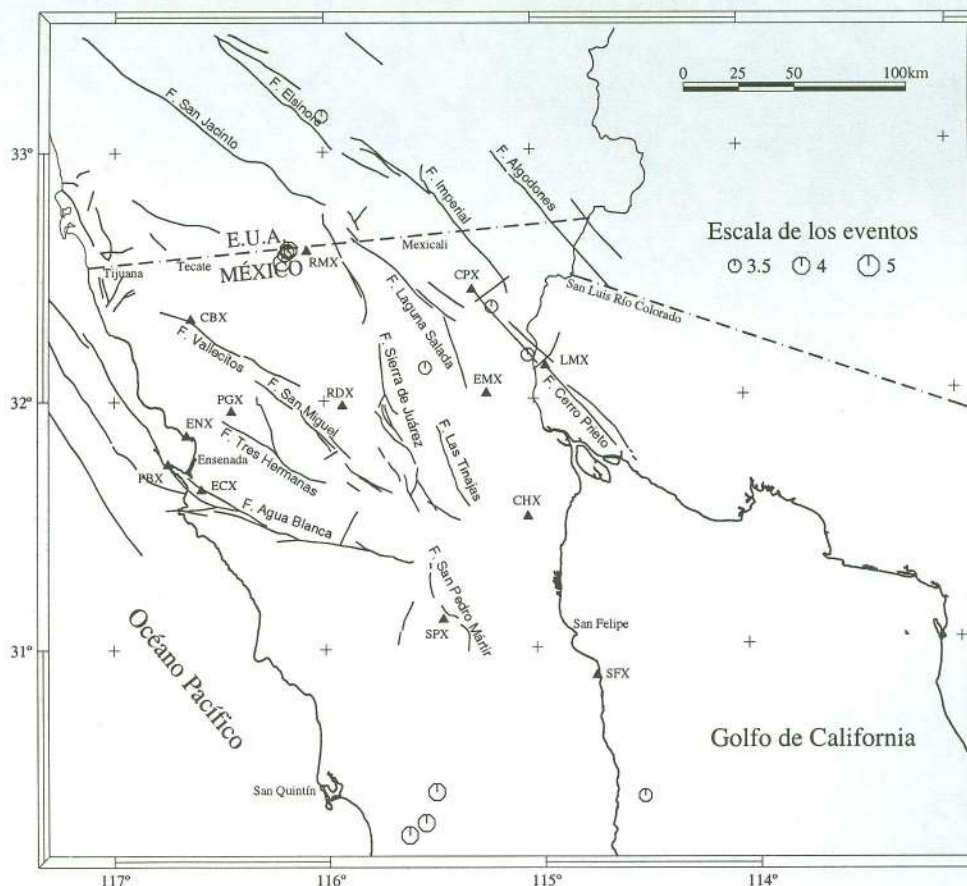
La localización de los temblores se realiza con el programa HYPO71 (Lee y Lahr, 1995), en combinación con los modelos de corteza propuestos por Reyes (1979) para el Valle de Mexicali y por Nava y Brune (1982) para el Macizo Roco en Baja California Norte. La profundidad de los eventos (PROF) se reporta en kilómetros y cuando la fija el operador se indica con un asterisco. El error cuadrático medio (RMS) lo calcula el programa HYPO71 con los residuales de los tiempos de viaje. En la tabla de coordenadas epicentrales también se indica el número de lecturas empleadas para la localización de los eventos. La magnitud MD se estima con la duración del registro usando las relaciones empíricas propuestas por González y García (1986).

González-G., J.J. y García-A. R., 1986, Escala de magnitud-coda para estaciones sismográficas en el norte de Baja California, Resumen extenso en Memorias de la Reunión 1986 de la Unión Geofísica Mexicana, A.C., p. 399-406.

Lee, W.H. and Lahr J.C., 1975, HYPO 71 (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U.S. Geological Survey, Open-file rept., 75-311.

Nava, F.A. and Brune J.N. 1982, An earthquake-explosion reversed refraction line in the peninsular ranges of Southern California and Baja California, Bulletin of the Seismological Society of America, 72, 1195-1206.

Reyes A., 1979, Estudio de microsismicidad del sistema de fallas transformadas Imperial-Cerro Prieto, Informe Técnico GEO79-01, CICESE, 114 p.



TIEMPO				COORDENADAS		PROF.	M _p	RMS	NO	REGIÓN
DÍA	HR	MN	SEG	LAT. N	LON. O					
FEBRERO 1999										
19	03	08	33.87	32°33.54'	116°11.77'	4.73	4.2	0.08	14	Localizado a 52 km al noreste de CBX. (sentido en Tecate, Mexicali, B.C. y Calexico, CA., EUA).
19	03	22	39.45	32°35.29'	116°11.07'	4.59	3.6	0.10	14	Localizado a 54 km al noreste de CBX. (sentido en Tecate, Mexicali, B.C. y Calexico, CA., EUA).
19	16	27	52.61	33°08.56'	116°00.28'	15.56	3.7	0.01	10	Localizado a 104 km al noroeste de CPX. (sur de la Falla San Jacinto, CA., EUA).
27	22	31	55.94	32°10.46'	115°01.44'	15.66	3.9	0.08	16	Localizado a 10 km al norte de LMX. (Falla Cerro Prieto, Sentido en el Valle de Mexicali, B.C. y al sur de la Capital del Estado).
MARZO 1999										
13	13	31	20.74	32°36.51'	116°09.89'	2.81	4.0	0.14	18	Localizado a 58 km al noreste de CBX. (sentido en el poblado de La Rumorosa, Ciudad de Tecate y Mexicali, B.C. y Jacumba, CA., EUA).
14	16	49	38.64	32°22.22'	115°11.48'	2.66	3.5	0.29	15	Localizado a 12 km al sureste de CPX. (Falla Cerro Prieto, B.C.).
17	20	04	59.32	30°23.59'	114°30.32'	3.37	3.9	0.07	11	Localizado a 60 km al sur de SFX. (frente a las costas de B.C.).
ABRIL 1999										
07	06	26	40.87	32°36.35'	116°10.14'	4.96	3.9	0.21	14	Localizado a 57 km al noreste de CBX. (sentido en el poblado de La Rumorosa, B.C.).
18	15	53	1.48	32°35.93'	116°10.07'	3.71	3.9	0.21	23	Localizado a 57 km al noreste de CBX. (sentido en el poblado de La Rumorosa, B.C.).
21	13	46	53.90	32°07.67'	115°30.78'	11.57	3.5	0.16	21	Localizado a 33 km al noroeste de EMX. (entre las Fallas Sierra Juárez y Laguna Salada, B.C.).
28	13	12	39.57	30°25.30'	115°28.99'	15.50	4.0	0.17	15	Localizado a 70 km al sur de SPX. (sentido en el Rosario, San Quintín y Vicente Guerrero, B.C.).
28	19	08	36.75	30°17.88'	115°32.08'	6.78	4.3	0.14	17	Localizado a 83 km al sur de SPX. (sentido en el Rosario, San Quintín, Vicente Guerrero, Camalú, San Vicente y San Felipe, B.C.).
28	19	34	7.44	30°15.00'	115°36.82'	2.47	4.1	0.20	13	Localizado a 89 km al sur de SPX. (sentido en el Rosario, San Quintín y Vicente Guerrero, B.C.).

GRUPO RESNOM: Luis Munguía Orozco, Luis Orozco León, Julia del Carmen Sánchez Rodríguez, Oscar Gálvez Valdéz, Francisco J. Farfán Sánchez, Ignacio Méndez Figueroa, Luis Inzunza Romero, Ruth Eaton Montaña.

EL AÑO GEOFÍSICO INTERNACIONAL 1957-1958 Y LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA EN EL INICIO DEL SIGLO XXI

Jaime Urrutia Fucugauchi

Instituto de Geofísica, UNAM, Coyoacán, 04510, D.F., México

El Año Geofísico Internacional (IGY) constituyó el primer programa de investigaciones de carácter global, en que la comunidad internacional en diferentes niveles desde las acciones individuales y de grupo hasta las instituciones gubernamentales participó activamente en las etapas de planeación y desarrollo. El Instituto de Geofísica de la UNAM era una joven institución durante el Año Geofísico Internacional en el periodo 1957-1958. El Instituto inició sus actividades en febrero de 1949 bajo la dirección de Don Ricardo Monges López y los numerosos proyectos de investigación desarrollados bajo los auspicios del IGY permitieron a los grupos de investigación del Instituto de Geofísica colaborar con la comunidad internacional de Ciencias de la Tierra. El cincuentenario del Instituto, los recientes homenajes a sus tres primeros directores, Ricardo Monges, Julián Adem e Ismael Herrera y el arribo del siguiente milenio, nos proporcionan motivos para reflexionar sobre las actividades pasadas y los desafíos y oportunidades actuales y futuros.

Durante el IGY, entre julio 1, 1957 y diciembre 31, 1958, se tuvo la participación de cerca de 80,000 científicos de 67 diferentes naciones, que realizaron observaciones y condujeron experimentos a escala global en el planeta. El IGY se realizó bajo los auspicios del Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU) y constituyó una de las bases para la realización de programas internacionales, que continúan actualmente con el legado y tradición de la cooperación entre países tales como el Programa Internacional de la Litósfera (ILP) o el Programa Internacional de Geósfera-Biosfera (IGBP). El próximo arribo del siguiente milenio ha motivado la discusión de realizar una iniciativa similar al IGY para el inicio del siglo XXI, la cual ha comenzado a discutirse en los foros internacionales (Malone, 1997). Además de analizar el legado científico y político del IGY, estas discusiones proporcionan material de reflexión sobre los nuevos desafíos y oportunidades en el estudio de la Tierra y el Sistema Solar. En la época del IGY, los primeros satélites artificiales estaban siendo puestos en órbita. Actualmente numerosos observatorios geofísicos circundan el planeta o 'navegan' en el Sistema Solar. El desarrollo de los sistemas de cómputo y de telecomunicaciones, aunado al tamaño y capacidades de la comunidad científica actual constituyen otras de las diferencias con la situación durante el IGY; aunque por otro lado, presentan también problemas mayores de coordinación y requerimientos económicos para un programa de investigación a la escala del planeta y del Sistema Solar.

Durante el IGY se realizaron investigaciones y se obtuvo información nueva sobre la física, química, estructura,

características y dinámica de la corteza e interior del planeta, hidrósfera y atmósfera. Entre los resultados más importantes se han destacado los relacionados con la física solar, las relaciones Sol-Tierra, rayos cósmicos, física de la ionósfera y magnetósfera, los fenómenos de la aurora y el campo geomagnético (Malone, 1997). El IGY fue también planeado para que abarcara el máximo en la actividad del Sol, dentro de su ciclo de 11 años. Las observaciones geofísicas se dividieron en quince grupos principales, que incluyeron los fenómenos de periodo corto, cuyo estudio se programó con redes instrumentales en los diferentes países, además de las observaciones en la Antártida y en la exósfera y los fenómenos de periodo largo, en los cuales las observaciones se conjugan con los estudios previos y se planean redes instrumentales a largo plazo. Entre los apartados del programa se tuvieron: Alertas y Días Mundiales, Meteorología, Geomagnetismo, Auroras y Luminiscencia, Ionósfera, Actividad Solar, Radiación Cósmica, Longitudes y Latitudes, Glaciología, Oceanografía, Cohetes y Satélites, Sismología, Gravimetría, Radiación Nuclear y Antártida (Monges López, 1956). Para la planeación y coordinación de actividades del IGY el Consejo de ICSU creó un comité especial para el IGY, que a su vez invitó a las naciones a formar comités nacionales. En México el comité nacional se formó a iniciativa del Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC), bajo la presidencia de Ricardo Monges López, director del Instituto de Geofísica de UNAM en esa época. La vice-presidencia recayó en Julian Adem y la secretaría en Manuel Maldonado Koerdell. Además, México se constituyó en la sede del Comité Panamericano para el IGY por parte del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), organismo de la Organización de Estados Americanos (OEA).

Monges López (1956) presentó el programa para el IGY de México, en el que se resumieron las principales investigaciones y se conformó un comité nacional. Los responsables de los temas principales dentro del programa fueron: M. Medina Peralta (Alertas y Días Mundiales), A. Contreras Arias y E.M. Fournier d'Albe (Meteorología), A. Chargo (Geomagnetismo), G. Haro y G. Hernández Corzo (Auroras y Luminiscencia), C. Núñez (Ionósfera), G. Haro (Actividad Solar), M. Sandoval Vallarta (Rayos Cósmicos), M. Medina Peralta (Longitudes y Latitudes), L. Blásquez y J.L. Lorenzo (Glaciología), J. Merino y Coronado (Oceanografía), J. Figueroa (Sismología), J. Monges (Gravimetría), y F. Alba Andrade (Radiación Nuclear). En México se participó en una parte de estas investigaciones (ver por ejemplo la lista de publicaciones en el Boletín Bibliográfico de Geofísica y Oceanografía Americanas, v. II editado por el Instituto

Panamericano de Geografía e Historia, 1959 y los Anales del Instituto de Geofísica de este periodo). Entre los estudios realizados en el país, se tienen las observaciones de las auroras observadas en el norte y en el centro de México en septiembre de 1957 y en febrero de 1958, las mediciones de la actividad solar y la correspondiente tormenta magnética de febrero de 1958, la expedición a la Isla Socorro en el archipiélago de las Revillagigedo, establecimiento de nuevas estaciones mareográficas y meteorológicas, las expediciones gravimétricas en Centroamérica y Sudamérica, etc. (Adem, 1962). La tormenta magnética de febrero de 1958 fue registrada en el Observatorio de Teoloyucan. Entre los efectos observados en la región central del país destaca la ocurrencia de una aurora en la noche del 10 de febrero y madrugada del 11 de febrero. La aurora, manifestada por un velo rojizo y rayos, es un fenómeno poco común en bajas latitudes. Durante el IGY se presentaron dos auroras en el país; la anterior ocurrió en septiembre de 1957 en la región norte. Durante el IGY se tuvieron en funcionamiento 16 estaciones mareográficas (siete en las costas del Golfo de México, ocho en las costas del Océano Pacífico y una en la Isla Socorro). Los datos registrados incluyeron: alturas horarias de marea, altura y tiempo de ocurrencia de pleamares y bajamares, temperatura y densidad del agua de mar. Estos datos proporcionan información sobre el nivel medio del mar y la salinidad del agua de mar. Algunos resultados de estos estudios se reportaron en las primeras monografías del Instituto de Geofísica, sobre los glaciares de México (Monografía 1, J.L. Lorenzo, 1959) y la expedición a la Isla Socorro (Monografía 2, J. Adem). La Monografía 3 de 1962 incluyó una serie de artículos, entre los que se cuentan: el informe de L. Rivera sobre la actividad solar de ráfagas en el primer semestre del IGY, las observaciones ionosféricas y la descripción de la estación de radiosondeo ionosférico de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes por C. Núñez, el informe sobre la circulación atmosférica por P. Mosiño, el estudio de la radiación solar por I. Galindo, las observaciones oceanográficas (mareas) por J. Merino, el informe sobre los glaciares de alta montaña por J.L. Lorenzo, los estudios geodéticos y la localización geográfica del Observatorio de Tacubaya por M. Medina y las actividades sismológicas en el país por J. Figueroa.

Una revisión detallada e integración de los datos sobre la actividad sísmica en el país para el periodo 1909 a 1959 fue publicada por J. Figueroa en 1959. En este artículo se resumen alrededor de 18,211 eventos registrados en la red instrumental en 50 años de observaciones, incluyendo detalles para la cuenca de México y algunos de los eventos mayores (por ejemplo el evento del 19 de noviembre de 1956). En esta publicación se incluye la información sobre las doce estaciones sismológicas en operación en esa época del Servicio Sismológico Nacional. La información sobre el campo geomagnético fue analizada en dos contribuciones por M. Mejía de Valle (1959) y C. Cañón (1959), en donde se reportan las cartas de elementos magnéticos para las épocas 1955 y 1960, respectivamente.

Como parte de las actividades relacionadas al cincuenta aniversario del Instituto de Geofísica se ha planteado la publicación de nuevas monografías y la primera propuesta, apropiadamente, es sobre los glaciares de alta montaña.

En la época del IGY la comunidad académica de Ciencias de la Tierra en nuestro país era pequeña y contaba con infraestructura y recursos limitados. En estas cuatro décadas se ha tenido un desarrollo importante y se tienen varias instituciones dedicadas a la investigación y docencia en Ciencias de la Tierra; entre ellas se tiene el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), en Baja California Norte. El CICESE, que forma parte del sistema de centros SEP-CONACYT, celebró el año pasado sus primeros 25 años de actividades. El desarrollo de esta comunidad de investigadores se ha manifestado en algunas acciones concretas que manifiestan su creciente importancia dentro de la comunidad académica del país, como es la creación del Comité de Ciencias de la Tierra, Mar y Atmósfera en el CONACYT y la reciente reorganización del área I del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), que pasa de Físico-Matemáticas a Físico-Matemáticas y Ciencias de la Tierra (reglamento SNI 1999). Sin embargo, el número de investigadores continua siendo pequeño en relación al tamaño y necesidades de nuestro país y la infraestructura y recursos económicos son limitados e insuficientes.

En el transcurso de estas cuatro décadas se ha tenido un desarrollo científico y tecnológico importante. Los avances en la computación, telecomunicaciones, sistemas de percepción remota a través de satélites, etc. son sólo algunos de los numerosos ejemplos que ilustran los cambios fundamentales en el estudio del planeta y el sistema solar. En la Tabla 1 se incluye una breve síntesis de algunos ejemplos que han marcado avances significativos en Ciencias de la Tierra. Estos incluyen no solo avances tecnológicos sino cambios teóricos fundamentales tales como el desarrollo de la hipótesis de esparcimiento de los fondos oceánicos y la teoría de tectónica de placas en las décadas de los sesenta y setenta. En este periodo se han desarrollado nuevos campos de investigación que han enriquecido las disciplinas tradicionales de Ciencias de la Tierra. Asimismo, se ha producido una amplia variedad de campos interdisciplinarios. Dentro de los últimos desarrollos se tienen los relacionados a una visión integral del planeta como un sistema, que conjuga a la litósfera, atmósfera, hidrósfera y exósfera con la biósfera. Un nuevo esfuerzo de la comunidad internacional como la propuesta de Malone (1997) para un año geofísico internacional a principios del nuevo milenio presenta oportunidades y retos muy distintos a los enfrentados a fines de la década de los cincuenta. La disponibilidad de los sistemas de telecomunicaciones (internet, world wide web, fax y telemetría) y de computación han permitido la interacción cada vez más estrecha de los grupos de científicos. Las tecnologías desarrolladas tales como el sistema de posicionamiento global (GPS), sistemas de radar y métodos de interferometría, etc. permiten una alta resolución en investigaciones de sitios de acceso difícil o de extensiones

Tabla 1. Algunos desarrollos en Ciencias de la Tierra en los últimos cincuenta años

Tectónica de Placas

Investigaciones de los Océanos (sistema global de cordilleras oceánicas, trincheras, fallas de transformación, etc.)
 Esparcimiento de los Fondos Oceánicos
 Anomalías Magnéticas Marinas
 Paleogeografía y Paleomagnetismo
 Hot Spots
 Sistemas de Referencia y Modelos cinemáticos

Investigaciones del Interior de la Tierra y Geodinámica

Corrientes de Convección en el Manto
 Corrientes de Convección en el Núcleo Externo
 Manto
 Núcleo
 Frontera Manto-Núcleo

Programas de Cooperación Internacional

Año Geofísico Internacional
 Proyecto Manto Superior
 Programa Internacional de Geodinámica
 Programa Internacional de Litósfera
 Programa Internacional de Biosfera-Geósfera

Programa de Perforación de Océanos y Continentes

Deep Sea Drilling Program y Ocean Drilling Program
 International Continental Drilling Program

Sistema Tierra y Cambio Global

Programas Internacionales de Biosfera-Geosfera
 Agujeros de Ozono
 Calentamiento Global (gases de efecto invernadero)
 Cambios Globales del Pasado

Geocronología y Geoquímica Isotópica

Radiocarbono (recientemente, He, Al, Be, etc)
 Sistemas Isotópicos (uranio-plomo, rubidio-estroncio, series de uranio, samario-neodimio, rhenio-osmio, etc.)

Sismología

Redes Internacionales de Sismología
 Vacancias o Huecos Sísmicos
 Instrumentación de Banda Ancha
 Predicción de Temblores

Historia del Planeta y Otros Cuerpos del Sistema Solar

Etapas Iniciales de Evolución
 Fechamientos
 Evolución de la Vida
 Origen de la Luna
 Impactos

Exploración y Explotación de Recursos Minerales y Energéticos

Instrumentación
 Métodos (Radar de Apertura Sintética, Sísmica de 3-Dimensiones, etc.)
 Procesado e Interpretación de Datos Geofísicos

Exploración del Planeta Tierra y del Sistema Solar

Satélites (comunicaciones, investigación, militares)
 Sistemas Tipo Landsat (cartografía, sensores multiespectrales, etc.)
 Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)
 Sistemas de Radar (interferometría de radar, etc.)
 Exploración de la Luna (Proyecto Apollo, Luna, etc.)
 Misiones a otros planetas, satélites, asteroides y cometas
 Misiones Solares, Relaciones Sol-Tierra
 Earth Observing System

Electrónica, Telecomunicaciones y Computación

Telecomunicaciones (fax, internet, web, publicaciones electrónicas, etc.)
 Supercomputo
 Computadoras Personales (manejo masivo de información, bases de datos, etc.)
 Automatización

grandes. La comunidad de científicos en Ciencias de la Tierra ha crecido sustancialmente, sin embargo, aún se tienen problemas severos en una buena parte del mundo y males ancestrales, como la pobreza extrema, las guerras, el hambre, gobiernos dictatoriales y represivos, falta de garantías individuales, etc., permanecen. Aunado a los desarrollos científicos y tecnológicos en las naciones industrializadas se han ahondado las diferencias con los países en desarrollo o del tercer mundo. Como resultado, las comunidades académicas en estas regiones no tienen acceso y no participan en el desarrollo científico y tecnológico. Los programas internacionales de investigación para el nuevo milenio tienen ante sí el reto de incorporar estas consideraciones dentro de sus esquemas de planeación y coordinación. En los últimos años, se ha remarcado una y otra vez, que muchos de los desarrollos importantes se han producido en las zonas de contacto entre campos distintos del conocimiento o límites disciplinarios. Así, los desarrollos recientes para la formulación de los programas de cambio global (Ciencias de la Atmósfera, Ciencias de la Tierra) y sistema Tierra y biósfera-geósfera (Ciencias Biológicas, Ciencias de la Tierra) se han generado al romperse o abrirse las barreras disciplinarias tradicionales. La interacción con las ciencias económicas, sociales y políticas dentro de un marco de investigación integral de nuestro planeta en el que no se tengan distinciones de nacionalidad, raza, religión, condición social y económica puede permitir el inicio del desarrollo de realmente una nueva visión de nuestro planeta. Sin estas componentes, los estudios realizados con las nuevas tecnologías, marcos conceptuales, etc. serán semejantes a los realizados en la Luna. Estos estudios serán importantes y proporcionarán nueva y valiosa información. Sin embargo, no incluirán aquellos aspectos que por el momento permiten distinguir a nuestro planeta de los otros cuerpos del sistema solar y que es la presencia de la vida y el desarrollo de la humanidad. La interacción con las disciplinas humanísticas representa una componente importante con un amplio potencial de desarrollo para los estudios del planeta.

Cabe enfatizar, que estos planteamientos no constituyen una novedad y son difíciles de alcanzar a corto plazo, habiendo sido avanzados y discutidos en diversas formas y contextos con anterioridad. No obstante, el replantear estas inquietudes en diferentes foros puede promover el desarrollo de iniciativas dentro de un esquema interdisciplinario amplio. En la Universidad Nacional (UNAM) se han planteado y discutido recientemente varias iniciativas de proyectos universitarios, entre ellos el Proyecto Universitario de Ciencias Espaciales y Planetarias, que representa un esfuerzo interdisciplinario en el cual participan varios institutos y centros. Proyectos del área de las Ciencias de Humanidades en preparación y análisis versan sobre importantes temas, tales como la pobreza en nuestro país. En estos proyectos, la interacción entre disciplinas presenta claramente un alto potencial de desarrollo. Por ejemplo, la participación de grupos de investigación en sistemas de información geográfica, análisis estadístico, ciencias de la salud y ciencias ambientales puede aportar

interesantes herramientas y aspectos innovadores a los grupos encargados del desarrollo y coordinación del proyecto.

REFERENCIAS

- Adem, J., 1962. Resultados del Año Geofísico Internacional en México. Monografía Instituto de Geofísica, UNAM, No. 3, p. 7-11.
- Cañón, C., 1959. Carta magnética de la República para la época de 1960. Anales Instituto de Geofísica, UNAM, V. 5, p. 171-178.
- Figuerola, J., 1959. Carta Sísmica de la República Mexicana. Anales Instituto de Geofísica, UNAM, V. 5, p. 45-162.
- Malone, T.F., 1997. Building on the legacies of the Internacional Geophysical Year. EOS (Trans. Am. Geophys. Union), v. 78, no. 18, p. 185 y 191.
- Mejía de Valle, M., 1959. Carta básica de isógonas de la República Mexicana para 1955.0. Anales Instituto de Geofísica, UNAM, v. 5, p. 163-170.
- Monges López, R., 1956. El programa de México para el Año Geofísico Internacional. Anales Instituto de Geofísica, UNAM, v. 2, p. 113-131.

DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 1999

La base de datos de la Unión Geofísica Mexicana, A.C., contiene información general de los miembros así como la información de la antigüedad de sus membresías. En ella, se ha asignado a cada miembro un número de afiliación que permitirá efectuar búsquedas más eficientes acerca de su status. La base de datos permitirá tener, también, un historial por miembro de la asistencia a las reuniones.

Con base en este directorio se efectuarán los envíos de los números de las revistas **GEOS** y **GEOFÍSICA INTERNACIONAL**. Por lo anterior, los invitamos a que verifiquen si sus datos están correctos y completos y, en caso de que exista algún error u omisión, nos lo hagan saber vía correo electrónico ugm@cicese.mx o por medio de nuestra página (<http://www.ugm.org.mx>), para evitar cualquier anomalía. Junto con el primer número de **GEOS** de cada año estaremos enviando una credencial de afiliación, la cual le permitirá identificarse para recibir precios especiales en la adquisición de los libros y revistas que la UGM edita; así como obtener precios especiales en la Reunión Anual.

Finalmente, agradeceremos que divulgue la existencia de este directorio entre sus compañeros de institución, con el fin de que aquellas personas que por algún error no hayan recibido las revistas puedan conocer su situación.



Rolando Labacha

Miembro # 999

Reunión Anual 1999
Puerto Vallarta, México
25-29 de Octubre

E-mail: ugm@cicese.mx
Internet: <http://www.ugm.org.mx>

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - Miembros 1999

No.	Miembro	97	98	99	Nombre	Institución	División o Instituto	Depto. o Facultad	E-mail
1	678	X			Aceves Quesada Fernando	UNAM	Geofísica	Vulcanología	
2	20	X	X	X	Aguirre Díaz Gerardo J.	UNAM	UNICIT/Geología	Vulcanología, Geocronología	gjad@servidor.unam.mx
3	16	X	X	X	Alaniz Álvarez Susana A.	UNAM	UNICIT/Geología	Geología Estructural	alaniz@servidor.unam.mx
4	271		X	X	Alatorre Zamora Miguel Angel	UDG	CUCEI	Física Matemáticas	maaz@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
5	19	X	X	X	Alatriste Vilchis David Rey	IMP	Exploración y Producción	Prospección Geofísica	adavid@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
6	668	X	X	X	Alba Valdivia Luis Manuel	UNAM	Geofísica	Paleomagnetismo	lalva@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
7	4	X	X	X	Álvarez Borrego Josué	CICESE	Física Aplicada	Óptica	josue@cicese.mx
8	3	X	X	X	Álvarez Borrego Saúl	CICESE	Oceanología	Ecología	saul@cicese.mx
9	676	X			Álvarez Manilla Alfonso				
10	267	X			Álvarez Sánchez Luis G.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	lalvarez@cicese.mx
11	8	X	X	X	Aragón Arreola Manuel de Jesús	GEOMAQUE		Geología	geomaque@hn2.com
12	283			X	Aranda Gómez Jorge Javier	UNAM	UNICIT/Geología	Petrología Ignea	jag@servidor.unam.mx
13	18	X			Arellano Gómez Víctor Manuel	IIIE	Geotermia		vag@axp2.iiie.org.mx
14	278		X		Arellano Guadarrama José Fco.	CFE	Residencia de Estudios	Exploración	
15	21		X		Armenta Hernández María Aurora	UNAM	Geofísica	Química Analítica	victoria@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
16	13			X	Arredondo Frago José	CFE	Geotermia	Proyectos Geotermoelectrónicos	ceinf@mail.giga.com
17	10			X	Arzale Flores Jorge Arturo	UNAM	UNICIT/Geofísica	Exploración Geofísica	arzale@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
18	287	X	X	X	Axen Gary	UCLA		Earth and Space Sciences	gaxen@ess.ucla.edu
19	296	X	X	X	Bandy William L.	UNAM	Geofísica	Exploración Geofísica	bandy@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
20	28	X	X	X	Barajas Díaz Pablo	ITESO		Habitat y Desarrollo Urbano	
21	30	X		X	Barragán Reyes Rosa María	IIIE	Geotermia		
22	701			X	Bautista Romero José Jesús	CIBNOR	Impacto Ambiental y Cambio Climático		jbautro@cibnor.mx
23	305		X		Beier Martín Emilio José	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	ebeier@cicese.mx
24	26	X	X		Bermúdez Angulo María Luisa	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	maria@gea.ingen.unam.mx
25	461			X	Bermúdez Juárez María Blanca	BUAP		Ciencias Físico Matemáticas	bbj@xanum.uam.mx
26	711		X		Bernal Franco Gladys	UABC	Investigaciones Oceanológicas	Geoquímica Ambiental	gbernal@bahia.ens.uabc.mx
27	41			X	Birkle Peter	IIIE	Geotermia		birkle@iiie.org.mx
28	37	X	X	X	Bohnel Norbert Harald	UNAM	UNICIT/Geofísica	Paleomagnetismo	harald@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
29	34		X		Brasera Ochoa Jesús	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jbrasera@cicese.mx
30	27	X		X	Bravo Cabrera José Luis	UNAM	Geofísica	Radiación Solar	jbravo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
31	24	X		X	Brilo Castillo Luis	CIBNOR	Unidad Guaymas	Hidrología	lbrilo@cibnor.mx
32	32	X	X		Buendía Carrera Enrique	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima	
33	632	X	X	X	Bulgakov Sergey N.	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	sbulgano@udg.serv.cencar.udg.mx
34	536	X	X		Burrola Sánchez María Sara	CIBNOR	Zona Costa		sburrola@cibnor.mx
35	324		X	X	Caballero Miranda Cecilia	UNAM	Geofísica	Exploración Geofísica	cecilia@ollin.igeofcu.unam.mx
36	704			X	Cabral Cano Enrique	UNAM	Geofísica	Geomagnetismo y Exploración	ecabral@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
37	51		X	X	Calmus Thierry	UNAM	Geología	Estación Regional del Noroeste	tcalmus@servidor.unam.mx
38	246		X	X	Campa Uranga María Fernanda	UAG	Ciencias de la Tierra		
39	325	X	X		Campos Enriquez Oscar	UNAM	Geofísica	Exploración Geofísica	ocampos@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
40	480			X	Candela Pérez Julio	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jcandela@cicese.mx
41	581	X	X	X	Cañón Tapia Edgardo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	ecanon@cicese.mx
42	52	X	X	X	Carbajal Pérez Noel	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	Est. Inv. Marinas Mazatlán	noelc@ola.icmyl.unam.mx
43	557	X			Carbonell Ramón	CSIC	Ciencias de la Tierra	Geofísica	rcarbonell@ija.csic.es
44	54		X		Carcione José M.		Osservatorio Geofisica Sperimentale		
45	321	X			Cárdenas Soto Martín	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	martin@hermes.ingen.unam.mx
46	331	X			Carrasco Núñez Gerardo	UNAM	Geología	Geología Regional	gerardoc@servidor.unam.mx
47	330	X	X		Carreño Ana Luisa	UNAM	Geología	Paleontología	anacar@servidor.unam.mx
48	694			X	Carrillo García Verónica Karina	CENAM	Óptica	Metrología Física	vcarrill@cenam.mx
49	663	X	X	X	Castrejón González Israel	UAG	Ciencias de la Tierra		
50	541	X	X	X	Castrejón Pineda Héctor Ricardo	UNAM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	castrejo@sacbe.fi-a.unam.mx
51	47	X	X	X	Castro Escamilla Raúl	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	raul@cicese.mx
52	45	X		X	Castro Govea Renato	UNAM	Geofísica	Vulcanología	
53	664	X	X		Charre Meza Adolfo Salomé	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	acharre@cicese.mx
54	68		X	X	Chávez Pérez Sergio	IMP	Sismología de Exploración		sergio@orion.expl.imp.mx
55	624	X			Cifuentes Gerardo	UNAM	Geofísica	Geomagnetismo y Exploración	gercifu@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
56	726		X	X	Cisneros Stoianowski Gerardo	SILICON GRAPHICS			
57	558	X	X	X	Córdoba Barba Diego	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	dcordoba@eucmos.sim.ucm.es
58	683		X	X	Corona Chávez Pedro	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	Geología	pcorona@zeus.ccu.umich.mx
59	58	X			Corona Ruiz Martín	CFE	Campo Geotérmico Cerro Prieto		
60	566	X			Correa Mora Francisco	UNAM	Geofísica	Geoquímica y Exploración	pancho@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
61	723	X	X		Cortés Cortés Abel	UCOL	Observatorio Vulcanológico		cortes@cgic.ucol.mx
62	699			X	Cruz Alizaga Víctor Manuel	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	Coordinación de Geofísica	victor@ollin.igeofcu.unam.mx
63	59	X	X	X	Cruz Castillo Manuel	IMP	Gerencia de Geociencias		
64	309		X		Cuenca Julio César	UNAM	Ingeniería		
65	686		X		Cupul Magaña Amicar Levi	UDG		Recursos Naturales	cmagana@vallarta.cuc.udg.mx
66	559	X	X	X	Dañobettia Juan José	CSIC	Ciencias de la Tierra	Geofísica	jdandobettia@ija.csic.es
67	342	X			Davydova Belitskaya Valentina	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	vdavidov@udg.serv.cencar.udg.mx
68	69	X	X	X	De Cserna Gombos Zoltan	UNAM	Geología	Geología Regional	
69	72		X	X	De la Cruz Reyna Servando	UNAM	Geofísica	Vulcanología	sdelacr@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
70	82	X	X	X	Delgado Argote Luis Alberto	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	ldelgado@cicese.mx
71	75	X		X	Delgado Contreras Juan Antonio	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jdelgado@cicese.mx
72	338		X	X	Delgado Granados Hugo	UNAM	Geofísica	Sismología y Vulcanología	hugo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
73	688		X		Díaz Navarro Ricardo	IMP	Geofísica		ricky@orion.expl.imp.mx
74	454	X	X	X	Diego Orozco Arturo	IMP	Exploración y Producción	Geofísica	arturo@orion.expl.imp.mx
75	84			X	Dominguez Reyes Tonatiuh	UCOL	Ciencias del Ambiente		tonatiuh@ucol.mx
76	341	X	X	X	Dworak Robinson Juan A.	SEP	Tecnológico del Mar	Investigación	
77	573	X			Elias Herrera Mariano	UNAM	Geología	Geología Regional	elias@servidor.unam.mx
78	86	X	X	X	España Hernández Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	fesparz@cicese.mx
79	87	X	X	X	Espindola Castro Juan Manuel	UNAM	Geofísica	Vulcanología	jme@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
80	88	X	X	X	Espinosa Cardena Juan Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jespinos@cicese.mx
81	92	X			Fabrial Beauville Hubert	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	hfabrial@cicese.mx
82	346	X	X	X	Farreras Sanz Salvador	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	sfarreras@cicese.mx
83	91	X	X	X	Ferrari Pedraglio Luca	UNAM	UNICIT/Geología	Tectónica	luca@servidor.unam.mx
84	137	X	X	X	Filonov Anatoly E.	UDG	CUCEI	Físico Matemáticas	afilonov@udg.serv.cencar.udg.mx
85	97	X	X		Fletcher John M.	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	jfletche@cicese.mx
86	679	X			Flores Cruz Fernando				
87	348	X	X	X	Flores Luna Carlos Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	cflores@cicese.mx
88	675	X	X	X	Forsythe Lance	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	lorsythe@cicese.mx
89	96	X	X	X	Frez Cárdenas José	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	jofrez@cicese.mx
90	680	X	X	X	Fuentes Vargaz Carlos	UNAM	Geofísica	Sismología	carlos@ollin.igeofcu.unam.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - Miembros 1999 (continuación)

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
1	678	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
2	20	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Oro.	México	76001	1-742
3	16	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Oro.	México	76001	1-742
4	271	Prof. el Mediero #517 Mod. F-201	San Gilberto	Zapopan	Jal.	México	45150	
5	19	Temaca #6241	Aragón Inguarán	México	D.F.	México	07820	
6	668	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
7	4	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
8	3	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
9	676	Circuito Jardín #356-3	Alamos 3ª Sección	Querétaro	Oro.	México	76160	
10	267	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
11	8	181, Univ. Av. Suite 1210		Toronto	ON.	Canadá	MSh3M7	
12	283	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Oro.	México	76001	1-742
13	18	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
14	278	C. Pascualitos-Pescaderos Km. 26.5	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	México	21100	3636
15	21	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
16	13	Alejandro Volta #655	Electricistas	Morelia	Mich.	México	58290	
17	10	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Oro.	México	76001	1-742
18	287	UCLA - Box 951567		Los Angeles	CA.	USA	90095-1567	
19	296	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
20	28	Periférico Sur #8585		Tlaquepaque	Jal.	México	45090	31-175
21	30	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
22	701	Lic. Primo Verdad #206, Depto. 7	Zona Centro	La Paz	B.C.S.	México		
23	305	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
24	26	Calle 128A #29-15 Depto. 403		Santa Fé de Bogotá	Bogotá	Colombia		
25	461	Priv. 29 Ole. #1816	El Mirador	Puebla	Pue.	México	72540	
26	711	Villa de San Miguel #36	San Miguel	Ensenada	B.C.	México	22760	
27	41	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
28	37	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Oro.	México	76001	1-742
29	34	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
30	27	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
31	24	Km. 2.35 Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
32	32	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
33	632	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México	44100	
34	536	Km. 2.35 Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
35	324	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
36	704	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
37	51	Apdo. Postal 908		Hermosillo	Son.	México	83000	
38	246	Hacienda Xajay #426	Echegaray	Naucalpan	EdoMéx.	México	53300	
39	325	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
40	480	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
41	581	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
42	52	Apdo. Postal No. 811		Mazatlán	Sin.	México	82000	811
43	557	Lluís Solé i Sabarís s/n			Barcelona	España	08028	
44	54	P.O. BOX 2011		Opicina	Trieste	Italy	34016	2011
45	321	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	70472
46	331	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
47	330	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
48	694	Carrada Heriberto Jara #18	F. V. Querétaro	Querétaro	Oro.	México	76000	
49	663	Callejon de la Garfía #14	Centro	Taxco	Gro.	México	40200	
50	541	10 Ole. Mz. 33, L. 6	Isidro Fabela	México	D.F.	México	14030	
51	47	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
52	45	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
53	664	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
54	68	Shetland # 348	Cosmopolita	Azcapotzalco	EdoMéx.	México		
55	624	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
56	726	Av. Vasco de Quiroga #3000	Santa Fé	México	D.F.	México	01210	
57	558	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
58	683	Edif. U. Universidad Michoacana	Ciudad Universitaria	Morelia	Mich.	México	58070	
59	58	C. Pascualitos-Pescaderos Km. 26.5	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	México	21100	
60	566	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
61	723	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	
62	699	5 de Mayo #117	Tepepan	México	D.F.	México	16020	
63	59	Av. Volcán Fernandina #92	El Mirador	México	D.F.	México	14449	
64	309	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
65	686	Av. Universidad #203	Delegación Ixtapa	Puerto Vallarta	Jal.	México		
66	559	Lluís Solé i Sabarís s/n			Barcelona	España	08028	
67	342	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México	44100	
68	69	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
69	72	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
70	82	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
71	75	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
72	338	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
73	688	Hacienda Ajulapán #107	Hacienda Echegaray	Naucalpan	EdoMéx.	México	53310	
74	454	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	Col. San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	07730	
75	84	Av. Universidad #333		Colima	Col.	México		
76	341	Km 4. Carret. a Varadero Nacional	Sector Playitas	Guaymas	Son.	México	85425	742
77	573	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
78	86	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
79	87	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
80	88	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
81	92	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
82	346	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
83	91	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Oro.	México	76001	1-742
84	137	Rio Autlan #2180-34	Altas	Guadalajara	Jal.	México	44421	
85	97	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
86	679	Antonia Nava s/n Esc. Pri. Makarenko	Carmen Serdán	México	D.F.	México	04910	
87	348	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
88	675	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
89	96	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
90	680	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - Miembros 1999

No.	Miembro	97	98	99	Nombre	Institución	División o Instituto	Depto. o Facultad	E-mail
91	108	X	X	X	Galicia Pérez Marco Antonio	UCOL	CEUNIVO	Física	galicia@volcan.ucof.mx
92	578	X	X		Gallegos Cruz Apolonio	IPN	Ciencias Básicas		
93	101	X	X	X	García Abdeslem Juan	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	lgarcia@cicese.mx
94	104	X	X	X	García Arthur Rosalía	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	arthur@cicese.mx
95	368	X	X	X	García García Fernando	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Meteorología General	dire@mvica.atmosfvc.unam.mx
96	537			X	García Gutiérrez Alfonso	IIE	Geotermia	Fuentes Alternas de Energía	aggarcia@iie.org.mx
97	358		X	X	Garduño López Rene	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		
98	100	X	X		Garduño Monroy Víctor Hugo	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	Ingeniería Química	vmonroy@zeus.cci.umich.mx
99	724		X	X	Gavilanes Ruiz Juan Carlos	UCOL	Observatorio Vulcanológico		pavilan@cgic.ucof.mx
100	119	X	X	X	Gavino Rodríguez Juan Heberto	UCOL	Oceanografía Física	Ciencias Marinas	gavinho@volcan.ucof.mx
101	366		X	X	Gay García Carlos	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Meteorología General	ggarcia@servidor.unam.mx
102	122	X	X	X	Glowacka Ewa	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	glowacka@cicese.mx
103	121	X	X	X	Gómez Treviño Enrique	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	egomez@cicese.mx
104	112	X	X	X	Gómez Valdés José	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	igomez@cicese.mx
105	672	X	X	X	González Fernández Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	mindundi@cicese.mx
106	113	X	X		González García José Javier	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	javier@cicese.mx
107	118		X		González Morales Carlos Alberto	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	cgonzalez@cicese.mx
108	99		X		González Morán Tomás	UNAM	Geofísica	Recursos Naturales	tglez@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
109	690		X		Gorsline Donn S.	USC		Earth Sciences	gorsline@earth.usc.edu
110	370	X	X		Graef Ziehl Federico	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	fgrae@cicese.mx
111	388	X	X		Grajales Nishimura Manuel	IMP	Exploración	Geociencias	grajales@geologia.unam.mx
112	570	X	X		Green Ruiz María de Jesús	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	Geología Marina	mgreen@ola.icmyl.unam.mx
113	111	X	X		Guerrero García José C.	UNAM	Geología	Geoquímica	josec@servidor.unam.mx
114	110			X	Guerrero Guadarrama José Luis	CFE	Geotermia	Proyectos Geotermoelectrónicos	geoexpl@mich1.telnet.net.mx
115	126	X			Helene Escamilla Javier	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	jhelene@cicese.mx
116	125		X	X	Herrera García Juan Carlos	CICESE	Oceanología	Ecología	herrera@cicese.mx
117	572	X	X	X	Hernández Bernal María del Sol	UNAM	Geología	Geología Regional	msol@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
118	582	X			Hernández Guerrero Joel	PEMEX	Integración e Interpretación	Activo Macuspampa	zyanya@hotmail.com
119	564	X			Hernández Treviño Teodoro	UNAM	Geofísica	Exploración y Geomagnetismo	tht@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
120	689		X		Herrera Charles Roberto	IPN	CITEDI		charles@citedi.mx
121	387		X		Hinojosa Corona Alejandro	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	alhinc@cicese.mx
122	386			X	Huerta López Carlos I.	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	huerta@cicese.mx
123	669	X			Hughes Simón	UNAM	Geofísica	Vulcanología	shuhes@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
124	127	X	X	X	Huidobro González Adolfo	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	iermo@inti.ingen.unam.mx
125	128		X		Huizar Álvarez Rafael	UNAM	Geología	Geología Regional	huizar@servidor.unam.mx
126	719		X	X	Hutton Wallis	U. WISCONSIN	Geophysical		wallis@geology.wisc.edu
127	700			X	Iglesias Mendoza Arturo	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	Coordinación de Geofísica	armg@lornado.com.mx
128	722		X		Israde Alcántara Isabel	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	Ingeniería Civil	aisrade@zeus.cci.umich.mx
129	131		X		Jacques Ayala Cesar	UNAM	Geología	Estación Regional del Noroeste	jacques@servidor.unam.mx
130	130		X		Jáuregui Ostos Ernesto	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Meteorología General	ejos@mvica.atmosfvc.unam.mx
131	133	X			Jiménez Illescas Ángel R.	IPN	CICIMAR	Oceanología	ajimenez@ipn9021.ipn.mx
132	132	X			Jiménez Jiménez Zenon	UNAM	Geofísica	Sismología	zenon@igeofcu.unam.mx
133	735			X	Jiménez Sergio	UABC			
134	395		X	X	Juárez Sánchez Faustino	UNAM	Geofísica	LUGIS	tino@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
135	153		X		Keller Torres Jaime	UNAM	Ciencias Básicas	Química	keller@servidor.unam.mx
136	238			X	Koshevaya Svetlana S.	INAOE			svetlana@tonali.inaoe.mx
137	135	X	X	X	Kostoglodov Vladimir	UNAM	Geofísica	Sismología	vladimir@olin.igeofcu.unam.mx
138	640	X			Kotsarenko Nikola Y.	UNAM	Geofísica	Física Espacial	kotsaren@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
139	136	X			Kouzoub Nikolai	UANL	Ciencias de la Tierra		nkouzoub@ccr.dsi.uanl.mx
140	655	X			Kuraica Ogie	KINEMATRICS	Sales Manager		sales@kmi.com
141	61			X	Lara Lara Ruben	CICESE	Oceanología	Ecología	rlara@cicese.mx
142	598	X			Lares Reyes María Lucila	CICESE	Oceanología	Ecología	llares@cicese.mx
143	141	X	X		Lavin Peregrina Miguel F.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	mlavin@cicese.mx
144	399	X	X		Lázaro Mancilla Octavio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	olazaro@cicese.mx
145	483	X	X	X	Ledesma Vázquez Jorge	UABC	Geología	Ciencias Marinas	ledesma@bahia.ens.uabc.mx
146	404	X		X	Lermo Samaniego Javier Feo.	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	iermo@inti.ingen.unam.mx
147	602	X			Lira Herrera Héctor	CFE	Residencia General Cerro Prieto	Estudios	
148	730		X	X	Lluch Cota Daniel Bernardo	CIBNOR	Geología Marina		dblluch@cibnor.mx
149	731		X		Lluch Cota Salvador Emilio	CIBNOR	Geología Marina		
150	273		X		Lobato Sánchez René	IMTA	Hidrología	Hidrometeorología	riobato@tajin.imta.mx
151	681			X	López Loera Héctor	UNAM	Geofísica	Geomagnetismo	lopezdes@cc1.telnet.net.mx
152	146	X			López Mariscal Juan Manuel	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	malope@cicese.mx
153	691			X	López Martínez Juana	CIBNOR	Evaluación y Manejo de Recursos		jlopez@cibnor.mx
154	145	X	X	X	López Martínez Margarita	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	marlope@cicese.mx
155	398	X			Lozada Zumaela Manuel	IMP	Exploración Geofísica		manuel@orion.expl.imp.mx
156	615	X	X		Machain Castillo María Luisa	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	Geología Marina	machain@ola.icmyl.unam.mx
157	653	X			Magaña Rueda Víctor Orlando	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Meteorología General	victor@belenos.atmosfvc.unam.mx
158	542			X	Makarov Vyacheslav G.	IPN	CICIMAR		
159	175	X			Marinone Moschetto Silvio Guido L.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	marinone@cicese.mx
160	157	X	X	X	Márquez Azúa Bertha	UDG	Estudios Históricos y Humanos	Geografía y Ordenación Terr.	bmarquez@cencar.udg.mx
161	677	X	X		Márquez González Alvaro	UCM	Petrología y Geoquímica	Ciencias Geológicas	alvaromg@eucmax.sim.ucm.es
162	319			X	Marshall Kyle Jeffrey	FRANKLIN MARSHALL C	Keck Institute	Geosciences	j_marshall@landm.edu
163	673	X	X	X	Martín Alenza Beatriz	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	mindundi@cicese.mx
164	2	X	X		Martín Barajas Arturo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	amartin@cicese.mx
165	408	X	X	X	Martínez García Mario	CIBNOR	Dirección General		mmartine@cibnor.mx
166	156	X			Martínez Serrano Raymundo G.	UNAM	Geofísica	Exploración Geofísica	rms@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
167	630	X			Martínez Zatarain Alejandro	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	amartine@udgserv.cencar.udg.mx
168	667	X	X	X	Matthes Miguel	APASCO	Ingeniería	Geología	
169	697			X	Mazariegos Alfaro Rubén Alberto	U TEXAS PANAMERICAN		Physics and Geology	rubenm@panam.edu
170	436	X			Mejía Trejo Adán	UABC	Investigaciones Oceanológicas	Oceanografía Física	amejia@bahia.ens.uabc.mx
171	164	X	X	X	Méndez Delgado Sostenes	UANL	Ciencias de la Tierra		somendez@ccr.dsi.uanl.mx
172	427			X	Mendieta Jiménez Francisco Javier	CICESE	Dirección General		jmediet@cicese.mx
173	631		X		Meulener Peña Angel R.	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	ameulene@udgserv.cencar.udg.mx
174	95	X			Michaud Francois	U PIERRE ET M. CURIE	Laboratoire de Géodynamique	UMR GeoSciences Azur	micho@ccv.obs-vlfr.fr
175	709			X	Millán Valdés Marcos	IPN	ESIA	Geología	mlan@mxico.com
176	167	X	X		Montesinos Silva Genaro	UGTO	Ciencias Agrícolas	Agronomía	genaros@dulcinea.ugto.mx
177	414		X	X	Monzón Cesar Octavio	UDG	CUCEI	Física Matemáticas	monzon@cucei.udg.mx
178	450			X	Morales Blake Alejandro	UCOL	Ciencias Marinas		mblake@volcan.ucof.mx
179	421	X	X		Morán Zeniteno Dante Jaime	UNAM	Geología	Geoquímica	dante@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
180	173	X	X	X	Morandi Soana María Teresa	U. DE LOS ANDES	Laboratorio de Geofísica	Ciencias	maria@ciens.ula.ve

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - Miembros 1999 (continuación)

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
91	108	Apdo. Postal 275	Zona Centro	Manzanillo	Col.	México	28200	275
92	578	Té #950	Iztacalco	México	D.F.	México	08400	
93	101	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
94	104	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
95	368	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
96	537	Av. Reforma # 113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
97	358	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
98	100	Av. Rey Tariacuri #374-D	Villabella	Morelia	Mich.	México	58090	
99	724	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	
100	119	Apdo. Postal 275	Zona Centro	Manzanillo	Col.	México	28200	275
101	366	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
102	122	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
103	121	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
104	112	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
105	672	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
106	113	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
107	118	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
108	99	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
109	690			Los Angeles	CA.	USA	90089-0740	
110	370	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
111	388	Tokio #921 202B	Portales	México	D.F.	México	03300	
112	570	Explanada de la Azada y Crestón		Mazatlán	Sin.	México	82040	
113	111	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
114	110	Alejandro Volta #655	Electricistas	Morelia	Mich.	México	58290	
115	126	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
116	125	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
117	572	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
118	582	Av. Sitio Grande #2000 Edif. 3 1Piso	Fracc. Carrizal	Villahermosa	Tab.	México	86035	270
119	564	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
120	689	Av. del Parque #1310	Mesa de Olav	Tijuana	B.C.	México	22510	
121	387	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
122	386	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
123	669	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
124	127	Av. México #120	Del Carmen	México	D.F.	México	04100	
125	128	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
126	719	1215 West Dayton St.		Madison	WI.	USA	53706	
127	700	Siracusa #130, Edif. 5-B-22	Lomas Estrella	México	D.F.	México	09890	
128	722	Edif. U. Universidad Michoacana	Ciudad Universitaria	Morelia	Mich.	México	58070	
129	131	De la Rivera #21		Hermosillo	Son.	México	83288	
130	130	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
131	133	Colegio Militar #192	Esterito	La Paz	B.C.S.	México	23020	592
132	132	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
133	735	Km. 106 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	
134	395	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
135	153	Fuente de la Juventud #64	Tecamachalco	Naucaipan	EdoMéx	México	53950	
136	238	Apdo. Postal 51		Puebla	Pue.	México	72000	
137	135	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
138	640	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
139	136	Pedro Noriega #569 Sur		Linares	N.L.	México	67700	
140	655	222 Vista Avenue		Pasadena	CA.	USA	91107	
141	61	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
142	598	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
143	141	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
144	399	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
145	483	Km. 106 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	453
146	404	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	70-472
147	602	C. Pascualitos-Pescaderos Km. 26.5	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	México	21100	3636
148	730	Km. 1, Carret. San Juan de la Costa	El Comitán	La Paz	B.C.S.	México	23000	128
149	731	Km. 1, Carret. San Juan de la Costa	El Comitán	La Paz	B.C.S.	México	23000	128
150	273	Paseo Cuauhnahuac #8532	Progreso	Jiltepec	Mor.	México	62550	
151	681	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
152	146	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
153	691	Retorno Mondorica #2056	Infonavit	La Paz	B.C.S.	México	23070	
154	145	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
155	398	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	Col. San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	07730	
156	615	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	70305
157	653	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
158	542	Av. IPN s/n	Playa Polo de Sta. Rita	La Paz	B.C.S.	México	23096	
159	175	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
160	157	Av. Maestros y Mariano Bárcena		Guadalajara	Jal.	México	44260	
161	677	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
162	319	625 W. Chestnut St.		Lancaster	PA.	USA	17604	
163	673	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	
164	2	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
165	408	Km. 1, Carret. San Juan de la Costa	El Comitán	La Paz	B.C.S.	México	23000	128
166	156	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
167	630	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México	44100	
168	667	Campos Eliseos #345, Piso 16	Polanco	México	D.F.	México	11550	
169	697	810 Pacific Ave.		Edinburg	TX.	USA	78539	
170	436	Km. 106 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	453
171	164	Carret. Cerro Prieto Km. 8	Hacienda de Guadalupe	Linares	N.L.	México	67700	
172	427	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
173	631	Av. Las Praderas #320	Prados Vallarta	Zapopan	Jal.	México	45020	
174	95	La Darse B-P #48		Villefranche sur Mer	Paris	France	06230	
175	709	Acueducto #63	Acueducto	México	D.F.	México	01120	
176	167	Apdo. Postal #311		Irapuato	Gto.	México	36500	311
177	414	M. García Barragán y Corregidora		Guadalajara	Jal.	México	44421	
178	450	Villa Florencia #54	Fracc. Soleares	Manzanillo	Col.	México	28869	
179	421	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
180	173	Yagrumo, Quinta Frailejón	Sta. María Sur	Mérida	Venezuela		05101	

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - Miembros 1999

No.	Miembro	97	98	99	Nombre	Institución	División o Instituto	Depto. o Facultad	E-mail
181	619	X	X		Moriera Gutiérrez Carlos A.	UNAM	Geofísica	Sismología y Vulcanología	carlosm@olin.igeofcu.unam.mx
182	608	X			Moya Juan Carlos	U. COLORADO		Geological Sciences	moya@creep.colorado.edu
183	439			X	Munehisa Sawada	CENAPRED			sawada@cenapred.unam.mx
184	160	X	X	X	Munigua Orozco Luis	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	munigua@cicese.mx
185	434	X	X		Murrieta José Luis	UNAM			
186	176		X		Nalvidad Baizabal Miguel Angel	UVER	Meteorología Aplicada	Instrumentación Electrónica	
187	177	X	X	X	Nava Pichardo Alejandro	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	fnava@cicese.mx
188	670	X	X		Nava Sánchez Enrique H.	IPN	CICIMAR	Oceanología	enava@vmredipn.ipn.mx
189	609			X	Nevárez Martínez Manuel Otilio	INP	CRIP Guaymas		nevarez@altavista.net
190	181	X	X	X	Nieto Samaniego Ángel Francisco	UNAM	UNICIT/Geología	Geología Estructural	afns@servidor.unam.mx
191	696		X	X	Norzagaray Campos Mariano	UNAM	Geofísica	Exploración	nmunoz@debtel.com.mx
192	182	X	X	X	Núñez Cornú Francisco Javier	UDG	CUC, Vallarta	Geografía y Ordenación Terr.	fcornu@vallarta.cuc.udg.mx
193	183	X	X	X	Ocampo Torres Francisco Javier	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	ocampo@cicese.mx
194	452	X		X	Ochoa De la Torre José Luis	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jchoa@cicese.mx
195	455	X	X		Oda Noda Bertha	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima y Predicción	
196	714		X	X	Oleshko Klaudia	UNAM	Geología	Edafología	siebe@servidor.unam.mx
197	568	X	X	X	Orozco Esquivel María Teresa	UNAM	UNICIT/Geología		torozco@conin.unam.mx
198	665	X	X	X	Orta Francisco	APASCO	Ingeniería	Geología	
199	652			X	Ortega Guerrero Marcos Adrián	UNAM	UNICIT/Geología	Hidrogeología	maog@servidor.unam.mx
200	466			X	Ortega Rivera María Amabel	UNAM	UNICIT/Geología		amabel@servidor.unam.mx
201	713		X	X	Ortiz Alemán Carlos	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	Coordinación de Geofísica	carlos@servidor.unam.mx
202	191	X	X	X	Pacheco Alvarado Francisco Javier	UNAM	Geofísica	Sismología	javier@olin.igeofcu.unam.mx
203	549	X			Padilla Arredondo Gustavo	CIBNOR	Unidad Guaymas	Geología	gpadilla@cibnor.mx
204	189		X		Palma Guzmán Sergio Hugo	CFE	Geotermia		
205	190		X		Palma Pérez Oswaldo	CFE	Geotermia		
206	201	X	X		Pavía López Edgar	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	epavia@cicese.mx
207	205		X		Payero De Jesús Juan S.	UASD		Física	jpayero@tricom.net
208	202	X			Paz Moreno Francisco A.	USON	Geología		paz@geologia.uson.mx
209	66	X			Pedrin Avilés Sergio	CIBNOR	Geología Marina y Geoquímica		spedrin@cibnor.mx
210	286			X	Peláez Salvador Roberto				pelaez@yahoo.com
211	706		X		Peraza Vizcarra Ramón	UAS		Ciencias del Mar	
212	200	X			Pereyra Díaz Domitilo	UVER	Meteorología Aplicada	Instrumentación Electrónica	dpereyra@speedy.coacade.uv.mx
213	457		X	X	Pérez de Tejada Héctor	UNAM	CECIMAC	Física Espacial	hector@ifunam.ifisicaen.unam.mx
214	463		X		Pérez Enriquez Román	UNAM	UNICIT/Geofísica	Relación Sol-Tierra	roman@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
215	576			X	Pérez García Ismael	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima y Predicción	ismael@servidor.unam.mx
216	195		X		Pérez Rocha Luis Eduardo	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	Coordinación de Geofísica	
217	197	X	X		Pérez Venzor José Antonio	UABCS	Ciencias del Mar	Geología	japerez@calafia.uabcs.mx
218	250	X	X		Peterson Villalobos Héctor	LIBRA			libra@telnor.net
219	671	X			Prieto Mendoza Jesús José	UABCS			jprieto@calafia.uabcs.mx
220	207	X			Quintero Legorreta Odranuel	UNAM	Geología	Geología Regional	odranuel@servidor.unam.mx
221	674	X	X	X	Ramírez Hernández Jorge	UABC	Ingeniería	Ciencias de la Tierra	jramirez@csiam1.mx.uabc.mx
222	638		X	X	Ramírez Herrera María Teresa	UNAM	Geografía	Geografía Física	mleresa@iginis.igeograf.unam.mx
223	496	X	X	X	Ramírez Ruiz Juan José	UCOL	Observatorio Vulcanológico		
224	211	X	X	X	Ramírez Trejo Ana Rosa				
225	212	X			Ramírez Vázquez Carlos Ariel	UCOL	CICBAS	RESCO	carlosr@cgc.icol.mx
226	209			X	Ramos Jiménez Esteban	CENAPRED			en@cenapred.unam.mx
227	693		X		Ramos Leal José Alfredo	IPN	CIIDIR	Ingeniería y Tecnológica	
228	208	X	X	X	Randall Roberts John	UGTO			randall@redes.imt.com.mx
229	213	X		X	Rebollar Bustamante Cecilio J.	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	rebollar@cicese.mx
230	215	X	X	X	Reyes Dávila Gabriel Ángel	UCOL	CICBAS	RESCO	gabrielr@cgc.icol.mx
231	595		X		Reyes Zamora César Alfonso	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	areyes@cicese.mx
232	221		X		Ripa Alsina Pedro	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	ripa@cicese.mx
233	717		X		Rocha Fernández José Luis	UVER	Ciencias Atmosféricas	Instrumentación Electrónica	abraxas@speedy.coacade.uv.mx
234	482	X			Rodríguez Castillo Ramiro	UNAM	Geofísica	Recursos Naturales	rrdz@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
235	579		X	X	Rodríguez González Miguel	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	mrod@gea.ingen.unam.mx
236	225		X		Rodríguez Ramírez Joel	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	joel@cicese.mx
237	698			X	Rodríguez Zúñiga José Luis	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	Coordinación de Geofísica	san@mpsnet.com.mx
238	497	X	X		Romero Espejel J.G. Héctor	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	hromero@cicese.mx
239	560	X			Romero Pascual Mercedes	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	romero@eucmos.sim.ucm.es
240	218	X	X	X	Romo Jones José Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jromo@cicese.mx
241	475	X		X	Ronquillo Jarillo Gerardo	IMP	Estudios Geológicos	Investigación Sismológica	gerardo@orion.explimp.mx
242	611	X			Rosales Álvarez Julio	CFE	Campo Geotérmico Cerro Prieto	Exploración	
243	610	X			Rosales Grano Pedro	SEP	Tecnológico del Mar	Investigación	
244	575	X			Rosas Elguera José	UDG	Ciencias de la Tierra		jrosas@quantum.ucting.udg.mx
245	708			X	Royo Ochoa Miguel	UACH	Posgrado	Ingeniería	mroyo@seidel.fing.uach.mx
246	639	X			Rubio Culebras Eduardo	CSIC	Ciencias de la Tierra	Geofísica	erubio@ja.csic.es
247	242	X	X	X	Sabina Ciscar Federico	UNAM	IIMAS	Matemáticas y Mecánica	fjs@uxmym1.iimas.unam.mx
248	228		X		Saldaña Flores Ricardo	IE	Geotermia	Fuentes No Convencionales	rsf@p.ile.org.mx
249	472	X			Saldívar Medina Eric	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	Ingeniería Química	
250	607			X	Salinas Prieto José Antonio	IMTA	Hidrología	Hidrometeorología	jsalinas@tajin.imta.mx
251	712		X		Sánchez Gómez Rubén	UDG	CUCEI	Física Matemáticas	rubens@udgserv.cencar.udg.mx
252	226	X	X		Sánchez Monclú Alfredo	IMP		Exploración y Producción	alfredo_sanchez@hotmail.com
253	227		X		Sánchez Zamora Osvaldo	UNAM	Geofísica	Sismología	osvaldo@olin.igeofcu.unam.mx
254	241	X			Santamaría Saldaña Dora Elva	CFE			
255	527	X		X	Sarmiento López Citlali	IMP	Proceso Registros Geofísicos		
256	230	X	X	X	Schaaf Peter	UNAM	Geofísica	Exploración Geofísica	pschaaf@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
257	727		X		Schultz David M.	NSSL	NOAA		schultz@nssl.noaa.gov
258	284			X	Shumilin Eugeny	IPN	CICIMAR	Oceanología	eshumil@vmredipn.ipn.mx
259	233		X	X	Silva García José Teodoro	IPN	CIIDIR	COFAA	tsilva@vmredipn.ipn.mx
260	1	X	X	X	Singh Shri Krishna	UNAM	Geofísica	Sismología	krishna@olin.igeofcu.unam.mx
261	232		X	X	Skiba Yuri N.	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		skiba@servidor.unam.mx
262	512		X		Soler Arechalde Ana María	UNAM	Geofísica	Geomagnetismo	anesoler@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
263	235	X	X	X	Steinich Birgit	UNAM	UNICIT/Geología	Hidrogeología	birgit@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
264	519	X	X		Stock Joanne M.	CALTECH	Seismology		jstock@gps.caltech.edu
265	634	X			Suárez Ariaga Mario Cesar	CFE	Exploración	Modelado Matemático	geoexpl@morelia.leesa.mx
266	231		X	X	Suárez Plascencia Carlos	UDG	CUCSH	Geografía y Ordenación Terr.	csuarez@udgserv.cencar.udg.mx
267	515	X			Suárez Reynoso Gerardo	UNAM	Geofísica	Sismología	gerardo@olin.igeofcu.unam.mx
268	236	X			Suárez Vidal Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	fsuarez@cicese.mx
269	502	X			Suter Cargnelli Max	UNAM	Geología	Estación Regional del Noroeste	sutermx@aol.com.us

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - Miembros 1999 (continuación)

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
181	619	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
182	608	1300, 30th, A1-24		Boulder	CO.	USA	80303	
183	439	Av. Delfín Madrigal #665	Pedregal de Santo Domingo	México	D.F.	México	04360	
184	160	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
185	434	Nogueira #1		Jalapa	Ver.	México	91000	
186	176	Zona Universitaria s/n	Ciudad Universitaria	Jalapa	Ver.	México	91090	136
187	177	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
188	670	Apdo. Postal 592		La Paz	B.C.S.	México	23000	
189	609	Boulevard Las Plazas #75	F. Las Plazas	Guaymas	Son.	México	85430	
190	181	Targantinos #1		Guanajuato	Gto.	México	36000	
191	696	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
192	182	Apdo. Postal 96-B		Puerto Vallarta	Jal.	México		
193	183	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
194	452	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
195	455	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
196	714	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
197	568	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
198	665	Campus Eliseos #345, Piso 16	Polanco	México	D.F.	México	11550	
199	652	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-472
200	466	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
201	713	Carret. al Ajusco #203	Héroes de Padierna	México	D.F.	México	01400	
202	191	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
203	549	Km. 2.35 Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
204	189	Lic. Angel Compers #65	Dr. Miguel Silva	Morelia	Mich.	México	58120	
205	190	El Greco #5181	Real Vallarta	Zapopan	Jal.	México	45020	
206	201	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
207	205	Ciudad Universitaria			Santo Domingo	Rep. Dominicana		
208	202	Apdo. Postal No. 847	Centro	Hermosillo	Son.	México	83000	847
209	66	Km. 2.35 Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
210	286	Manzana No. 72, Lote 1	Jardines de Morelos 5ª. Sección	Ecatepec	EdoMex	México		
211	706			Mazatlán	Sin.	México		
212	200	Edificio Pino "C", Depto. 401	Jardines de Jalapa	Jalapa	Ver.	México	91170	136
213	457	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2681
214	463	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
215	576	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
216	195	Santa María #214	Maninaco	Acapulzalco	EdoMéx.	México		
217	197	Km. 5.5 Carretera al Sur	Ciudad Universitaria	La Paz	B.C.S.	México	23000	19-B
218	250	Boulevard Cuauhtémoc #3078-16	Gabilondo	Tijuana	B.C.	México	22420	
219	671	Retorno Mango #1855	Infonavit	La Paz	B.C.S.	México	23070	
220	207	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
221	674	PO Box 1136		Calexico	CA.	USA	92232	
222	638	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
223	496	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	
224	211	Apartado Postal #343		Ajijic	Jal.	México	45920	
225	212	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	21694
226	209	Av. Delfín Madrigal #665	Pedregal de Santo Domingo	México	D.F.	México	04360	
227	693	Av. Hornos #1003	Ampliación Indeco	Xoxocotlán	Oax.	México	71230	
228	208	Mineral de Valenciana #2	Marfil	Guanajuato	Gto.	México	36250	42
229	213	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
230	215	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	21694
231	595	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
232	221	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
233	717	Altamirano 99	Centro	Jalapa	Ver.	México	91000	628
234	482	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
235	579	Rio Bamba #674	Lindavista	México	D.F.	México		
236	225	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
237	698	Carret. al Ajusco #203	Héroes de Padierna	México	D.F.	México	01400	
238	497	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
239	560	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
240	218	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
241	475	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	Col. San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	07730	
242	611	C. Pascualitos-Pescaderos Km. 26.5	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	México	21100	
243	610	Km. 4, Carret. a Varadero Nacional	Sector Playitas	Guaymas	Son.	México	85425	742
244	575	Av. Revolución #1500	Sector Reforma	Guadalajara	Jal.	México	44410	
245	708	Priv. Altamirano #3511	Santo Niño	Chihuahua	Chih.	México	31320	
246	639	Lluís Solé i Sabaris s/n			Barcelona	España	08028	
247	242	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	20726
248	228	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
249	472	Ganadería La Laguna #38	Jardines del Toreo	Morelia	Mich.	México		
250	607	Paseo Cuauhnahuac #8532	Progreso	Jiutepec	Mor.	México	62550	
251	712	M. García Barragán y Corregidora		Guadalajara	Jal.	México	44421	
252	226	Apdo. Postal 224, Oficina Correo		Cd. del Camen	Camp.	México	24101	
253	227	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
254	241	Zaragoza #17	Tulyehaulco	México	D.F.	México	16700	
255	527	Calle 42 #28	Tacubaya	Cd. del Camen	Camp.	México		
256	230	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	70472
257	727	1313 Halley Circle		Norman	OK.	USA	73069	
258	284	Apdo. Postal 592		La Paz	B.C.S.	México	23000	592
259	233	Justo Sierra #28		Jiquilpan	Mich.	México		
260	1	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
261	232	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
262	512	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
263	235	Campus Juriquilla, Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
264	519	2824 Shakespeare Drive		San Marino	CA.	USA	91108	
265	634	Alejandro Volta #655	Electricistas	Morelia	Mich.	México	58290	7-31
266	231	Kilimanjaro #1727	Sector Independencia	Guadalajara	Jal.	México	44240	
267	515	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
268	236	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
269	502	1650 West Chimayo Place		Tucson	AZ.	USA	85704	

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - Miembros 1999

No.	Miembro	97	98	99	Nombre	Institución	División o Instituto	Depto. o Facultad	E-mail
270	533			X	Talavera Mendoza Oscar	UAG	Ciencias de la Tierra		
271	705		X		Tapia Armenta Juan	IPN	CITEDI		jtapia@citedi.mx
272	249	X		X	Taran Yuri	UNAM	Geofísica	Vulcanología	taran@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
273	718			X	Téllez Duarte Miguel Angel	UABC			
274	245	X	X	X	Tereshchenko Irina E.	UDG	CUCEI	Física Matemáticas	itereshc@udg.serv.cencar.udg.mx
275	532	X	X		Tolson Jones Gustavo	UNAM	Geología	Geología Regional	tolson@servidor.unam.mx
276	604	X	X	X	Torres Orozco Ernesto	UCOL	Oceanografía Física	Ciencias Marinas	etorres@cgc.ucol.mx
277	528	X	X		Trasviña Castro Armando	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	trasvi@cicese.mx
278	622	X	X	X	Urrutia Fucugauchi Jaime	UNAM	Geofísica	Lab. Paleomagnetismo	juf@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
279	138	X	X	X	Valenzuela Wong Raúl	UNAM	Geofísica	Sismología	raul@ollin.igeofcu.unam.mx
280	531			X	Valle Levinson Arnoldo	OLD DOMINION U	Center for Coastal Physical O		arnoldo@ccpo.odv.edu
281	254	X	X	X	Vázquez González Rogelio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	rvazquez@cicese.mx
282	695		X	X	Vázquez James María Elena	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	
283	725		X		Vega Granillo Ricardo	USON	Geología		rickvega@geologia.uson.mx
284	545	X			Velasco Climaco Nector	IMP			nvelasco@cicese.mx
285	546			X	Venegas Salgado Saúl	CFE	Geotermia	Proyectos Geotermoelectricos	cfeinf@mail.giga.com
286	543	X		X	Verma Jaiswal Mahendra Pal	IIIE	Geotermia		
287	171	X			Victoria Morales Alfredo	UNAM	Ingeniería	Ingeniería	victoria@servidor.unam.mx
288	540	X	X	X	Vidal Villegas Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	vidalv@cicese.mx
289	547	X	X		Villanueva Urrutia Elba Elsa	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima y Predicción	eevu@mvica.atmosfci.unam.mx
290	648	X			Villegas García Cesar José	SCINTREX	Servicios Geofísicos Especializado	Consultor Geofísico	cvillega@intercable.net
291	255	X			Villicaña Cruz Francisco Javier	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		
292	259	X	X	X	Wong Ortega Víctor	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	vwong@cicese.mx
293	376	X	X	X	Yussim Guarneros Sergio	UNAM	Geología	Geología Regional	yussim@servidor.unam.mx
294	262	X	X	X	Zárate Del Valle Pedro F.	UDG	Ciencias de la Tierra	Civil y Topografía	pzarate@quantum.ucting.udg.mx
295	707		X		Zárate Vázquez María	UNAM		Ingeniería	mariaz@servidor.unam.mx
296	93		X		Zavala Jorge	UNAM			igs@servidor.unam.mx
297	261	X	X	X	Zobin Vyacheslav M.	UCOL	Observatorio Vulcanológico		vzobin@cgc.ucol.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. - Miembros 1999 (continuación)

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
270	533	Apdo. Postal 197		Taxco	Gro.	México		197
271	705	Av. del Parque #1310	Mesa de Olay	Tijuana	B.C.	México	22510	
272	249	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
273	718	Km. 106 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	
274	245	Rio Autlan #2180-34	Altas	Guadalajara	Jal.	México	44421	
275	532	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	99074
276	604	Constitución #37	Morelos	Manzanillo	Col.	México	28217	
277	528	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
278	622	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
279	138	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
280	531	768 52nd St		Norfolk	VI.	USA	23529	
281	254	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
282	695	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
283	725	Blvd. Transversal y Rosales	Centro	Hermosillo	Son.	México	83000	
284	545	Calle 42 #28	Tacubaya	Cd. del Camen	Camp.	México		
285	546	Alejandro Volta #655	Electricistas	Morelia	Mich.	México	58290	
286	543	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
287	171	Luis Martínez del Campo #39	Romero de Terreros	México	D.F.	México	04310	
288	540	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
289	547	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
290	648	Sierra Nevada #207	Villas del Valle	Garza García	N.L.	México	66288	
291	255	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
292	259	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
293	376	Alotoniño #88	Felipe de Jesús	México	D.F.	México	07510	
294	262	Av. Revolución #1500	Sector Reforma	Guadalajara	Jal.	México	44410	4021
295	707	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
296	93	Parque del Conde #12	San José Insurgentes	México	D.F.	México	03900	
297	261	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.



REUNIÓN ANUAL 1999 Puerto Vallarta, Jal., México 25 - 29 de Octubre

La reunión anual de la UGM proporciona un foro donde los estudiantes, académicos y profesionales de las Ciencias de la Tierra presentan y discuten los resultados de la investigación que se realiza en o acerca de México, así como otros tópicos de interés actual para nuestra comunidad.

Las ponencias tendrán una duración de 15 minutos, incluyendo tiempo para discusión, en sesiones regulares y sesiones especiales sobre los siguientes temas:

- Ingeniería Sísmica
- Geofísica Matemática
- Geofísica de Exploración
- Tectónica
- Estratigrafía
- Geología Estructural
- Vulcanología
- Geoquímica
- Geohidrología
- Petrología
- Sismología
- Paleomagnetismo Terrestre
- Ciencias del Mar
- Ciencias de la Atmósfera
- Sensores Remotos
- Climatología
- Cambio Global
- Física Espacial
- Planetología

El formato del resumen está disponible vía Internet en la siguiente dirección: <http://www.ugm.org.mx>

Favor de enviar su resumen en disquete o por E-mail a:

Victor M. Frías Camacho
Geología/CICESE
Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, B.C., 22860, México
Tel: 01(61) 744-501 al 08, Ext: 26035
Fax: 01(61) 750-559
E-mail: ugm@cicese.mx

En caso de dificultad para enviar su resumen en el formato y forma mencionada, puede hacerlo por correo. No se aceptarán resúmenes enviados por FAX.

Fecha límite para recibir resúmenes - Agosto 21, 1999

Sede: Hotel Camino Real Puerto Vallarta
Puerto Vallarta, Jal., México

Reservaciones:

Tel: 01 (322) 15-000
Fax: 01 (322) 16-000

Inscripción	{	Miembros UGM o AGU	\$ 700.00
a la		No miembros	\$ 900.00
Reunión		Estudiantes	\$ 350.00
		Costo de resumen	\$ 120.00
		Membresía Investigador	\$ 300.00
		Membresía Estudiante	\$ 250.00

Costo por habitación doble o sencilla:
\$ 550.00 + impuestos y propinas (\$32.00 a bellboys entrada y salida y \$16.00 a camaristas por noche).

Registro en el hotel sede desde el 24 de Octubre a partir de las 16:00 hrs.

Para reservaciones llenar el formato anexo y enviar vía fax directamente al hotel.

CAMINO REAL PUERTO VALLARTA

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

Octubre 24 – 31, 1999

Fecha límite de reservación: SEPTIEMBRE 20 DE 1999

Categoría de habitaciones		
Hab. DLX Sencilla	Hab. DLX Doble	Persona Extra
\$550.00 Pesos	\$550.00 Pesos	\$250.00 Pesos

Los precios son por noche, sujetos a un 15% de IVA + 2% de impuesto de hospedaje. Plan Europeo (no incluye alimentos). En base a ocupación sencilla/doble.

Si la categoría de habitación que solicita no se encuentra disponible y es necesario asignarle otra, favor de indicar si damos prioridad al tipo de habitación o a la tarifa.

Favor de anotar los nombres de las personas que ocuparán la habitación	Edad	Fecha de llegada	Vuelo de llegada y hora	Fecha de salida	Vuelo de salida y hora

Solicitudes especiales (sujetas a disponibilidad): _____

Garantía/Depósitos	
Fecha límite para reservaciones Septiembre 20, 1999 . Las cancelaciones recibidas después de Septiembre 20, 1999 , así como no shows, estarán sujetas a un cargo por cancelación correspondiente a una noche más 15% IVA + 2% impuesto de hospedaje.	
Tarjetas de Crédito	
Los cargos serán hechos por el Hotel directamente	
AX _____	Visa _____
MasterCard _____	BX _____
BCMR _____	
Número de tarjeta _____	Fecha vencimiento: _____
Firma de tarjetahabiente: _____	
Nombre tarjetahabiente: _____	

Enviar confirmación a:

Nombre: _____ Teléfono: _____
 Institución ó Compañía: _____ Fax: _____
 Dirección: _____ Ciudad: _____
 Estado/País: _____ Código Postal: _____

PARA HACER SUS RESERVACIONES EN EL HOTEL:	
FAX A (24 horas) 52-322-16000 e-mail: pvr@caminoreal.com	TELEFONO 52-322-15000

Para ser utilizado por el Hotel únicamente

Confirmado por: _____	Número de confirmación: _____
-----------------------	-------------------------------



SERVICIO ANALÍTICO DEL LABORATORIO DE RAYOS X
INSTITUTO DE GEOLOGÍA, UNAM
LISTA DE PRECIOS 1997-98



RESPONSABLE: QUÍM. RUFINO LOZANO SANTA CRUZ
DEPTO DE GEOQUÍMICA
 Cd. Universitaria, C.P. 04510, México, D.F.
 Fax: (5)622-4317
 E-mail: rufino@servidor.unam.mx

FLUORESCENCIA DE RAYOS X
ANÁLISIS CUANTITATIVO DE ROCA TOTAL Y DE MINERALES
(ESPECTRÓMETRO SECUENCIAL SIEMENS 3000 AUTOMATIZADO)

25 Elementos Mayores y Traza

(Si, Ti, Al, Fe total, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Rb, Sr, Ba, Y, Zr, Nb, Ga, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Sc y Th) + (Pérdida por calcinación)

Precio Comercial	\$480.00/muestra (60 USCy)
Instituciones de Investigación	\$320.00/muestra (40 USCy)
Precio por muestras urgentes en lotes de <20	\$720.00/muestra
Muestras de difícil proceso (carbonatos, arcillas, sulfuros >2%)	\$100.00 por hora adicional preparación

10 Elementos Mayores y Pérdida por Calcinación o 15 Elementos Traza

Precio Comercial	\$260.00/muestra
Instituciones de Investigación	\$180.00/muestra

Determinaciones Complementarias

Pérdida por calcinación	\$60.00/muestra
Fe ⁺²	\$80.00/muestra
Análisis semicuantitativo reportando hasta 62 elementos	\$220.00/muestra

ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X
IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES CRISTALINOS
(DIFRACTÓMETRO PHILIPS)

Tiempo de Haz	\$160.00/hora
Tiempo de Haz con nuestro operador	\$320.00/hora

Favor de enviar las muestras y la solicitud de servicio a:
 Rufino Lozano y/o Patricia Girón
 Instituto de Geología, UNAM
 Laboratorio de Rayos X
 Circuito de la Investigación Científica
 Cd. Universitaria, D.F., 04510, México
 Tel.: (5) 622-4319

Nota: Sin la solicitud de análisis y la lista de muestras no se iniciará ningún estudio.
 Las muestras deberán ser enviadas en polvo molido (al menos 20 g), aproximadamente a 200 mallas, en caso de requerir del uso del taller de molienda del IGLUNAM, el cargo será de \$75.00/hora.



Posgrado

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Tierra

GEOLOGÍA

Geología Estructural
Geología Marina
Geocronología
Vulcanología
Estratigrafía
Petrología
Tectónica
Geoquímica
Sensores Remotos

GEOFÍSICA APLICADA

Exploración Geofísica
Simulación Numérica
Problemas Inversos
Electromagnetismo
Geofísica Marina
Geohidrología

SISMOLOGÍA

Estudios de Microsismicidad
Peligro y Riesgo Sísmico
Problemas Inversos
Sismología Teórica
Fuentes Sísmicas
Sismotectónica

**Centro de Investigación Científica y
de Educación Superior de Ensenada**

Para mayores informes dirigirse a:

CICESE

Dirección de Estudios de Posgrado
Apartado Postal 2732
Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada
Ensenada, Baja California
C.P. 22860, México
Tel. 01(61)745-050 Ext. 23001
Fax: 01(61)744-880
<http://www.cicese.mx>



INSTITUTO DE GEOFÍSICA
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN
MATEMÁTICAS APLICADAS Y EN SISTEMAS
CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA
FACULTAD DE CIENCIAS
FACULTAD DE INGENIERÍA



La Universidad Nacional Autónoma de México, a través de estas entidades, ofrece estudios de maestría y doctorado en el marco del programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, comprendiendo más de 50 líneas de investigación bajo la dirección de más de 120 tutores que estudian diferentes campos del conocimiento como:

Aguas Subterráneas
Estratigrafía
Exploración
Física de la Atmósfera
Física del Interior de la Tierra
Física Espacial
Geología Ambiental

Geología Estructural y Tectónica
Geoquímica y Petrología
Modelación Matemática y
Computacional de Sistemas Terrestres
Sismología
Vulcanología

SEDE

La sede del Posgrado se ubica en Ciudad Universitaria en la Cd. de México, aunque también pueden realizarse estudios de posgrado en las Unidades Regionales ubicadas en los Campus Juriquilla, Querétaro y Hermosillo, Sonora.

BECAS

Los estudiantes aceptados al Posgrado en Ciencias de la Tierra podrán aspirar a obtener una beca a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, de la propia Universidad Nacional Autónoma de México, de la Secretaría de Relaciones Exteriores, de dependencias diversas de Intercambio Académico, de las embajadas de México en el extranjero, del Consorcio de Instituciones Latinoamericanas de Posgrado e Investigación, de la Secretaría de Educación Pública a través de sus programas PROMEP y SUPERA, de la Organización de Estados Americanos y del Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

INFORMES E INSCRIPCIONES

Coordinación del Posgrado en Ciencias de la Tierra
Instituto de Geofísica, UNAM
Cd. Universitaria, Circuito de la Investigación Científica, 04510, México, D.F.
Tels.: 52 (5) 622-4130, 622-4137 Fax: 52 (5) 622-4097
E-mail: coord@anahuac.igeofcu.unam.mx
<http://nundehui.igeofcu.unam.mx/posgrado.html>



Maestría y Doctorado en Ingeniería Hidráulica



La División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM ofrece cursos de maestría y doctorado en Ingeniería Hidráulica en sus instalaciones de Progreso, Morelos, México.

Las asignaturas que se imparten son, entre otras:

Hidráulica General
Métodos Matemáticos
Mecánica de Fluidos
Hidrología de Superficie

Irrigación y Drenaje
Geohidrología
Métodos Numéricos
Obras Hidráulicas

La maestría y el doctorado están dirigidos a egresados de Ingeniería Civil, Ciencias Agropecuarias y carreras afines. Estos cursos están apoyados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a través de becas, biblioteca, computadoras y laboratorios.

Informes al Tel. (73) 194-049 o 194-000, Ext. 532 con el Dr. Alvaro Muñoz en Paseo Cuaunáhuac #8532, Progreso, Morelos, México. C.P. 62550.

ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA MEXICANA

El pasado 12 de noviembre, en el seno de la Reunión Anual 1998 de la Unión Geofísica Mexicana, A.C., la Asociación Geotérmica Mexicana (AGM) renovó su Consejo Directivo, el cual quedó integrado por las siguientes personas:

Presidente:	M.C. José Manuel Romo Jones Depto. de Geofísica Aplicada, CICESE
Vicepresidente :	M.C. José Antonio Sampedro García Instituto de Ingeniería, UABC
Secretario:	Dr. Benjamín Valdéz Salas Instituto de Ingeniería, UABC
Tesorero:	M.C. Alfonso Aragón Aguilar Depto. de Geotermia, IIE
Pro-secretario:	Dra. Georgina Izquierdo Montalvo Depto. de Geotermia, IIE
Pro-tesorero:	Dr. Mahendra Pal Verma Depto. de Geotermia, IIE

quienes estarán en funciones durante los próximos dos años.

<http://www.ugm.org.mx/agm>

M.C. José Manuel Romo Jones
Depto. de Geofísica Aplicada, CICESE
E-mail: jromo@cicese.mx

M.C. José Sampedro García
Instituto de Ingeniería, UABC
E-mail: sampedro@csiam1.mx1.uabc.mx

Dr. Benjamín Valdéz Salas
Instituto de Ingeniería, UABC
E-mail: salas@csiam1.mx1.uabc.mx

Dra. Georgina Izquierdo Montalvo
Depto. de Geotermia, IIE
E-mail: gim@iie.org.mx

M.C. Alfonso Aragón aguilar
Depto. de Geotermia, IIE
E-mail: aaragon@iie.org.mx

Dr. Mahendra Pal Verma
Depto. de Geotermia, IIE
E-mail: mahendra@iie.org.mx

AGM
ASOCIACION
GEOTERMICA
MEXICANA

ASOCIACIÓN GEOTÉRMICA MEXICANA

La Asociación Geotérmica Mexicana (AGM) es una sociedad civil, no lucrativa, formada por profesionistas dedicados a los diversos aspectos relacionados con el aprovechamiento de la energía geotérmica. Fue fundada en 1992 para reforzar la colaboración académica, científica, industrial y tecnológica entre la comunidad geotérmica nacional y entre sus nexos internacionales. Su objetivo es difundir y promover las actividades de investigación, desarrollo y explotación de la energía geotérmica en México y en el extranjero, estableciendo un foro de análisis y discusión que permita intercambiar los conocimientos y experiencias de sus miembros. La AGM agrupa especialistas en diversas disciplinas, como: Física, Geología, Geoquímica, Geofísica, Ingeniería de Yacimientos, Ingeniería Industrial, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica, etc. Actualmente es una organización miembro de la International Geothermal Association (IGA).

La Asociación Geotérmica Mexicana, invita a todos los profesionales y académicos relacionados con la Geotermia, a formar parte de nuestra asociación, contribuyendo así al fortalecimiento de nuestra comunidad.

INSTRUCCIONES PARA AUTORES DE ARTÍCULOS

POLÍTICA EDITORIAL

GEOS es el boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana. Se publica trimestralmente y en él caben artículos y notas de investigación, comentarios, noticias opiniones, anuncios y aspectos relevantes para la vinculación y difusión de las actividades científicas y docentes de las Ciencias de la Tierra. Los manuscritos de investigación publicados en *GEOS* deberán ser originales y podrán estar relacionados con cualquier área de las Ciencias de la Tierra, donde son particularmente bienvenidas todas aquellas contribuciones que coadyuven a su enseñanza.

Para facilitar su arbitraje, todos los manuscritos de investigación sometidos a *GEOS* deberán ser enviados en original y dos copias, escritos a doble espacio con un tipo de 12 puntos. Todas las contribuciones deberán ser sometidas en Español y dirigidas al Editor de *GEOS*. Si el manuscrito sometido es relevante, el Editor Principal lo enviará a un miembro del Comité Editorial del boletín, quien seleccionará dos o tres especialistas para revisar el manuscrito. Los revisores remitirán sus comentarios al editor de área, quien los enviará al Editor Principal, junto con su recomendación. El Editor Principal puede rechazar, aceptar, o solicitar modificaciones al manuscrito, para lo cual remitirá a los autores los comentarios de los revisores y del editor de área.

Publicar en Geos es gratis, sin embargo, se recomienda que los manuscritos no excedan 12 páginas en el formato de la revista (una página es equivalente a aproximadamente 3 cuartillas a doble espacio). Todas las contribuciones deberán incluir: título, resumen, introducción, una sección de métodos, una sección de resultados y una sección de discusión y conclusiones.

Cuando el autor reciba la notificación de aceptación, se le solicitará que envíe su manuscrito en disquette. Sugerimos que se utilicen los procesadores de textos WORD o WORD PERFECT, aunque también se aceptarán en ASCII. Las ilustraciones que acompañen el manuscrito podrán ser enviadas en disquette, en cualquiera de los siguientes formatos: TIF, EPS, BMP, PS, DXF, DWG y WMF.

Si se desean sobretiros, el autor responsable deberá mencionarlo al editor al enviar la versión final de su artículo. Los sobretiros serán pagados por el autor, arazón de \$3.00 M.N. la página.

RESUMEN

Al preparar su resumen tome en cuenta que éste deberá marcar los objetivos de la investigación, los resultados más importantes y las conclusiones alcanzadas. En el resumen no se deberán incluir citas bibliográficas.

INTRODUCCIÓN

En la introducción se deberá presentar la naturaleza del problema, incluyendo una revisión adecuada de los antecedentes sobre el tema. El objetivo de la introducción es enmarcar el problema dentro del estado general del conocimiento en el área que le corresponde, y su función es la de motivar al lector en cuanto a la importancia del trabajo.

METODOLOGÍA

La metodología empleada en el trabajo deberá ser descrita con suficiente detalle, para que otros miembros de la comunidad puedan asimilar la metodología presentada. Secciones de interés marginal deberán ser diferidas a un apéndice.

RESULTADOS

Usualmente, los resultados de la aplicación de cualquier metodología, pueden ser presentados en forma de tablas o figuras. Evite la redundancia mediante una adecuada selección de sus resultados. Los pies de figura deberán ser lo suficientemente explicativos para resaltar la importancia de los resultados sin necesidad de referirse al texto.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Esta sección deberá incluir los principios, relaciones y generalizaciones inferidas a partir de los resultados. En esta sección se discutirán acuerdos y desacuerdos con trabajos publicados previamente, así como las implicaciones teóricas y las aplicaciones prácticas del trabajo.

REFERENCIAS

Todas las referencias deberán ser agrupadas en orden alfabético de autores. Si un autor es referenciado más de una vez el mismo año, utilice el sufijo, a, b, etc. para distinguir referencias. Aquellos manuscritos que no han sido aceptados para publicación no deberán incluirse en las referencias. Solamente cuando el manuscrito sea de divulgación, se permitirá utilizar referencias no citadas en el texto.

Formato para citas

Para cada autor o co-autor, escriba con mayúscula únicamente la primera letra de los apellidos y después las iniciales. Utilice letras mayúsculas sólo en la primera letra del título y para los nombres propios. Incluya el nombre completo de la revista o editorial que la publicó, volumen y páginas. Por ejemplo:

- Alvarez-Borrego, S., 1996, Satellite derived photosynthetic pigment surveys: A review of marine phytoplankton biomass and productivity, *Geofísica Internacional*, v. 35, p. 51-61.
- Lomnitz, C., 1995, Diez años después: Una reinterpretación de la catástrofe de 1985, *en*: F. Medina-Martínez, L. A. Delgado-Argote y G. Suárez-Reynoso, editores, *La Sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985 (M=8.1)*, Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 2, 61-67.
- Ripa, P., y Velázquez, G., 1993, Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California, *Geofísica Internacional*, v. 32, p. 41-56.
- Sánchez-Sesma, F.J., and Luzón, F., 1994, Seismic response of three-dimensional alluvial valleys for incident P, S, and Rayleigh waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 85, p. 269-284.
- Winkler, H.G.F., 1967, *Petrogenesis of metamorphic rocks*, 2nd ed., Springer-Verlag, New York, 237 p.

Unidades

Con algunas excepciones, todas las unidades físicas deberán expresarse en el Sistema Internacional de unidades (SI). Las siguientes excepciones son aceptables:

densidad en g/cm^3

presión en bar

intensidad del campo magnético en gammas

Expresiones matemáticas

Escriba sus ecuaciones en la forma más simple posible, utilizando signos de puntuación. Utilice itálicas para todos los símbolos, exceptuando las letras griegas. Vectores y matrices se escribirán con tipo resaltado. Numere en forma consecutiva y utilice paréntesis para todas las ecuaciones que aparezcan en el texto.

Figuras

Por consideraciones de costo, únicamente se publicarán figuras en blanco y negro. Si las ilustraciones son elaboradas a mano, utilice tinta negra sobre papel albanene o mylar. Si las ilustraciones son elaboradas en computadora utilice una impresora láser.

Una vez concluido el proceso de arbitraje, el manuscrito será devuelto al primer o único autor con los comentarios de los árbitros y del editor. El manuscrito corregido en forma final será editado por el Editor Técnico de **GEOS**. No se enviarán pruebas de galera.

Cualquier cambio a la política editorial de **GEOS** se publicará en el primer número del año.

GEOS

FORMA DE ARBITRAJE (cualquier tipo de trabajo)



AUTOR (ES): _____

TITULO: _____

	SI	NO	PARCIALMENTE
1.- ¿Contiene el trabajo datos o ideas originales que ameriten su publicación en una revista especializada?	☐	☐	☐
2.- ¿Como la clasificaría? 1) Investigación, 2) Divulgación, 3) Noticia	☒ 1	☒ 2	☒ 3
3.- ¿Son válidas las observaciones y conclusiones?	☐	☐	☐
4.- ¿Son pertinentes y comprensibles el título y el resumen?	☐	☐	☐
5.- ¿Son necesarias y adecuadas las tablas y figuras presentadas?	☐	☐	☐
6.- ¿Son buenas la organización y presentación del trabajo?	☐	☐	☐
7.- ¿Es correcto el lenguaje científico?	☐	☐	☐
Sugerencias al (los) autor (es):	☐	☐	☐
a) Indicadas en hoja aparte	☐	☐	☐
b) Anotadas sobre el manuscrito	☐	☐	☐
Recomendación al Editor:	☐	☐	☐
a) El trabajo es aceptable en su forma actual	☐	☐	☐
b) El trabajo es aceptable con correcciones menores	☐	☐	☐
c) El trabajo puede ser aceptable después de ser corregido y evaluado de nuevo	☐	☐	☐
d) Comentarios confidenciales al editor en hoja aparte	☐	☐	☐

NOMBRE Y FIRMA
(opcional)

**Recordamos a todos los miembros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.
que la cuota para 1999 es de \$300.00 para investigadores
y \$250.00 para estudiantes.**

página internet: www.ugm.org.mx

Favor de hacer llegar su cuota a:

María Guadalupe Martínez Vázquez
Depto. de Geología,
División de Ciencias de la Tierra,
CICESE
Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, 22860, Baja California, México

Araceli Chaman
Depto. de Posgrado,
Instituto de Geofísica,
UNAM
Cd. Universitaria, Delegación Coyoacán,
04510, México, D.F.

Con un cordial saludo

**Luis A. Delgado Argote
Secretario de Difusión**

GEOS

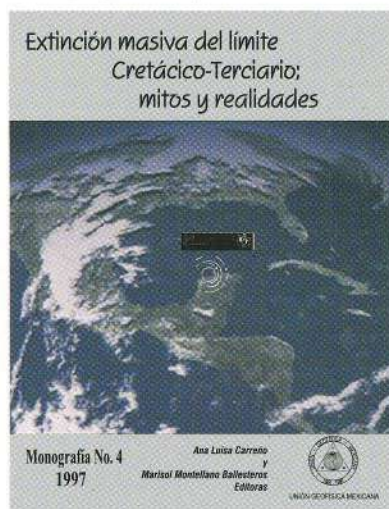
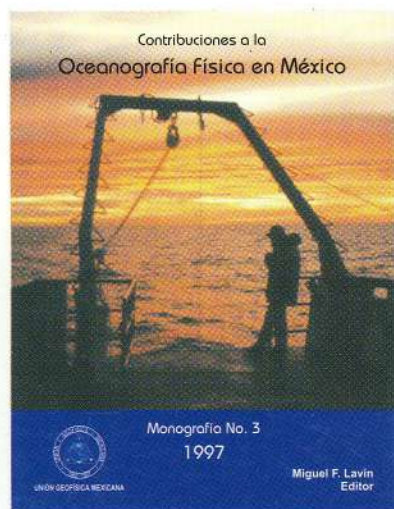
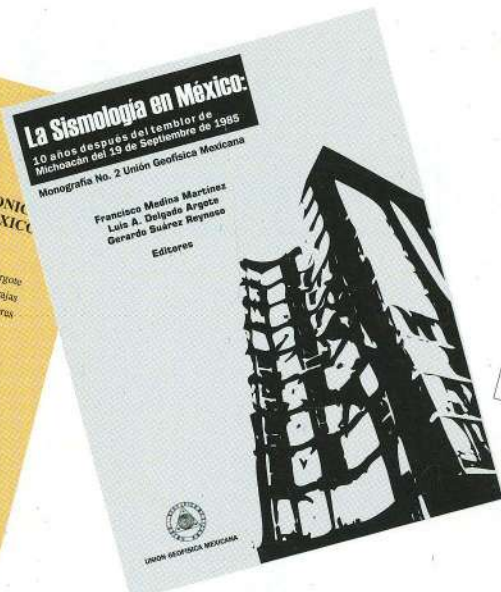
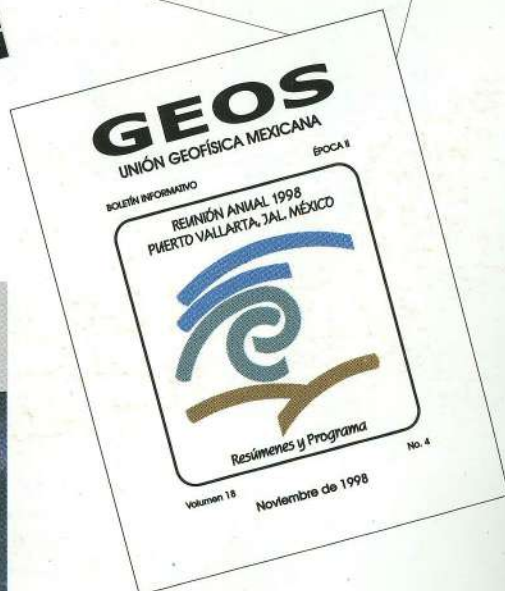
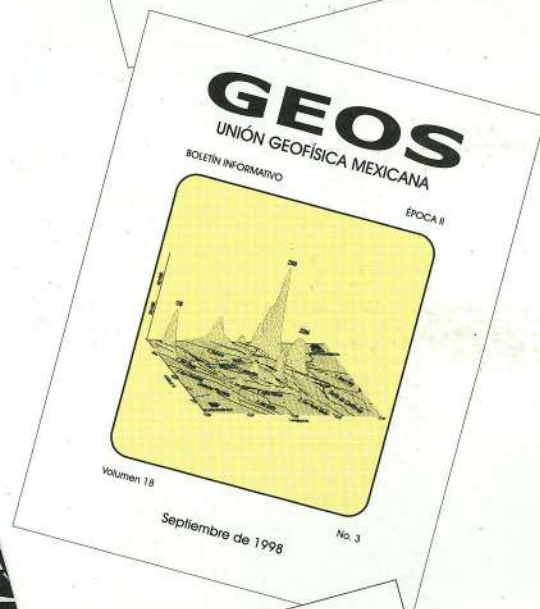
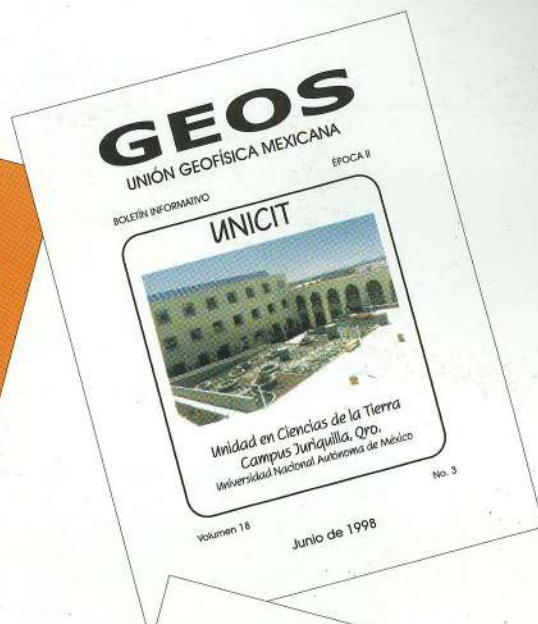
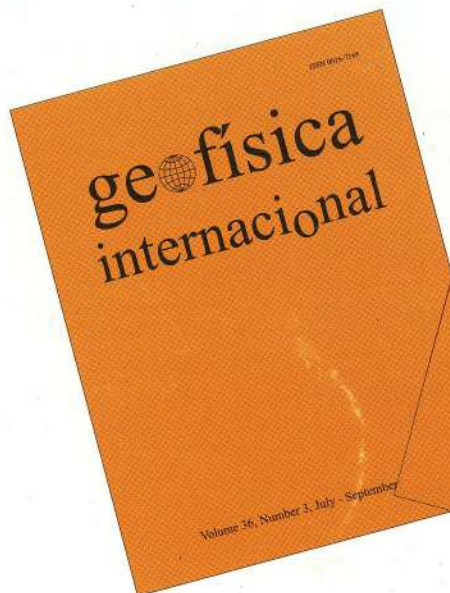
Revista a la venta con:

Costo del ejemplar \$60.00

María Guadalupe Martínez Vázquez
Depto. de Geología,
División de Ciencias de la Tierra
Tel: 01(61)744-501 al 08
Ext: 26035
E-mail: gmartine@cicese.mx

Araceli Chaman
Depto. de Posgrado
Instituto de Geofísica
Tel: 01(5) 622-4130 y 622-4137
E-mail: achaman@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx





Tus trabajos de investigación y divulgación tienen cabida en estos foros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.