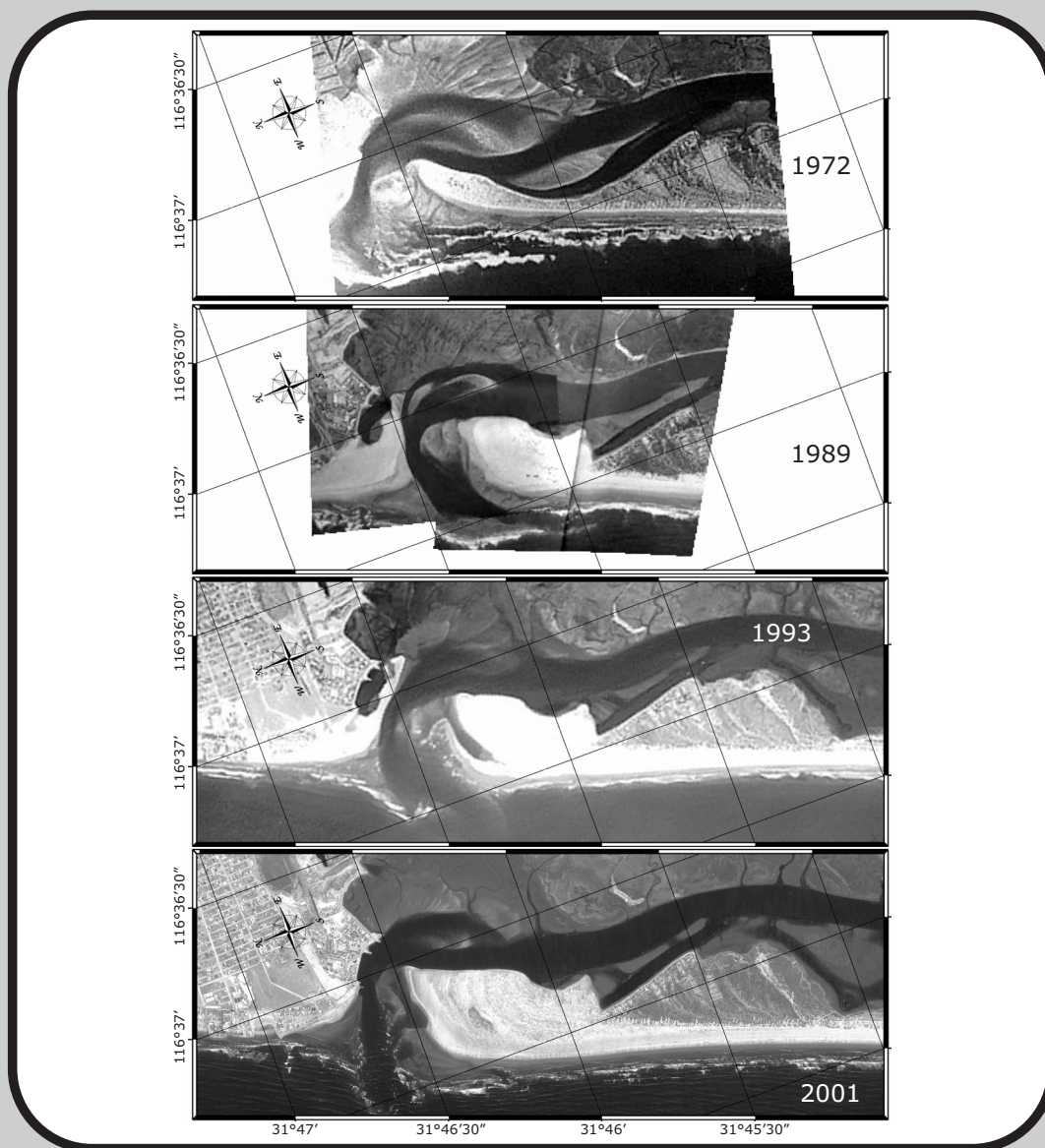


# GEOS

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

BOLETÍN INFORMATIVO

ÉPOCA II



Volumen 23

No. 3

Diciembre de 2003

# GEOS

<http://www.ugm.org.mx/geos.html>

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

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

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.  
Mesa Directiva 2004-2005

**Dr. Julián Adem Chain**  
Presidente Honorario

**Dr. Luca Ferrari Pedraglio**  
Presidente

**Dr. Luis Alberto Delgado Argote**  
Vicepresidente

**Dr. Jaime Urrutía Fucugauchi**  
Secretario General

**Dr. Roberto Molina Garza**  
Tesorero

**Dr. Vladimir Kostoglodov**  
Secretario de Investigación

**Dr. José Manuel Romo Jones**  
Secretario de Difusión

**Dr. Fernando García García**  
Secretario de Educación

### Editores Principales

Luis A. Delgado Argote  
[ldelgado@cicese.mx](mailto:ldelgado@cicese.mx)  
CICESE

José Manuel Romo Jones  
[jromo@cicese.mx](mailto:jromo@cicese.mx)  
UGM

### Comité Editorial

Harald Böhnelt, Instituto de Geofísica, UNAM  
Noel Carbajal Pérez, IPICYT  
Oscar Campos, Instituto de Geofísica, UNAM  
Gerardo Carrasco, Instituto de Geología, UNAM  
Ana Luisa Carreño, Instituto de Geología, UNAM  
Carlos Flores Luna, División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
José Luis Frías Salazar, INEGI  
Juan García Abdeslem, División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
René Garduño, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM  
Manuel Grajales N., Instituto Mexicano del Petróleo  
Margarita López Martínez, División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
Alejandro Hinojosa Corona, División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
Miguel Lavín Peregrina, División de Oceanología, CICESE  
Luis Munguía Orozco, División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
Jorge Ledesma Vázquez, Facultad de Ciencias Marinas, UABC  
Guillermo Pérez, PEMEX  
Domitilo Pereyra, Universidad Veracruzana  
Francisco José Sánchez Sesma, UNAM  
Miguel Téllez, UABC  
Gustavo Tolson, Instituto de Geología, UNAM  
Carlos Suárez Plascencia, Universidad de Guadalajara  
Héctor Pérez de Tejada, Instituto de Geofísica, UNAM

Apoyo Técnico Editorial  
Victor Manuel Frías Camacho  
María Cristina Álvarez Astorga

**GEOS**, boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana, contiene artículos de investigación originales así como artículos de divulgación y notas cortas, sobre aspectos relevantes para la difusión de la actividad científica, tecnológica y docente en las Ciencias de la Tierra, así como noticias de interés para los miembros de la UGM. Las instrucciones para los autores se encuentran al final de cada revista y en <http://www.ugm.org.mx/geos.html>

correspondencia a:  
Editorial GEOS  
División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada  
Ensenada, B.C., México  
Tel.: (646) 175-0500, Ext. 26060

Título: **GEOS**

Periodicidad: cuatrimestral

ISSN: 0186-1891

Editado en la División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, 22860, B.C., México.

## ÍNDICE

EDITORIAL .....	272
 <b>ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN</b>	
ESTRUCTURA SUBSUPERFICIAL INFERIDA MEDIANTE DECONVOLUCIÓN DE EULER E INTERPRETACIÓN DE ANOMALÍAS DE GRAVEDAD MEDIDAS EN LA CONFLUENCIA DE GUADALAJARA Y TONALÁ, OCCIDENTE DE MÉXICO .....	273
<i>Alatorre-Zamora, M.A. y J.O. Campos-Enríquez</i>	
TRANSPORTE DE SEDIMENTO POR TRACCIÓN DE MAREA EN EL ESTERO DE PUNTA BANDA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO .....	283
<i>Modesto Ortiz, Laura Huerta-Tamayo y Alejandro Hinojosa</i>	
 <b>ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN</b>	
CARACTERÍSTICAS Y CRITERIOS DE IDENTIFICACIÓN DE LAS PSEUDOTAQUILITAS ASOCIADAS A LA FALLA DE LOS PLANES, LA PAZ, B. C. S. ....	295
<i>Angel F. Nieto-Samaniego, Susana A. Alaniz-Alvarez y Gustavo Tolson Jones</i>	
PROCESAMIENTO EN TIEMPO DE DATOS SÍSMICOS DE REFLEXIÓN DE ONDAS P EN MEDIOS CON ISOTROPÍA TRANSVERSAL CON EJE DE SIMETRÍA VERTICAL (ITV) .....	302
<i>Carlos Calderón Macías, Jaime Ramos Martínez, Tatiana Kerdan, Raúl Cabrera Garzón y Alfonso González Ibarra</i>	
 <b>REPORTES</b>	
SISMICIDAD DEL CENTRO Y SUR DE MÉXICO (PERÍODO JULIO A DICIEMBRE, 2003) .....	310
<i>Javier Fco. Pacheco, Casiano Jiménez, Jesús Pérez Santana, Jorge A. Estrada, José L. Cruz, Arturo Cárdenas, Tan Li Yi, Maria de los Ángeles Gutiérrez, Bernardino Rubí y José A. Santiago</i>	
BOLETÍN DE LA RED SÍSMICA DEL NOROESTE DE MÉXICO (PERIODO JULIO A DICIEMBRE DE 2003) .....	317
<i>GRUPO RESNOM</i>	
 <b>NOTAS</b>	
EL DESCUBRIMIENTO DEL TIEMPO PROFUNDO Y LA NOVENA OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA .....	322
<i>Enrique Gómez Treviño</i>	
ADOLFO MOLINA-CRUZ .....	328
 <b>NOTICIAS DE LA UGM</b>	
DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 2003 .....	330
 <b>COMUNICACIONES</b>	
INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES .....	350
FORMA DE ARBITRAJE .....	352





## EDITORIAL

### GEOS, LA DIFUSIÓN Y LA DOCENCIA

La Asamblea General de la UGM, en su reunión anual 2003, aprobó por unanimidad la solicitud que hiciera el Dr. Francisco Javier Mendieta, director general del CICESE, para que en el futuro GEOS se edite permanentemente en el CICESE. La respuesta de la asamblea reconoció así el apoyo que esa institución a brindado para la edición de la revista. La asamblea acordó que la revista sea co-editada por el secretario de difusión de la UGM y por un editor del CICESE. Por lo anterior, en lo sucesivo, la revista tendrá una sede permanente, se garantizará el apoyo económico para su impresión y distribución y el CICESE adquiere la corresponsabilidad de la edición.

Bajo esta nueva organización editorial, aprovecharemos la oportunidad para hacer algunas modificaciones tendientes a lograr la inserción de GEOS en el índice de revistas del CONACYT. Atendiendo a las recomendaciones de editores de otras revistas, a partir del primer número del 2004 (volumen 24), los artículos de investigación y divulgación incluirán una versión en inglés del resumen. Conservaremos la política de enviar a dos árbitros los artículos de investigación y a uno las contribuciones sobre divulgación y docencia. Los editores decidirán acerca de la publicación de notas cortas y reportes. Por otra parte, estamos en el proceso de integrar un grupo de editores asociados que comparta el compromiso de lograr más y mejores contribuciones para GEOS.

Actualmente GEOS se distribuye prácticamente a todas las bibliotecas de universidades mexicanas donde existen carreras relacionadas con las Ciencias de la Tierra, así como a varias universidades en casi todos los países de Latinoamérica. Confiamos que la mayor difusión de la revista, facilitada por su formato electrónico, incentivará a un mayor número de autores para que envíen sus trabajos a GEOS. De ser así, estamos seguros que nuestra revista pronto será la séptima en la lista de revistas de *Ciencias de la Tierra, del Mar y de la Atmósfera* que aparece en el *Índice de Revistas Mexicanas de Investigación Científica y Tecnológica* del CONACYT (actualización 2002).

La inserción de GEOS en dicho índice la validaría para los fines de reconocimiento que buscan los autores. Por otro lado, el esfuerzo del comité editorial tratará de enfocarse en los lectores. Buscaremos atraer a aquellos autores interesados en difundir los resultados de su trabajo en una audiencia de lectores de habla hispana, dispuestos a contribuir así al incremento de la escasa literatura científica en español, tan necesaria para despertar el interés por las Ciencias de la Tierra entre los jóvenes estudiantes hispano parlantes. Es nuestra intención atraer también a los estudiantes de posgrado para que utilicen los espacios de la revista, presenten los resultados de sus investigaciones y así completen su formación académica y científica. Esperemos ahora que las políticas de ahorro que la federación ha impuesto a los programas de ciencia y tecnología no se apliquen a los esfuerzos editoriales de las instituciones de investigación y docencia.



# ESTRUCTURA SUBSUPERFICIAL INFERIDA MEDIANTE DECONVOLUCIÓN DE EULER E INTERPRETACIÓN DE ANOMALÍAS DE GRAVEDAD MEDIDAS EN LA CONFLUENCIA DE GUADALAJARA Y TONALÁ, OCCIDENTE DE MÉXICO

Alatorre-Zamora, M.A.<sup>1</sup> y J.O. Campos-Enríquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Depto. de Física, División de Ciencias Básicas, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara

Av. Revolución 2000, Guadalajara, Jal., 44200, México

<sup>2</sup>Instituto de Geofísica, UNAM

Circuito Exterior, Deleg. Coyoacan, México, D. F., 04510, México

## RESUMEN

Con base en un estudio gravimétrico se establece la estructura cortical somera para la región oriental de la ciudad de Guadalajara, y el norte del municipio de Tonalá. Se realizaron 104 mediciones gravimétricas, y se estableció la anomalía de Bouguer. Se interpretaron, mediante técnicas bi-dimensionales de modelado directo e inversión, 6 perfiles gravimétricos. Adicionalmente, se empleó la deconvolución de Euler y la señal analítica para inferir fuentes gravimétricas de la anomalía de Bouguer del área de estudio. Se determinó la presencia de dos sistemas estructurales, con orientaciones respectivas NW-SE y NE-SW, siendo el sistema NE-SW el principal (regional). Estos sistemas delimitan en el subsuelo fosas tectónicas rellenas con brechas y tobas riolíticas. La depresión mayor (al occidente de la zona de estudio) corresponde con el límite oriental de la depresión mayor inferida en un estudio previo por debajo de la zona metropolitana de la ciudad de Guadalajara. Se infiere que el basamento local (basaltos del Grupo San Cristobal) profundiza hacia el SE y SO.

## INTRODUCCIÓN

La interpretación de anomalías de gravedad se ha venido realizando a través de los años mediante técnicas convencionales. Existen técnicas empíricas que se han desarrollado para aproximar la profundidad a las fuentes a partir de los gradientes de las anomalías observadas (por ejemplo, Reford y Sumner, 1964; Am, 1972) que proporcionan una profundidad máxima a la cima o centro de la fuente. Por otra parte, la técnica general más usada para interpretar anomalías potenciales es a través de modelado (p.e., Bhattacharyya, 1978), que involucra la simulación de una anomalía calculada a partir de una fuente dada mediante un modelo conceptual del subsuelo.

Una técnica válida actualmente es la técnica de modelado directo desarrollada por Talwani *et al.* (1959). Esta técnica involucra el cálculo iterativo de una anomalía empezando con una hipótesis supuesta que se modifica en cada iteración.

Además, se ha dirigido un considerable esfuerzo al desarrollo de procedimientos de inversión para datos potenciales. A pesar de la naturaleza de no-unicidad de los problemas, se han producido varios algoritmos eficientes (Hartman *et al.*, 1971; Al-Chalabi, 1971; McGrath y Hood, 1973; Barnett, 1976; Teskey, 1980).

En las técnicas de inversión se pueden obtener, directamente de la anomalía observada, el tamaño y la geometría de las fuentes así como sus contrastes físicos, trabajando en los domi-

nios del espacio y del número de onda y constreñiendo las características de las fuentes. En la mayoría de los casos, el problema consiste en resolver una ecuación lineal en la que se asigna o supone la forma de la fuente y se determinan densidades o magnetizaciones. Diferentes procedimientos generales se basan en la determinación de los componentes de varias ecuaciones simultáneas mediante métodos matriciales (e.g., Bott, 1973; Oldenburg, 1974; Pederson, 1979; Goodacre, 1980). Las técnicas interpretativas empleadas en este estudio son el modelado directo (Talwani *et al.*, 1959) y la técnica de inversión propuesta por Thannassoulas y Tsokas (1984). Esta técnica de inversión filtra los datos convolucionándolos con una función SINC para resolver la profundidad a una interfase entre dos unidades geológicas que tienen un contraste en densidad notable.

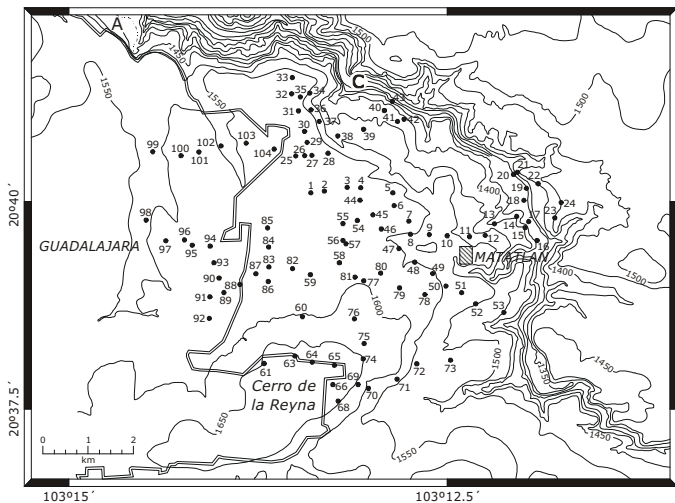
El área de la ciudad de Guadalajara ha sido objeto de varios estudios. En primer lugar tenemos los estudios de la caldera de la Primavera en la zona conurbada (i.e., Mahood, 1980; Wright, 1981; Mahood, 1981; Gilbert *et al.*, 1985). Otros estudios se han enfocado a otras zonas aledañas a la zona metropolitana (i.e., Watkins *et al.*, 1971; Gilbert *et al.*, 1985; Luhr y Lazaar, 1985; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 2000).

El trabajo de Watkins *et al.* (1971) está enfocado hacia varios puntos del Cañon del Río Grande de Santiago, hacia el NE y N de Guadalajara, mientras que Gilbert *et al.* (1985) se concentran en las ignimbritas San Gaspar y Guadalajara. Luhr y Lazaar (1985) estudiaron la cinta de volcanes andesíticos que se alinean NW-SE a lo largo del sur del área urbana de Guadalajara.

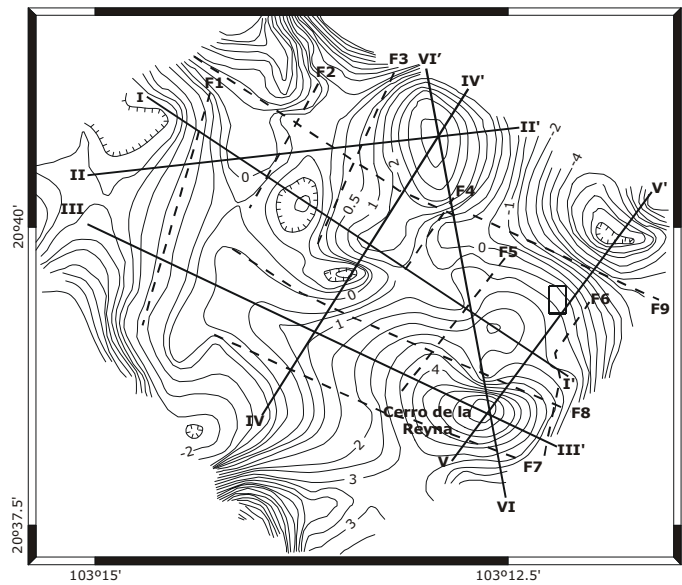
Urrutia-Fucugauchi *et al.* (2000) realizan un estudio magnetoestratigráfico hacia el oeste y norte de la ciudad para comprender mejor la estratigrafía volcánica de las secuencias expuestas. Sin embargo, las áreas hacia el este y sureste de la ciudad de Guadalajara no están bien comprendidas o estudiadas estratigráficamente.

Una interpretación de anomalías residuales gravimétricas para el área oriental de Guadalajara y para una zona al norte del Municipio de Tonalá habrá de proporcionar una buena contribución al conocimiento de la estratigrafía volcánica y de las estructuras subsuperficiales de las zonas antes mencionadas.

En este estudio se infieren los rasgos estructurales debidos a los sistemas tectónicos que confluyen en el centro de Jalisco, al occidente de México, en el área donde se unen los municipios de Guadalajara y Tonalá (Campos-Enríquez y Alatorre-Zamora, 1998). Los datos procesados e interpretados corresponden a 104 mediciones de gravedad obtenidas mediante un gravímetro Lacoste & Romberg tipo G. Las estaciones de gravedad se distribuyen irregularmente espaciadas (Figura 1) y los datos fueron corregidos por los efectos de altitud, latitud, densidad y topografía. De la información gravimétrica derivada se obtuvo la anomalía de gravedad residual de segundo orden (Figura 2). Sobre esta anomalía residual se interpolaron seis transectos, considerando los rasgos anómalos cerrados más relevantes y la interpretación de los perfiles finalmente fue controlada con datos de densidades reales (Alatorre-Zamora y Campos-Enríquez, 1991). Además, se consideraron datos de geología superficial y datos estratigráficos procedentes del Cañón del Río Grande de Santiago (Figura 3).



**Figura 1.** Estaciones de gravedad distribuidas irregularmente entre los municipios de Guadalajara y Tonalá (puntos cerrados). Las isolinéas están en metros sobre el nivel medio del mar. Las localizaciones de los puntos estratigráficos de la Figura 3 se indican con letras mayúsculas: A= Arcediano, C= Colimilla.



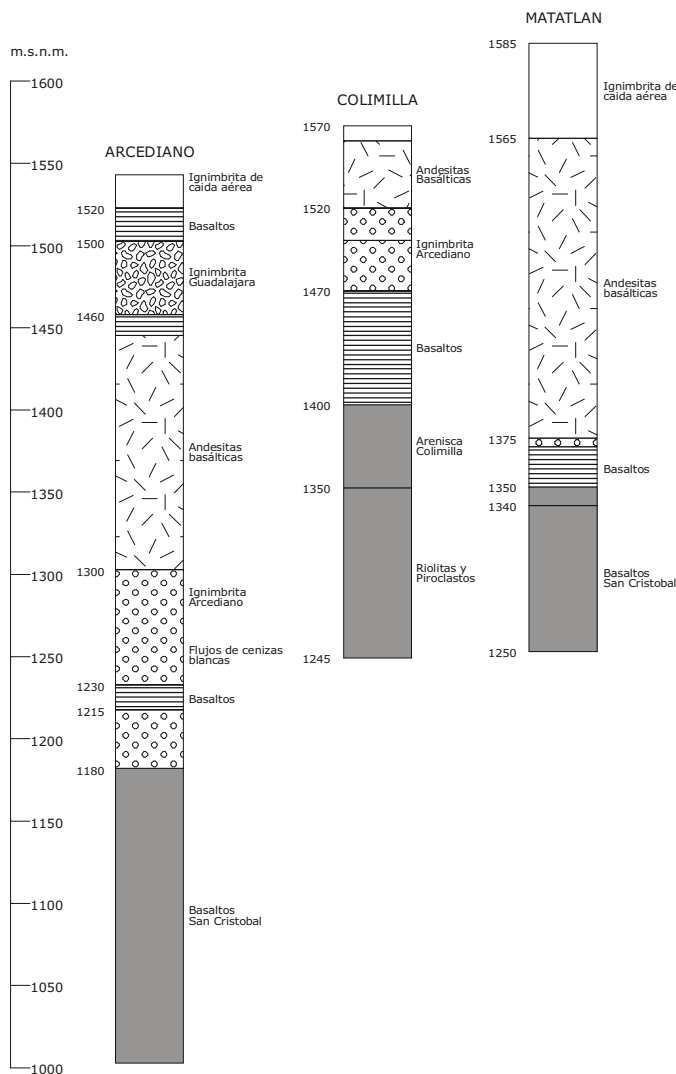
**Figura 2.** Anomalía residual gravimétrica de segundo orden obtenida en los límites de los municipios de Guadalajara y Tonalá. El intervalo entre contornos está dado a cada 0.5 mGal.

## MARCO GEOLÓGICO LOCAL

Los primeros trabajos realizados sobre la geología del área de estudio corresponden a Watkins *et al.* (1971), Mahood (1980), Gilbert *et al.* (1985) y Luhr y Lazaar (1985). Estos trabajos indican un área caracterizada por una secuencia de rocas volcánicas, principalmente depósitos de caída libre, ignimbritas, derrames de riolita, andesita y andesita-basáltica. Dentro de esta secuencia volcánica predominan las ignimbritas denominadas San Gaspar y Guadalajara, consideradas como buenos marcadores estratigráficos (Gilbert *et al.*, 1985), y los grupos denominados Guadalajara y San Cristóbal, que pertenecen al Cañón del Río Grande de Santiago (CRGS) y a la plataforma de Los Altos, respectivamente (Ferrari y Rosas-Elguera, 2000).

La ignimbrita San Gaspar tiene una edad aproximada de 4.8 Ma, y su composición corresponde a andesita silícica; la ignimbrita Guadalajara es más silícica y tiene una edad aproximada de 3.3 Ma (Gilbert *et al.*, 1985). Ambas ignimbritas constituyen la base de un cuerpo pumicítico químicamente similar a los depósitos de la Sierra de La Primavera (Mahood, 1980); la ignimbrita San Gaspar cubre a flujos basálticos expuestos en las paredes del CRGS, hacia el este y sureste de Guadalajara. Es posible que esta ignimbrita se adelgace hacia áreas más elevadas de mesas basálticas, en los poblados de Matatlán y Tonalá, aunque entre los dos poblados la ignimbrita no aflora.

La ignimbrita San Gaspar tiene una extensión de 1000 km<sup>2</sup> (Gilbert *et al.*, 1985). Su espesor es variable, desde 25 metros en las paredes del CRGS cerca de la Ciudad de Guadalajara, hasta 12 metros hacia el oeste de este punto. Esta unidad de flujo cubre a otra ignimbrita similar en las proximidades del poblado de Zapotlanejo (localizado a 30 kms al SE de la Cd. de Guadalajara).



**Figura 3. Estratigrafía volcánica de tres zonas localizadas en el cañón del Río Grande de Santiago. La localización de las zonas A y C se muestra en la Figura 1 (Rosas-Elguera, comunicación personal, 2002).**

La ignimbrita Guadalajara es una toba soldada y sus afloramientos se observan a lo largo de la orilla norte de la Cd. de Guadalajara. Recientemente, esta ignimbrita se identificó en la parte central de la Cd. de Guadalajara, descubierta por las explosiones accidentales que ocurrieron en 1992 y es probable que su centro eruptivo se encuentre bajo la planicie de Guadalajara (Rosas-Elguera y Urrutia-Fucugauchi, 1998).

La estratigrafía volcánica de las regiones de Guadalajara y Tonalá muestra frecuentes cambios de facies. Al norte y noreste de la Cd. de Guadalajara, la ignimbrita San Gaspar descansa sobre derrames y brechas riolíticos y está intercalada entre flujos locales de andesita-basáltica. Las rocas riolíticas se distribuyen a lo largo del lado oeste del CRGS, en la zona montañosa que se localiza al norte del poblado de Tesistán (norte de la Cd. de Guadalajara); además, afloran localmente a lo largo de la margen occidental de la planicie de Guadalajara (Figura 4).

Las rocas expuestas en el CRGS hacia el norte de la Cd. de Guadalajara tienen edades que varían desde 4.8 Ma (ignimbrita San Gaspar) hasta 9 Ma, edad que corresponde a rocas que se hallan cerca del fondo del Cañón. Estas últimas son brechas riolíticas y derrames de riolita (Watkins *et al.*, 1971).

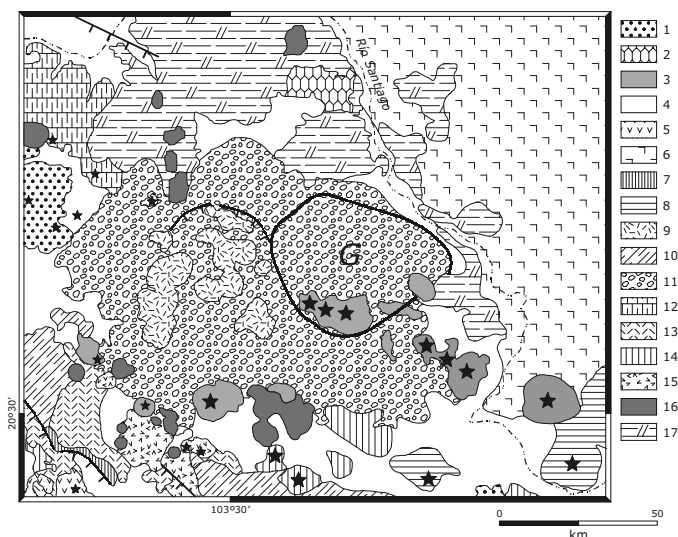
El arreglo espacial de la ignimbrita San Gaspar indica una deformación mínima sobre el sub-basamento en la región de Guadalajara en los últimos 5 Ma.

La mayor parte del vulcanismo más joven que la ignimbrita Guadalajara se ha concentrado alrededor de una zona angosta de dirección W-NW en la zona urbana de Guadalajara. Este cinturón está claramente definido por tres conos basálticos desarrollados a lo largo de la margen sur del área urbana de Guadalajara y por otros conos que se alinean paralelos a este cinturón, que se extienden hasta 40 km hacia el SE en el Cinturón Volcánico del Sur de Guadalajara –CVSG– (Gilbert *et al.*, 1985; Luhr y Lazaar, 1985). En este extremo, el CVSG intersecta a otro cinturón volcánico, pero este último tiene un fallamiento normal E-W que se prolonga hacia el este (Figura 4).

La actividad magmática a lo largo de esta zona volcánica ha sido continua desde el Plioceno Tardío hasta el Presente. Derrames de basalto localizados al NW del área de estudio tienen una edad aproximada de 1.8 Ma y derrames de andesita basáltica que afloran al este del poblado de Juanacatlán (localizado al sur de Guadalajara) fueron fechados en 1.4 Ma (Gilbert *et al.*, 1985) y en el Norte del CRGS un basalto de olivino perteneciente a las mesas formadas por lavas de esta composición fue fechado en 0.5 Ma. En la Sierra de La Primavera la actividad volcánica se restringe a los últimos 140 000 años (Wright, 1981; Mahood, 1981). Una erupción de casi 40 km<sup>3</sup> de material riolítico muy silíceo ocurrió hace 95 000 años dando lugar a la formación de una caldera de 11 km de diámetro, la que produjo la ampliamente distribuida Toba Tala (Wright, 1981; Mahood, 1981). Subsecuentes erupciones de domos riolíticos y flujos de lava ocurrieron hace 75 000, 60 000 y 30 000 años (Mahood, 1980). Conos cineríticos basálticos que cubren a la Toba Tala e inclusiones basálticas observadas en las lavas más jóvenes de la Caldera de La Primavera se observan en el área de Guadalajara (Wright, 1981; Mahood, 1981).

Estudios recientes agrupan a algunos de los productos volcánicos antes mencionados en el Grupo Guadalajara, cuyas edades varían desde 7.15 Ma hasta 3.1 Ma (Ferrari y Rosas, 2000). Este grupo se expone en una franja alineada hacia el norte de Guadalajara, extendiéndose más al Norte del CRGS y aflorando a lo largo de la orilla oriental de Guadalajara. El Grupo Guadalajara está constituido por una secuencia de flujos riolíticos y algunas ignimbritas y lavas basálticas y, en esta secuencia, se intercalan las ignimbritas San Gaspar y Guadalajara. Los resultados de Ferrari y Rosas (2000) sugieren una cámara magmática silíceica debajo de la región de Guadalajara, que rejuvenece periódicamente mediante la inyección de magmas máficos durante periodos extensionales regionales. La caldera de La Primavera podría representar el último episodio de la historia volcánica de esta cámara (Rosas-Elguera y Urrutia-Fucugauchi, 1998).





**Figura 4. Mapa geológico del área de estudio. La simbología expresada es:** 1 - Andesitas del volcán Tequila; 2 - Domos silíceos; 3 - Lava cuaternaria y conos cineríticos; 4 - Sedimentos lacustres; 5 - Andesita cuaternaria; 6 - Grupo San Cristóbal; 7 - Grupo Chapala; 8 - Tobas de flujos de cenizas; 9 - Domos riolíticos de La Primavera; 10 - Andesitas y basaltos del Plioceno Tardío; 11 - Grupo Guadalajara (ignimbritas); 12 - Basaltos Santa Rosa; 13 - Ignimbrita Acatlán; 14 - Grupo Chapala; 15 - Lavas y conos cineríticos cuaternarios; 16 - Domos silíceos cuaternarios; 17 - Domos silíceos y piroclásticos. Las estrellas cerradas corresponden a conductos de conos de lava y cineríticos (según Rosas-Elguera *et al.*, 1997).

Otras interpretaciones recientes sobre la estratigrafía volcánica indican la extensión del denominado Grupo San Cristóbal (derrames de basalto y tobas con edades desde 11 hasta 8 Ma) por debajo del Grupo Guadalajara (Rosas-Elguera, *com. pers.*, 2002). El Grupo San Cristóbal cubre una inmensa área conocida como la Plataforma de Los Altos, localizada hacia el E y NE del área urbana de Guadalajara.

La zona de estudio está rodeada por fallas normales regionales. El control tectónico de la actividad volcánica del Cuaternario sugiere lineamientos NW-SE bordeando al extremo sur del área de Guadalajara (Luhr y Lazaar, 1985; Alatorre-Zamora y Campos-Enríquez, 1991; Rosas-Elguera y Urrutia-Fucugauchi, 1998). Algunas extensiones de fallas que ocurren desde el Mioceno Tardío en el área de Guadalajara se han propuesto como la respuesta a la apertura inicial del sur del Golfo de California (Ferrari, 1995).

La parte norte de Guadalajara, caracterizada por el Grupo San Cristóbal, y el área occidental adyacente, caracterizada por la actividad silíceo de la Sierra de La Primavera, son las zonas mejor investigadas desde el punto de vista de la estratigrafía volcánica (Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 2000). En la parte norte se localizan las secuencias más viejas de la Faja Volcánica TransMexicana (FVM), que consisten en derrames de basalto alcalino de olivino y de andesita basáltica fechadas entre 11 y 9 Ma (Watkins *et al.*, 1971; Damon *et al.*, 1979; Moore *et al.*, 1994). Esta secuencia máfica, denominada Basaltos San Cristóbal, tiene un espesor máximo de 600 metros (Moore *et al.*, 1994).

Otras secuencias máficas expuestas a lo largo del CRGS, hacia el oriente de Guadalajara, presentan edades similares a las de los basaltos San Cristóbal (9.5 a 12 Ma), pero sus espesores son menores, ya que varían desde 200 hasta 350 metros (Nieto *et al.*, 1981; Nixon *et al.*, 1987; Ferrari *et al.*, 1994).

El vulcanismo basal de la FVM pudo haber iniciado hacia el Mioceno Medio (13 Ma; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 2000), de acuerdo con las edades registradas tanto para el Grupo San Cristóbal como para la Plataforma de Los Altos, incluyendo una secuencia de andesita basáltica que tiene un espesor de 800 metros registrado por pozos profundos en la Caldera de La Primavera (Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 2000).

Ferrari (1995) explica que el vulcanismo en la región de Guadalajara se debe a un movimiento W-NW del Bloque Jalisco sobre una zona transtensional lateral derecha a lo largo de la frontera entre la Sierra Madre Occidental y el Bloque Jalisco.

## ANÁLISIS CUALITATIVO DE LA INFORMACIÓN GRAVIMÉTRICA

Aunque existen varias técnicas de inversión de anomalías de gravedad, para este estudio se decidió emplear el algoritmo bidimensional de Thannasoulas y Tsokas (1984), ya que es adecuado para situaciones en las que hay altos contrastes de densidad. Esta técnica se usó a pesar de que existe una secuencia de unidades andesíticas sobrepuestas a brechas riolíticas, las que a su vez descansan sobre andesitas basálticas y basaltos. La inversión da buenas aproximaciones en la estratigrafía profunda en esta área.

El mapa de gravedad residual de segundo orden (Figura 2) se caracteriza por los rasgos anómalos con una tendencia más o menos N-S, con anomalías cerradas al centro del área de estudio. Dos máximos de gravedad se alinean con la misma dirección N-S. De estos dos máximos el más meridional se ubica sobre un derrame andesítico. Al este de estos máximos, en el oriente de la zona de estudio, tenemos un gran mínimo de gravedad (en las inmediaciones del CRGS). Este mínimo queda abierto hacia el oriente. Hacia el occidente este mismo mínimo separa a los dos máximos de gravedad orientados N-S antes mencionados y se dirige hacia otro pequeño mínimo de gravedad que tiene forma de ocho; este último mínimo parece deberse a un engrosamiento de cuerpos de sedimentos aluviales y pumicíticos. Las anomalías gravimétricas más occidentales quedan abiertas hacia el NW y SE del área de estudio.

## RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN

Se eligieron y trazaron seis perfiles sobre el mapa de anomalía gravimétrica residual para realizar una interpretación bidimensional. Estos perfiles se trazaron sobre los principales rasgos anómalos (Figura 2). En un primer paso para la interpretación se empleó el algoritmo de Thannasoulas y Tsokas (1984)

y en el segundo paso se realizó modelado directo bidimensional. Esta secuencia en el procedimiento de interpretación permite asegurar aproximaciones exitosas para los modelos propuestos. Los modelos se controlaron con información geológica local. La interpretación se desarrolla considerando unidades volcánicas regionales, a pesar de que existen en el área algunos horizontes volcánicos cuya distribución es local.

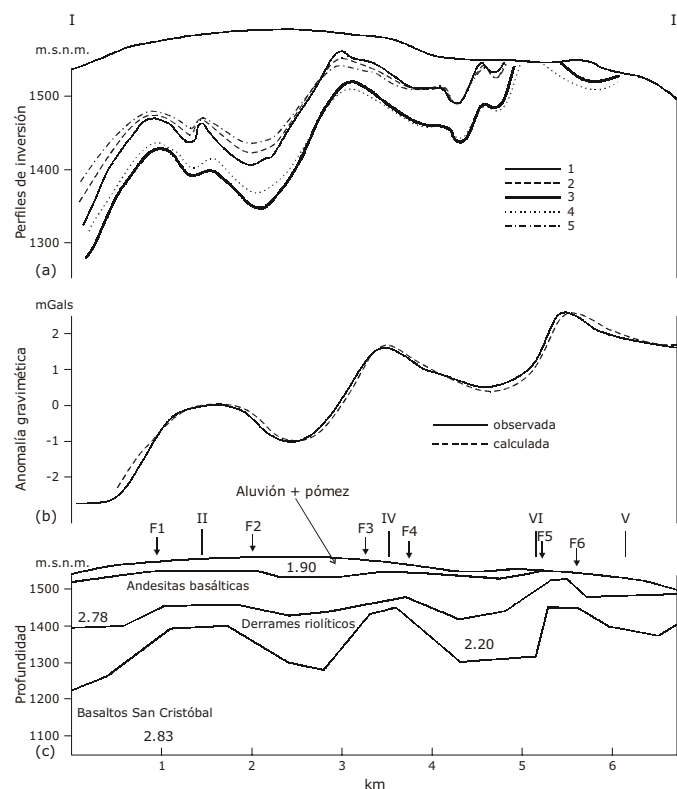
Los modelos incluyen cuatro unidades litológicas: 1) depósitos pumicíticos de caída o ignimbritas y aluviones o suelos, con densidad de  $1.90 \text{ gr/cm}^3$ ; 2) derrames andesíticos con densidad de  $2.78 \text{ gr/cm}^3$ ; 3) brechas y tobas riolíticas, con densidad de  $2.20 \text{ gr/cm}^3$ ; 4) estas tres unidades descansan sobre un derrame basáltico local, denominado basaltos San Cristóbal (Moore *et al.*, 1994, según pag. 6; Rosas-Elguera, com. pers., 2002), que posee una densidad de  $2.83 \text{ gr/cm}^3$ .

En particular, el modelo IV-IV' (Figura 8) muestra un escalonamiento hacia el suroeste que afecta a la unidad andesítica, a las brechas y tobas riolíticas y al basamento. Al origen de este escalonamiento tenemos una falla normal afectando a las unidades antes mencionadas. Los modelos obtenidos mediante la inversión sirvieron de base para el modelado directo. Para la inversión se hace implícitamente la suposición de que existe un contraste singular de densidad entre dos estratos. El primer estrato se consideró constituido por el paquete formado por pómez + andesitas + tobas, en tanto que el segundo estaría representado por los basaltos del Grupo San Cristóbal. La inclusión de tres horizontes geológicos en el primer estrato es una suposición muy simplificadora de la geología del área, por lo cual se decidió realizar un modelado directo que permitiera incluir relieve topográfico y estructuras geológicas.

Las tobas y brechas riolíticas modeladas (densidad de  $2.2 \text{ gr/cm}^3$ ) presentan diferentes espesores en todos los perfiles, aunque son más gruesas hacia el este de la zona, tal vez debido a la presencia de un graben local. De hecho, estas rocas afloran al N y NE del área de estudio, en las paredes subverticales del CRGS. Aunque estas rocas se hallan debajo de derrames de andesita de mayor densidad ( $2.78 \text{ gr/cm}^3$ ), se expresan muy bien en todos los perfiles.

Trabajos más regionales han mostrado la existencia de una larga depresión con dirección N-S debajo de la ciudad de Guadalajara (Campos-Enríquez y Alatorre-Zamora, 1998). Los modelos en la región de Tonalá parecen mostrar más depresiones con una dirección similar a la dirección de la depresión antes señalada. La depresión más grande interpretada en este estudio marcaría el límite oriental de la subsidencia mayor mencionada en el estudio de Campos-Enríquez y Alatorre-Zamora (1998).

Nuestros modelos interpretan los mínimos ya descritos como las depresiones mencionadas; entre ellas resalta una depresión colmada de brechas y tobas riolíticas (Figuras 9 y 10), que se localiza bajo el mínimo anómalo ubicado hacia el este del área de estudio. Este mínimo se extiende hacia el oeste y se delimita por dos lineamientos que sugieren fallas con dirección W-E, si-

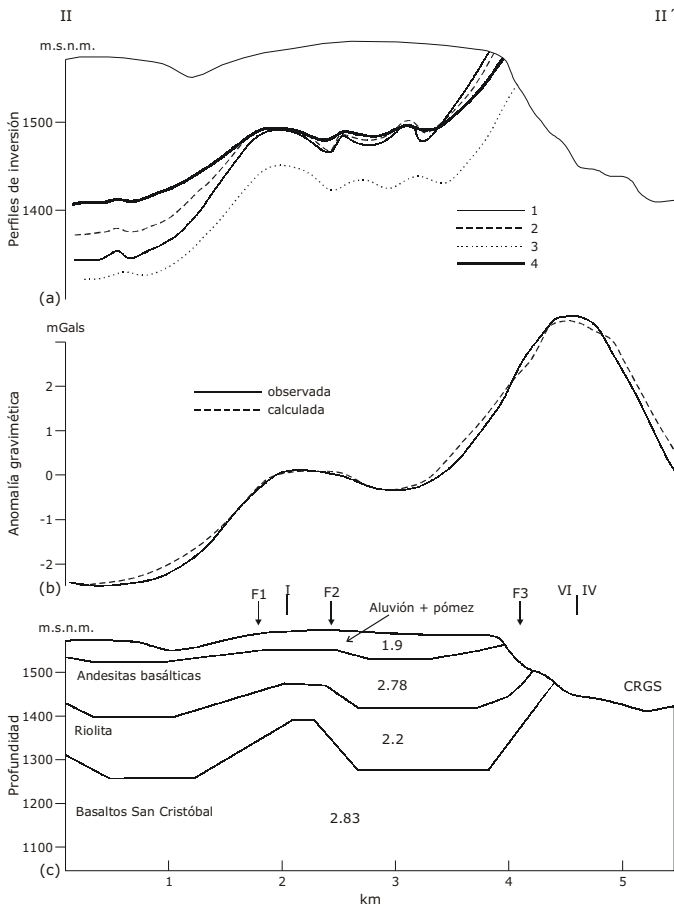


**Figura 5. Sección I-I' interpretada (ver Fig. 2 para localización); a) Modelo obtenido por inversión empleando el algoritmo de Thannasoulas y Tsokas (1984). Las curvas representan profundidades al contacto entre el paquete de pómez + andesitas + riolitas y los basaltos San Cristóbal: 1) contraste de densidad (CD) de  $0.43 \text{ gr/cm}^3$ , profundidad promedio (PP) al contacto de  $50 \text{ m}$ ; 2) CD de  $0.53 \text{ gr/cm}^3$ , PP de  $50 \text{ m}$ ; 3) CD de  $0.43 \text{ gr/cm}^3$ , PP de  $100 \text{ m}$ ; 4) CD de  $0.53 \text{ gr/cm}^3$ , PP de  $100 \text{ m}$ ; 5) CD de  $0.73 \text{ gr/cm}^3$ , PP de  $50 \text{ m}$ ; b) anomalías observada y calculada; c) modelo directo obtenido mediante el algoritmo de Talwani *et al.* (1959); los valores en los cuerpos son densidades en  $\text{gr/cm}^3$ .**

guiendo el patrón del rift Chapala. Los lineamientos tectónicos asociados a este rift no son los únicos que convergen en la zona. El mínimo anómalo que se localiza en el centro del área de estudio está delimitado por lineamientos muy bien definidos en el modelado de los perfiles I-I' y II-II' (Figuras 5 y 6). Estos lineamientos tienen una tendencia casi N-S y pueden ser parte del patrón estructural del sistema tectónico de Zacoalco – Colima. El mismo rasgo que corta a la firma anómala se prolonga hacia el norte, pero hacia el sur es poco perceptible.

Los modelos también sugieren fallas con tendencia NE-SW coincidentes con el patrón de Acambay; estas fallas delimitan bloques que caen hacia el NW (Figuras 5, 6 y 7).

Con los resultados obtenidos mediante el modelado se elaboró un diagrama tridimensional del basamento volcánico local correspondiente al Grupo San Cristóbal (Figura 11). En este diagrama es posible observar una serie de depresiones hacia el centro del área de estudio, mientras que el basamento basáltico profundiza hacia los extremos SE y NE, casi aflorando hacia el NW.



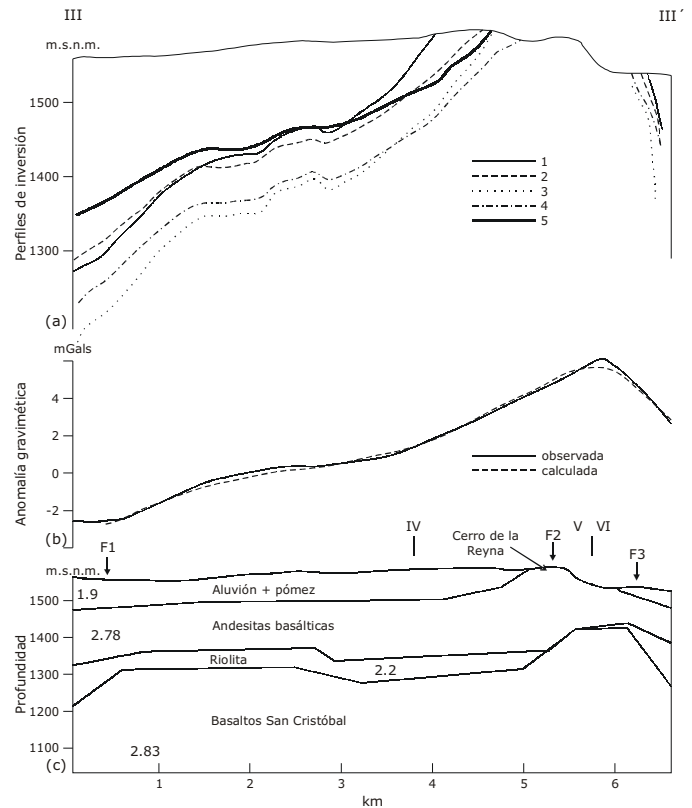
**Figura 6. Sección II-II' interpretada (ver Fig. 2 para localización); a) Modelo obtenido por inversión empleando el algoritmo de Thannasoulas y Tsokas (1984). Las curvas representan profundidades al contacto entre el paquete de pómez + andesitas + riolitas y los basaltos San Cristóbal: 1) contraste de densidad (CD) de 0.53 gr/cm<sup>3</sup>, profundidad promedio (PP) al contacto de 100 m; 2) CD de 0.43 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 50 m; 3) CD de 0.43 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 100 m; 4) CD de 0.53 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 50 m; b) anomalías observada y calculada; c) modelo directo obtenido mediante el algoritmo de Talwani *et al.* (1959); los valores en los cuerpos son densidades en gr/cm<sup>3</sup>.**

En adición a la inversión y el modelado directo, se analizó la información gravimétrica con las técnicas de la deconvolución de Euler y de la amplitud de la señal analítica.

Se emplearon dos tamaños de ventanas de deconvolución (VD) y dos índices estructurales (IE) para la deconvolución de Euler (DE). Los valores de ventana usados son de 7 y 10 puntos, mientras que los IE empleados fueron de 1.0 y 2.0.

Ambos IE dan buenas alineaciones de estructuras (Figuras 12 y 13), debido en particular al tamaño de la VD.

Con una VD de 7 puntos se observan dos estructuras NE-SW. La estructura que se halla más al sur podría ser el conducto de varios productos volcánicos, incluyendo los derrames de andesita basáltica que constituyen al Cerro de la Reyna, y otros derrames de la misma composición que afloran al este de la ciu-



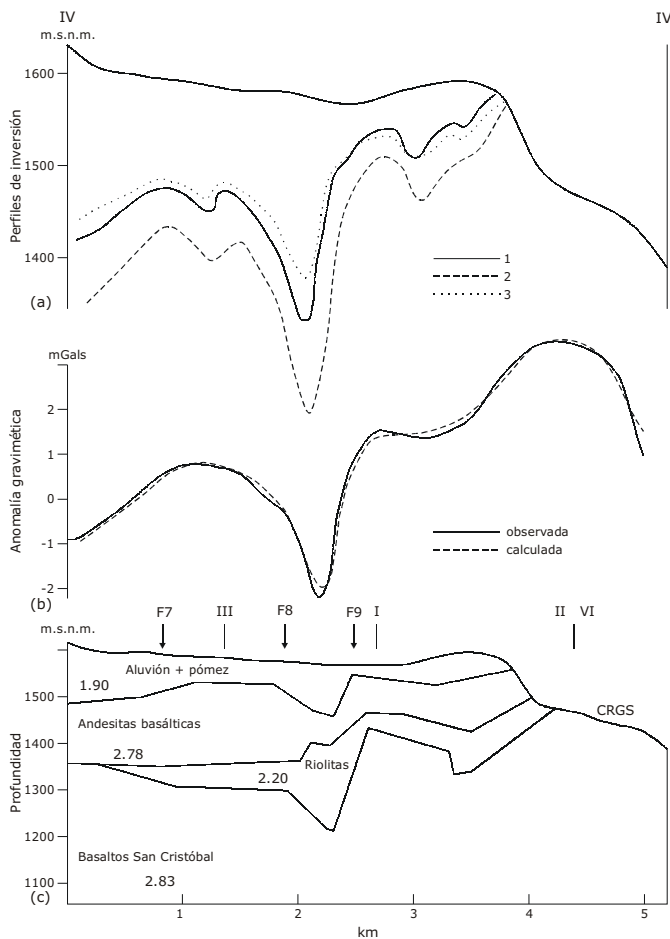
**Figura 7. Sección III-III' interpretada (ver Fig. 2 para localización); a) Modelo obtenido por inversión empleando el algoritmo de Thannasoulas y Tsokas (1984). Las curvas representan profundidades al contacto entre el paquete de pómez + andesitas + riolitas y los basaltos San Cristóbal: 1) contraste de densidad (CD) de 0.43 gr/cm<sup>3</sup>, profundidad promedio (PP) al contacto de 50 m; 2) CD de 0.53 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 100 m; 3) CD de 0.43 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 100 m; 4) CD de 0.53 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 50 m; 5) CD de 0.73 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 50 m; b) anomalías observada y calculada; c) modelo directo obtenido mediante el algoritmo de Talwani *et al.* (1959); los valores en los cuerpos son densidades en gr/cm<sup>3</sup>.**

dad de Guadalajara, en el extremo oeste del CRGS. Sin embargo, las localizaciones de fuentes más profundas son también de las más dispersas (círculos abiertos, Figura 12).

Bajo el empleo de una VD de 10 puntos, los rasgos bidimensionales son más claros, resaltando rasgos con dirección NE-SW y los límites de dos cuerpos tridimensionales probables, en el N y S del área de estudio (Figuras 12 y 13). El primero de estos cuerpos tridimensionales podría representar la fuente del máximo gravimétrico que aparece al NE de la Figura 2. Un comportamiento similar se interpreta con el máximo anómalo gravimétrico al SE del área de estudio; en ambos planos de deconvolución, los resultados tienen un amplio rango de profundidades, con una notoria expresión superficial.

Las principales alineaciones con dirección NE-SW observadas en los resultados de la deconvolución son también definidas por los modelos I-I', II-II' y III-III' (Figuras 5, 6 y 7). Hay más soluciones profundas que someras en los resultados de las Figuras 12 y 13, lo que permite alineaciones consistentes.

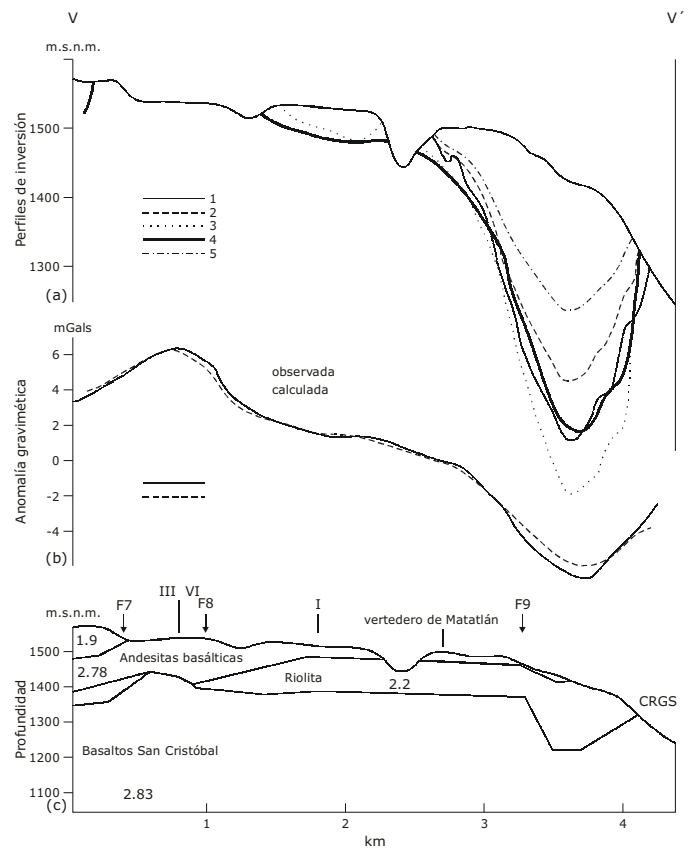




**Figura 8. Sección IV-IV' interpretada** (ver Fig. 2 para localización); a) Modelo obtenido por inversión empleando el algoritmo de Thannasoulas y Tsokas (1984). Las curvas representan profundidades al contacto entre el paquete de pómez + andesitas + riollitas y los basaltos San Cristóbal: 1) contraste de densidad (CD) de 0.43 gr/cm<sup>3</sup>, profundidad promedio (PP) al contacto de 100 m; 2) CD de 0.53 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 100 m; 3) CD de 0.53 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 50 m; b) anomalías observada y calculada; c) modelo directo obtenido mediante el algoritmo de Talwani *et al.* (1959); los valores en los cuerpos son densidades en gr/cm<sup>3</sup>.

Es posible que la arquitectura tectónica delimite una fuerte subsidencia observada en los resultados de la interpretación. Los límites están marcados por un sistema eminentemente NE-SW, y uno de estos límites resalta en la parte SE del área de estudio. Es posible que estos límites estén cortados por fallas normales con tendencia NW-SE, particularmente al norte de la zona, cerca del CRGS.

En el mapa de la amplitud de la señal analítica no aparecen claramente las alineaciones mostradas con la deconvolución de Euler, con excepción de los límites estructurales observados hacia el sur de la zona (Figura 14).

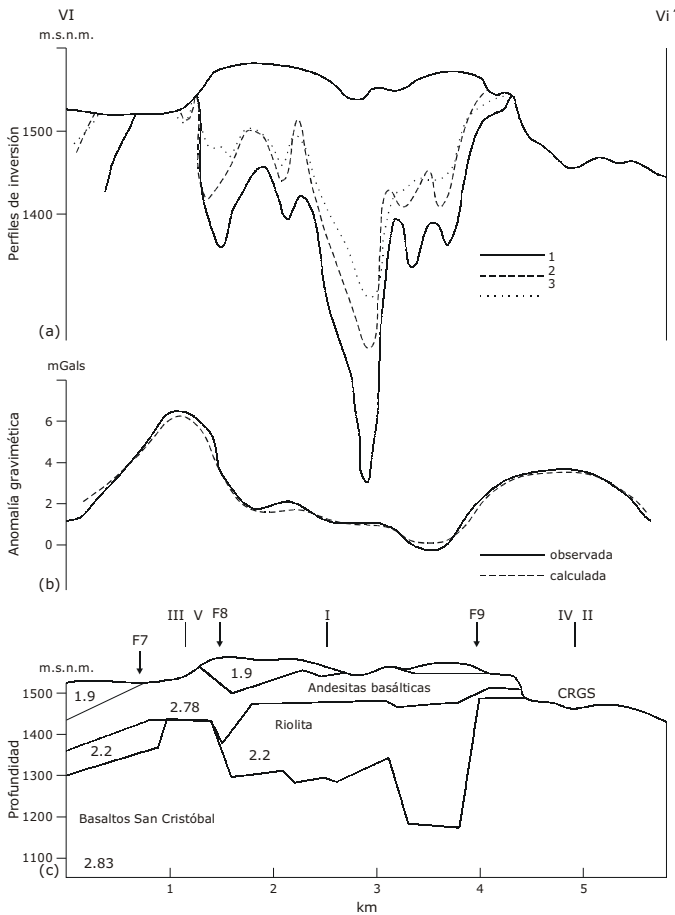


**Figura 9. Sección V-V' interpretada** (ver Fig. 2 para localización); a) Modelo obtenido por inversión empleando el algoritmo de Thannasoulas y Tsokas (1984). Las curvas representan profundidades al contacto entre el paquete de pómez + andesitas + riollitas y los basaltos San Cristóbal: 1) contraste de densidad (CD) de 0.43 gr/cm<sup>3</sup>, profundidad promedio (PP) al contacto de 50 m; 2) CD de 0.53 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 100 m; 3) CD de 0.43 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 100 m; 4) CD de 0.53 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 50 m; 5) CD de 0.73 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 50 m; b) anomalías observada y calculada; c) modelo directo obtenido mediante el algoritmo de Talwani *et al.* (1959); los valores en los cuerpos son densidades en gr/cm<sup>3</sup>.

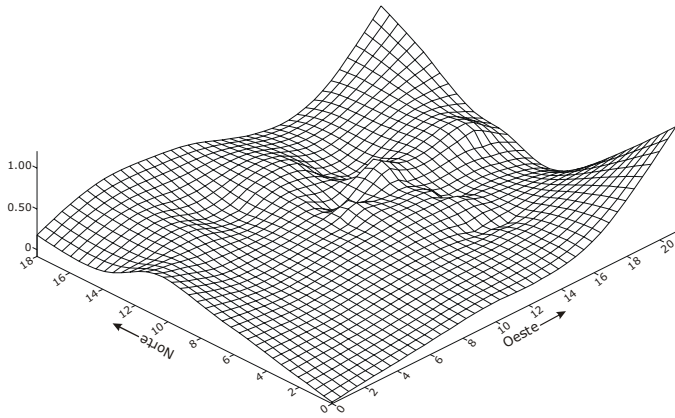
## CONCLUSIONES

El área de estudio y sus alrededores muestran una compleja actividad volcánica. Esta actividad ha emitido productos volcánicos diversos, que incluyen horizontes pumicíticos, derrames riolíticos (ignimbritas San Gaspar y Guadalajara), derrames andesíticos, brechas y domos riolíticos, etc. La geometría de la distribución de las rocas volcánicas se debe a una topografía abrupta desde dos puntos de vista: 1) rellena las depresiones que existían antes de las erupciones, y 2) tiene continuidad a lo largo del tiempo, aprovechando varias zonas de debilidad localizadas en el área de estudio. Estas zonas de debilidad se observan como alineaciones o fallas.

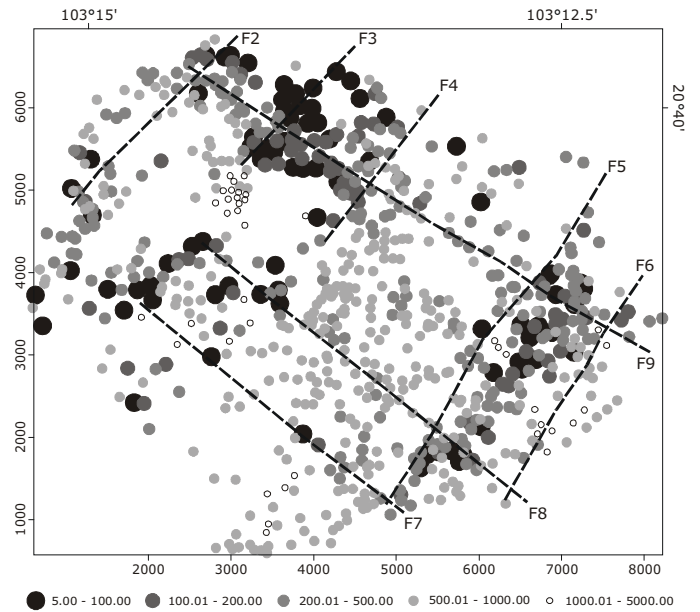
En general se tiene una serie de bloques que caen hacia el NW. Este hecho implica la presencia de fallas con dirección NE-SW, lo que también se aprecia a través de los resultados obtenidos mediante la deconvolución de Euler. De esta manera se relaciona la influencia tectónica de los rifts de Chapala y Zacoalco-Colima sobre el basamento de esta zona; esta influencia tectónica



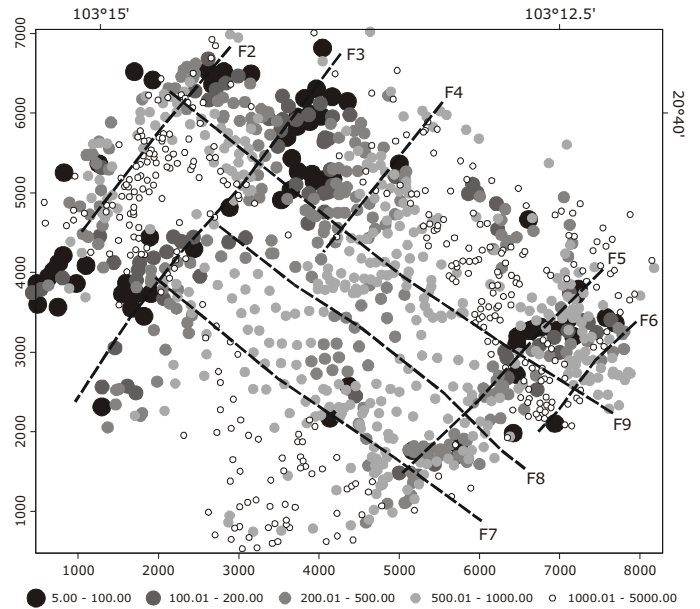
**Figura 10.** Sección VI-VI' interpretada (ver Fig. 2 para localización); a) Modelo obtenido por inversión empleando el algoritmo de Thannasoulas y Tsokas (1984). Las curvas representan profundidades al contacto entre el paquete de pómez + andesitas + riolitas y los basaltos San Cristóbal: 1) contraste de densidad (CD) de 0.43 gr/cm<sup>3</sup>, profundidad promedio (PP) al contacto de 100 m; 2) CD de 0.53 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 50 m; 3) CD de 0.73 gr/cm<sup>3</sup>, PP de 50 m; b) anomalías observada y calculada; c) modelo directo obtenido mediante el algoritmo de Talwani *et al.* (1959); los valores en los cuerpos son densidades en gr/cm<sup>3</sup>.



**Figura 11.** Esquema tridimensional de profundidades del basamento local del Basalto San Cristóbal (Rosas-Elguera, comunicación personal, 2002). Los valores en la escala vertical están dados en kilómetros.

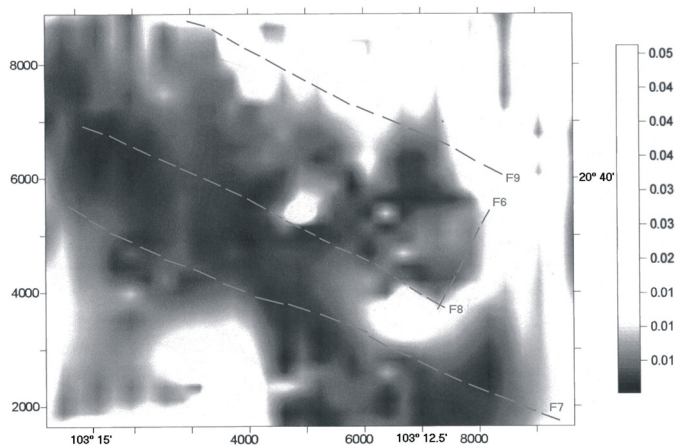


**Figura 12.** Deconvolución de Euler de anomalía residual gravimétrica correspondiente a un índice estructural de 1.0 y a una ventana de deconvolución de 7 puntos. Los valores corresponden a profundidades en metros. Las coordenadas son UTM y geográficas.



**Figura 13.** Deconvolución de Euler de anomalía residual gravimétrica correspondiente a un índice estructural de 2.0 y a una ventana de deconvolución de 10 puntos. Los valores corresponden a profundidades en metros. Las coordenadas son UTM y geográficas.

es considerada como parte de las fronteras entre ambos ambientes estructurales. De hecho, la influencia de los rifts mencionados aparece tanto en la interpretación bidimensional como en los resultados de la deconvolución de Euler. Estos últimos resultados muestran que una ventana de deconvolución de más de siete puntos dará mejor definición de las alineaciones estructurales. La imagen de la amplitud de la señal analítica muestra resultados similares que los de la deconvolución de Euler, resal-



**Figura 14.** Imagen de la amplitud de la señal analítica de la anomalía residual gravimétrica. Se dan coordenadas UTM y geográficas. Las unidades en la escala vertical están en mGals/m.

tando la subsidencia estructural y el levantamiento debido a exceso de masa. En este caso, es evidente el derrame andesítico del Cerro de la Reyna, hacia el sur de la zona de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos ampliamente los puntos de vista emitidos por los árbitros anónimos. Alatorre Zamora agradece especialmente el apoyo proporcionado por la ANUIES y la SEP, a través de las becas SUPERA y PROMEP, respectivamente. Además, estamos en deuda con las aportaciones recibidas por el Dr. José Rosas Elguera.

## REFERENCIAS

- Alatorre-Zamora, M.A. y J.O. Campos-Enríquez, 1991. La Primavera Caldera (Mexico): structure inferred from gravity and hydrogeological considerations. *Geophysics*, vol. 56, p. 992-1,002.
- Am, K., 1972. The arbitrarily magnetized dyke; interpretation of characteristics. *Geoexploration*, vol. 10, p. 63-90.
- Bhattacharyya, B.K., 1964. Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrarily polarization. *Geophysics*, vol. 29, p. 517-531.
- Bhattacharyya, B.K., 1978. Computer modeling in gravity and magnetic interpretation. *Geophysics*, vol. 43, p. 912-929.
- Bott, M.H.P., 1973. Inverse methods in the interpretation of magnetic and gravity anomalies: In Bolt, B.A., Editor, *Methods in Computational Physics*. Academic Press Inc., p. 133-162.
- Campos-Enríquez, J.O. y M.A. Alatorre-Zamora, 1998. Shallow crustal structure of the junction of the grabens of Chapala, Tepic-Zacoalco and Colima, Mexico. *Geofísica Internacional*, vol. 37, p. 263-282.
- Damon, P.E., O.J. Nieto y A.L. Delgado, 1979. Un plegamiento neogénico en Nayarit y Jalisco y evolución geomórfica del Río Grande de Santiago. *Asoc. Ing. Min. Met. Geol. Mex. Memoria Técnica XII*, p. 156-191.
- Ferrari, L., G. Pasquarè, S. Venegas, D. Castillo y F. Romero, 1994. Regional tectonics of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco Block. *Geofísica Internacional*, vol. 33, p. 139-151.
- Ferrari, L., 1995. Miocene shearing along the northern boundary of the Jalisco block and the opening of the southern Gulf of California. *Geology*, vol. 23, p. 751-754.
- Ferrari, L. y J. Rosas, 2000. Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco block, western Mexico: the Tepic-Zacoalco rift revised. Boulder CO, *Geological Society of America Special Paper N° 334*. Chapter 3, p. 41-64.
- Gilbert, C.M., G.A. Mahood e I.S.E. Carmichael, 1985. Volcanic stratigraphy of the Guadalajara area, Mexico. *Geofísica Internacional*, vol. 24, p. 169-191.
- Goodacre, A.K., 1980. Estimation of the minimum density contrast of a homogeneous body as an aid to the interpretation of gravity anomalies. *Geophysical Prospecting*, vol. 28, p. 408-414.
- Hartman, R.R., D.J. Teskey y J.L. Friedberg, 1971. A system for rapid digital aeromagnetic interpretation. *Geophysics*, vol. 36, p. 891-918.
- Luhr, J. y P. Lazaar, 1985. The southern Guadalajara volcanic chain, Jalisco, Mexico. *Geofísica Internacional*, vol. 24, p. 691-700.
- Mahood, G.A., 1980b. Geological evolution of a Pleistocene rhyolitic center – Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *Journal of Volcanologic and Geothermal Research*, vol. 8, p. 199-230.
- Moore, G., C. Marone, I.S.E. Carmichael y P. Renne, 1994. Basaltic volcanism and extension near the intersection of the Sierra Madre volcanic province and the Mexican Volcanic Belt. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 106, p. 383-394.
- Nieto-Obregón, J., L.A. Delgado-Argote y P.E. Damon, 1981. Relaciones petrológicas y geocronológicas del magmatismo de la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico en Nayarit, Jalisco y Zacatecas. *Asoc. Ing. Min. Metal. Geol. Mex., Memorias XIV*, p. 327-361.
- Nixon, G.T., A. Demant, R.L. Armstrong y J.E. Harakal, 1987. K-Ar and geologic data bearing on the age and evolution of the TransMexican Volcanic Belt. *Geofísica Internacional*, vol. 26, p. 109-158.
- Oldenburg, D.W., 1974. The inversion and interpretation of gravity anomalies. *Geophysics*, vol. 39, p. 526-536.
- Pederson, L.B., 1979. Wavenumber domain methods for fast interpretation of potential field data. *Geoexploration*, vol. 17, p. 205-221.
- Reford, M.S. y J.S. Sumner, 1964. Aeromagnetics. *Geophysics*, vol. 29, p. 482-516.



- Rosas-Elguera, J., L. Ferrari, M. López-Martínez y J. Urrutia-Fucugauchi, 1997. Stratigraphy and tectonics of the Guadalajara Region and triple-junction area, western Mexico. *Intern. Geol. Rev.*, vol. 39, p. 125-140.
- Rosas-Elguera, J. y J. Urrutia-Fucugauchi, 1998. Tectonic control of the volcanosedimentary sequence of the Chapala graben, western Mexico. *Intern. Geol. Rev.*, vol. 40, p. 350-362.
- Talwani, M., J.L. Worzel y M. Landisman, 1959. Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone. *Journal of Geophysical Res.*, vol. 64, p. 49-59.
- Thannassoulas, C. y G.N. Tsokas, 1985. A microcomputer program for Tsuboi's method of gravimetric interpretation. *First Break*, vol. 3, p. 16-22.
- Urrutia-Fucugauchi, J., L.M. Alva-Valdivia, J. Rosas-Elguera, O. Campos-Enríquez, A. Gogitchaichvili, S. Venegas-Salgado, A.M. Soler-Arechalde y S. Sánchez-Reyes, 2000. Magnetostratigraphy of the volcanic sequence of Río Grande de Santiago – Sierra de La Primavera region, Jalisco, western Mexico. *Geofísica Internacional*, vol. 39, N° 3, p. 247-265.
- Watkins, N.D., B.M. Gunn, A.K. Baksi y J. Ade-Hall, 1971. Paleomagnetism, geochemistry, and potassium-argon ages of the Río Grande de Santiago volcanics, central Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 82, p. 1,955-1,968.
- Wright, J.V., 1981. The Rio Caliente ignimbrite. Analysis of a compound intraplinian ignimbrite from a major late-Quaternary Mexican eruption, *Bull. Volcanol.*, 44, 189-212.

Recepción del manuscrito: 11 de junio, 2003

Recepción del manuscrito coregido: 30 de marzo, 2004

Aceptación del manuscrito: 2 de abril, 2004

# TRANSPORTE DE SEDIMENTO POR TRACCIÓN DE MAREA EN EL ESTERO DE PUNTA BANDA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Modesto Ortiz<sup>1</sup>, Laura Huerta-Tamayo<sup>2</sup> y Alejandro Hinojosa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Depto. de Oceanografía Física, CICESE

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Marinas, UABC

<sup>3</sup> Depto. de Geología, CICESE

## RESUMEN

En este trabajo se estima la capacidad del flujo y reflujo de la marea para transportar sedimento por tracción en el canal principal y en la boca del Estero de Punta Banda, acoplando un modelo numérico-hidrodinámico con un modelo de transporte de sedimento. En los resultados de la simulación numérica se observa un flujo neto de sedimento hacia afuera del estero suficiente para mantener la condición natural de autodragado en la región de la boca. Sin embargo, hacia el interior del estero el transporte de sedimento resulta considerablemente menor que en la región de la boca y prácticamente nulo en la región de la cabeza. Se plantea un segundo escenario en el que se abre una boca artificial en la parte sur del estero, manteniendo abierta la boca natural, y se estiman los cambios en el patrón de circulación y de transporte de sedimento. Esta condición de dos bocas resulta inestable para el estero ya que en ambas el reflujo pierde la capacidad de expulsar sedimento, por lo que éstas tienden a cerrarse; la boca artificial se cierra primero dando lugar a que la boca norte recupere su área natural. Finalmente, se discute la importancia del aporte de arena proveniente de los arroyos tributarios en el proceso de recarga de arena del interior de la barra del estero. La recarga de arena en la región de la boca del estero es importante para mantener las playas aledañas mediante el mecanismo de autodragado. En contraste, el aporte de arena pronostica un azolve inminente en la región de la cabeza del estero en caso de recurrencia de eventos de escurrimiento pluvial similares a los ocurridos en los años 1979-1983.

## INTRODUCCIÓN

El estero de Punta Banda es una laguna costera que se localiza en la Bahía de Todos Santos, en el noroeste de la Península de Baja California, México (Figura 1). El cuerpo del estero, en forma de "L", tiene una longitud de ~10 Km y un ancho promedio de 2 Km que incluye el área de marismas. Una barra de arena de ~8 Km de longitud separa a la bahía del estero. El intercambio de agua y de sedimento entre la bahía y el estero está dominado por la marea y se lleva a cabo a través de una boca natural de ~125 metros de ancho situada en su extremo norte. La velocidad máxima del flujo y reflujo de agua es ~1.5 m/s en la boca durante las mareas vivas y disminuye gradualmente hasta 0.1 m/s hacia la cabeza del estero (Pritchard *et al.*, 1978).

El estero de Punta Banda es una región en donde las actividades antropogénicas podrían afectar significativamente el proceso natural de erosión-depositación y consecuentemente podrían ocasionar modificaciones permanentes no deseables, tanto en su configuración interna como en la de las playas aledañas. Entre las actividades que pudieran afectar el equilibrio natural de erosión-depositación de este cuerpo de agua se pueden mencionar: la extracción de arena de los arroyos, la urbanización de áreas de marisma, la construcción de diques y la apertura de bocas artificiales en la barra de arena. Un paso previo para evaluar el posible impacto de estas actividades es comprender el mecanismo de transporte de sedimento en este cuerpo de agua y cuantificar la capacidad del canal principal para transportar sedimento por tracción. Por este motivo

se hizo una estimación de la capacidad de transporte neto de sedimento de fondo en el canal principal del estero, acoplado el modelo de transporte de sedimento por tracción de Sternberg (1972), con el modelo numérico-hidrodinámico de Goto *et al.* (1997). Una vez calibrados y acoplados ambos modelos, es posible analizar el flujo de sedimento en el canal principal del estero, considerando casos hipotéticos de fuentes o sumideros de sedimento. En este caso se analizó la capacidad de transporte de sedimento por tracción en la boca y en el canal principal del estero durante un ciclo de mareas vivas, para el estero natural con una sola boca y para el caso de apertura de una boca artificial en el extremo sur del estero.

## SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA HIDRODINÁMICA DEL ESTERO DE PUNTA BANDA

El objetivo de simular numéricamente la hidrodinámica del estero es obtener la distribución espacio-temporal de la velocidad del flujo y reflujo de agua inducido por la marea. Aún cuando esta distribución de velocidad puede obtenerse con mediciones directas, es importante calibrar el modelo numérico-hidrodinámico con la batimetría de una sola boca para poder modificar artificialmente la batimetría y analizar los posibles cambios en el patrón de corrientes y su efecto en el transporte de sedimento. El modelo numérico-hidrodinámico de Goto *et al.* (1997), consiste en la integración en diferencias finitas centrales de las ecuaciones de conservación de masa y momento para ondas largas en aguas poco profundas:



**Figura 1. Estero de Punta Banda. Fotografía del INEGI tomada el 6 de noviembre de 1993. En la figura se indica la dirección y la posición de los transectos en donde se obtuvieron los perfiles batimétricos que se muestran en la figura 2.**

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0,$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{U^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{UV}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gm^2}{D^{7/3}} U \sqrt{U^2 + V^2} = 0, (1)$$

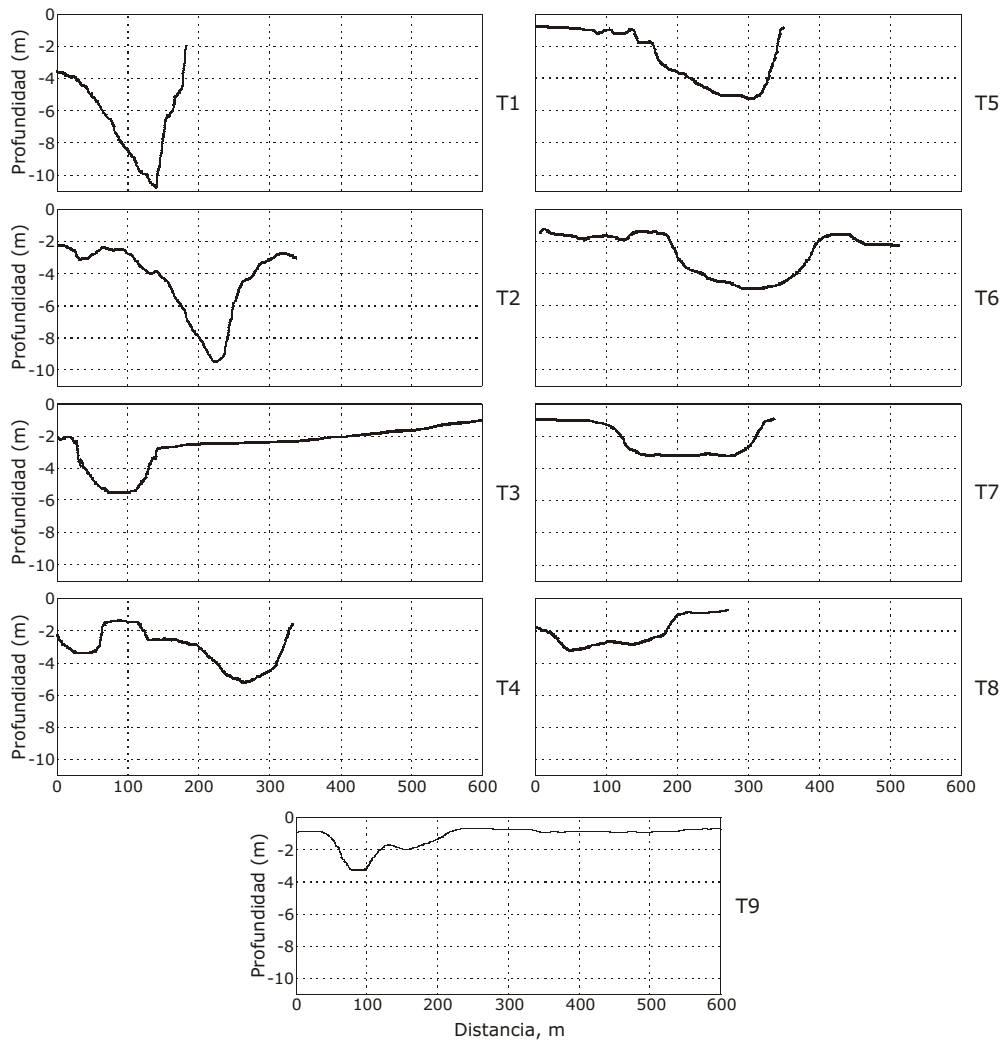
$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{UV}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{V^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gm^2}{D^{7/3}} V \sqrt{U^2 + V^2} = 0.$$

En el conjunto de ecuaciones (1),  $t$  es el tiempo,  $\eta$  representa el desplazamiento vertical de la superficie del agua respecto al nivel de medio del mar (NMM),  $g$  es la aceleración gravitacional,  $h$  la profundidad media de la columna de agua (modelo digital de la batimetría).  $D = (\eta + h)$  representa la profundidad instantánea de la columna de agua.  $U$  y  $V$  son las velocidades (integradas verticalmente) del flujo de agua en las direcciones longitudinal ( $x$ ) y meridional ( $y$ ), respectivamente. El parámetro de rugosidad de Manning,  $m$ , se emplea para calibrar la fuerza de fricción en el fondo.

La batimetría del estero se obtuvo mediante observaciones de profundidad con ecosonda en las áreas navegables y mediante fotografía aérea en las áreas de marisma. Los datos se interpolaron en una cuadrícula de 25 metros por lado con un total de  $391 \times 167$  nodos. La batimetría del estero se caracteriza por un canal principal bien definido a lo largo del cuerpo del estero, a cuyos lados se extienden zonas de marisma que se cubren y descubren con la marea. La profundidad del canal principal disminuye gradualmente desde de 10 m en la boca hasta 2 m en la cabeza. La configuración lateral y longitudinal del canal principal se ilustra en la Figura 2, en donde se muestran las profundidades correspondientes a los 9 transectos batimétricos que se señalan en la Figura 1. En la Figura 3 se muestra el modelo digital de la batimetría del estero correspondiente al año 1989. Huerta-Tamayo (2002), describe en detalle la metodología para confeccionar el modelo digital de la batimetría.

El modelo numérico-hidrodinámico se calibró con observaciones de la velocidad del flujo de agua tomadas a un metro sobre el fondo en el canal principal del estero. La calibración consistió en hacer variar el parámetro de rugosidad de Manning para disminuir la magnitud de la velocidad hasta que ésta coincidiera con las observaciones. Se eligió el valor de  $m = 0.025$ . La localidad en donde se obtuvieron las observaciones se indica en la Figura 3. Durante el período de las observaciones (18:00 hrs, 7 de mayo de 1985 – 6:00 hrs, 10 de mayo de 1985) se obtuvieron datos de nivel del mar (Figura 4) y de velocidad de la corriente (Figura 5) a un metro bajo la superficie del agua y a un metro sobre el fondo a intervalos de una hora. La diferencia en la magnitud de la velocidad observada en los dos diferentes niveles indica que la fricción es un factor importante en la dinámica del estero, motivo por el que se justifica el término de fricción en las ecuaciones (1). El cociente entre la velocidad del fondo y de la superficie es aproximadamente 0.8. La elección de la velocidad de fondo para calibrar el modelo-hidrodinámico se debe a que en el modelo de transporte de sedimento de Sternberg (1972), la fuerza de arrastre que el agua ejerce sobre el fondo se calcula con la velocidad a un metro del fondo. En la frontera abierta del modelo, que corresponde a la boca natural del estero, se suplieron los datos de nivel del mar del Puerto de Ensenada correspondientes al ciclo de mareas del 1 al 12 de mayo de 1985. En las Figuras 6 y 7 se comparan los resultados del modelo con las observaciones de nivel del mar y de velocidad de la corriente a un metro del fondo. El signo negativo en la velocidad indica agua saliendo del estero (reflujo). A manera de ilustración se muestran los resultados del modelo correspondientes a la distribución espacial del campo de velocidad en un instante durante el flujo (Figura 8) y en un instante durante el reflujo (Figura 9). Con fines prácticos se seleccionaron 12 localidades a lo largo del canal principal del estero para estimar el transporte de sedimento. En la Figura 10 se muestran los vectores que corresponden a la máxima velocidad alcanzada durante el flujo y reflujo de la marea (resultados del modelo) del 1 al 12 de mayo de 1985 en las 12 localidades a lo largo del canal principal del estero, en donde se puede observar una disminución gradual en la magnitud de la velocidad hacia la cabeza del estero. También se observa que la magnitud de la velocidad del reflujo, a lo largo del canal, es mayor que la del flujo. Esto se debe a que durante las mareas vivas el nivel del mar sube en dos etapas hasta alcanzar el máximo y baja en una sola etapa hasta alcanzar el mínimo (Figura 6). En la Tabla 1 se muestran





**Figura 2.** Perfiles batimétricos a lo largo de los 9 transectos indicados en la Figura 1. El eje horizontal indica la distancia a partir de la barra de arena. Profundidades con respecto al NMM de 1989.

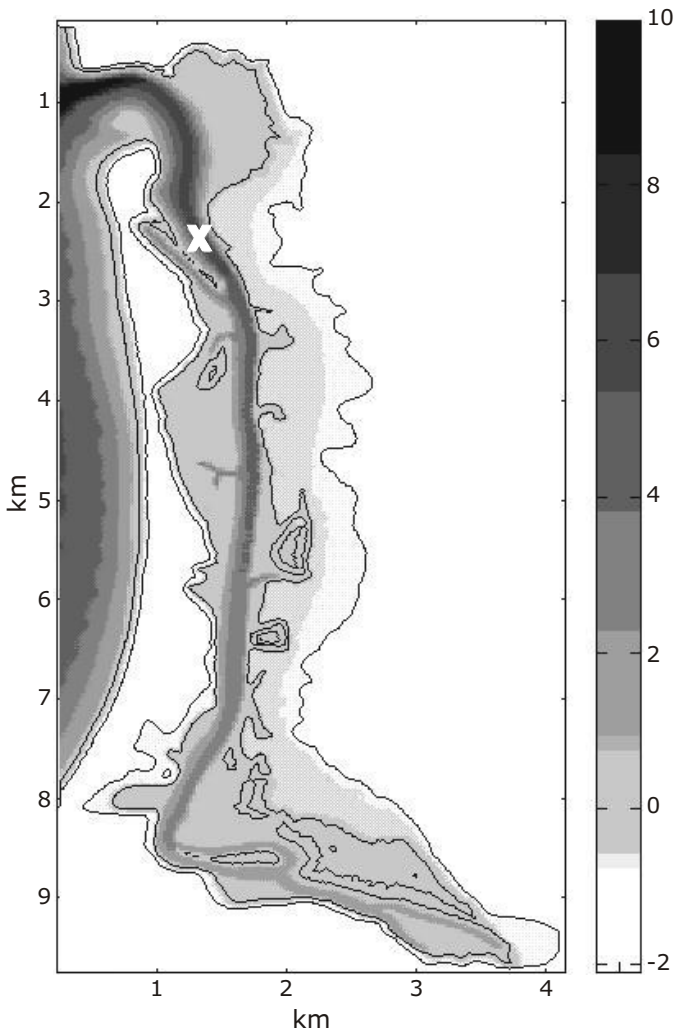
los valores máximos de velocidad del flujo y reflujos en las 12 localidades señaladas en la Figura 10. Los resultados del modelo (velocidad y elevación) se obtuvieron a intervalos de tiempo de 15 minutos.

**Tabla 1.** Magnitud de la velocidad máxima del flujo y reflujos a lo largo del Estero de Punta Banda durante el ciclo de mareas del 1 al 12 de mayo de 1985 (resultados del modelo). Las localidades se señalan en la Figura 10. El signo negativo indica agua saliendo del estero.

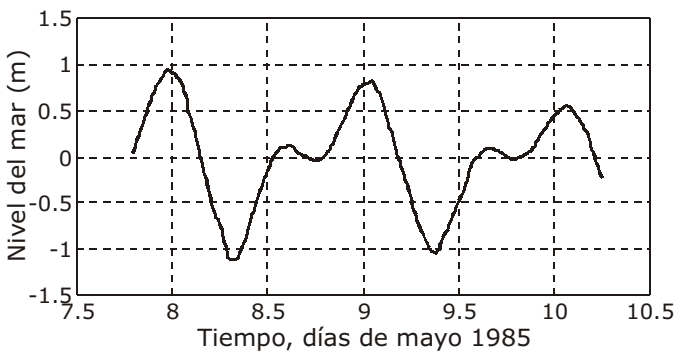
Localidad	Flujo, cm/s	Reflujos, cm/s
1 (boca)	103	-126
2	31	-65
3	63	-68
4	65	-79
5	42	-59
6	39	-56
7	38	-42
8	56	-57
9	26	-27
10	22	-24
11	16	-18
12 (cabeza)	4	-6

### MODELO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO POR TRACCIÓN

La capacidad de transporte de sedimento de fondo en el canal principal del estero de Punta Banda se estimó para arenas finas no consolidadas con tamaño de grano de 0.19mm (2.4  $\phi$ ) a 0.93mm (0.1  $\phi$ ). La textura del sedimento a lo largo del canal principal del estero varía desde arena fina (0.19 mm; 2.4  $\phi$ ) en la región de la boca, proveniente de la playa, hasta limos arcillosos (0.03 mm; 5  $\phi$ ) hacia la cabeza, provenientes de la marisma (Ames-Sigala, 1985). Únicamente se consideró el mecanismo de tracción (esfuerzo superficial) que ejerce el flujo de agua sobre el sedimento, sin considerar la fuerza de cohesión molecular entre los granos de sedimento. El transporte de sedimento fino (limos y arcillas) no se consideró cuantitativamente en este estudio. El mecanismo de transporte de sedimento fino en suspensión es por difusión turbulenta (Bagnold, 1963). Cuando el sedimento fino se deposita, la fuerza de cohesión molecular entre los granos de sedimento no permite que se desprenda del fondo o que se desplace por tracción con la relativa facilidad con la que se desplazan los granos de arena.

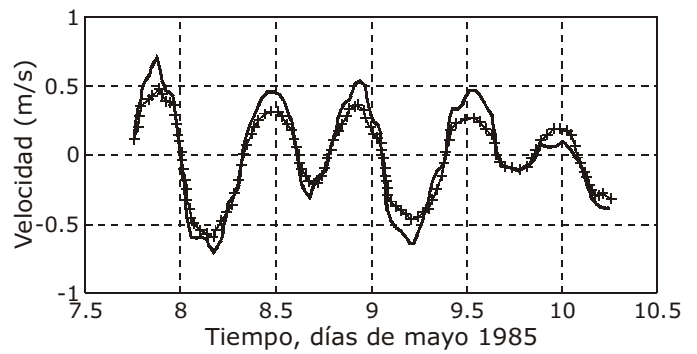


**Figura 3.** Modelo digital de la batimetría del Estero de Punta Banda (Huerta-Tamayo, 2002). La escala de gris indica las profundidades en metros con respecto al NMM. Los contornos corresponden a las isóbatas de cero y de un metro sobre el NMM. Se indica con una X el lugar en donde se obtuvieron las observaciones de velocidad y de nivel del mar.

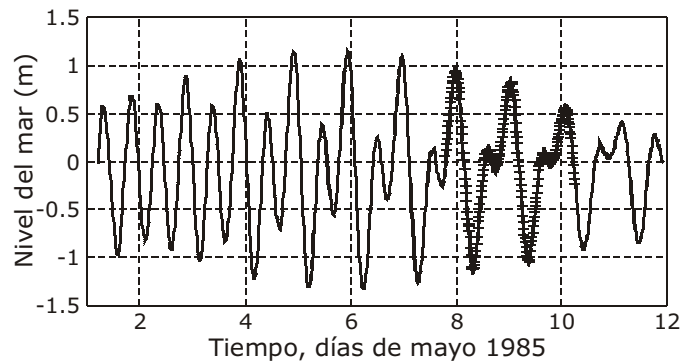


**Figura 4.** Observaciones del nivel del mar en el Estero de Punta Banda. En la Figura 3 se indica el lugar en donde se obtuvieron las observaciones.

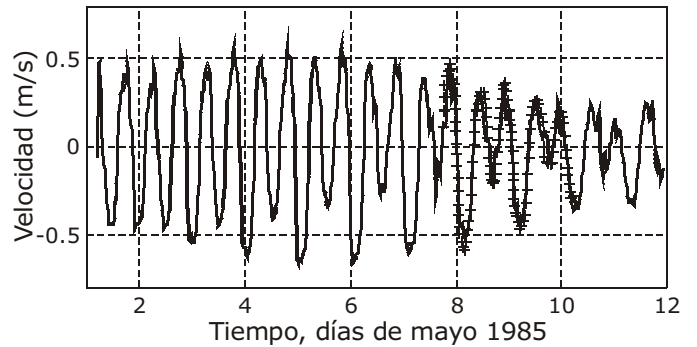
Para estimar el transporte de sedimento por tracción se empleó el modelo de Sternberg (1972), que a su vez está basado en la teoría de Bagnold (1963):



**Figura 5.** Observaciones de velocidad de corriente en el centro de canal principal del Estero de Punta Banda a un metro bajo la superficie (línea continua) y a un metro sobre el fondo (línea con cruces). En la Figura 3 se indica el lugar en donde se obtuvieron las observaciones. El signo negativo indica agua saliendo del estero (reflujo).



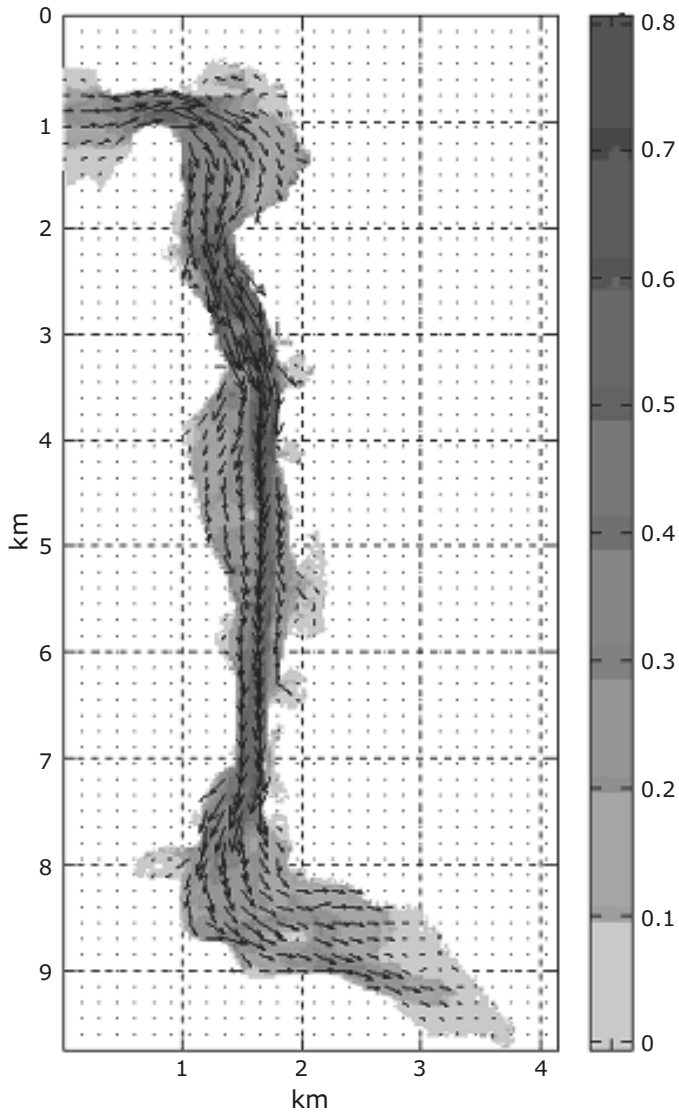
**Figura 6.** Comparación de las observaciones de nivel del mar en el Estero de Punta Banda (línea con cruces) con los resultados del modelo numérico-hidrodinámico (línea continua). Plano de referencia (NMM).



**Figura 7.** Comparación de las observaciones de velocidad de la corriente a un metro del fondo (línea con cruces), con la velocidad de la corriente obtenida del modelo numérico-hidrodinámico (línea continua). El signo negativo indica agua saliendo del estero (reflujo).

$$\left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \right) gj = K\rho U_*^3, \quad (2)$$

en donde  $j$  es el flujo de masa de sedimento por unidad de longitud transversal al flujo ( $\text{gm cm}^{-1}\text{s}^{-1}$ );  $g$  es la aceleración de la gravedad;  $\rho$  es la densidad del fluido;  $\rho_s$  es la densidad del sedimento;  $U_*$  es la



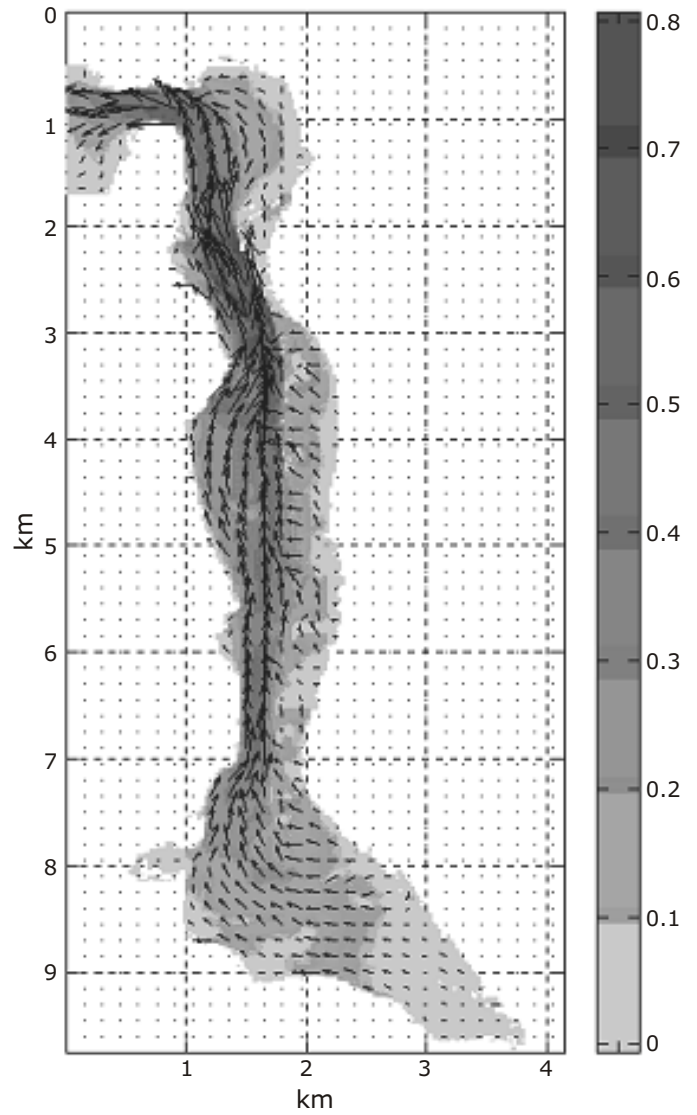
**Figura 8.** Distribución espacial de la velocidad en un instante durante el flujo (resultados del modelo). La escala de gris indica la magnitud de la velocidad en metros por segundo.

velocidad friccional (una medida de la fuerza de arrastre) y  $K$  es el factor de proporcionalidad que expresa la habilidad del flujo de agua para transportar sedimento.

La definición de la velocidad friccional esta basada en la Ley del esfuerzo cuadrático de la velocidad:

$$\tau_o \propto \rho U_z^2, \quad (3)$$

donde  $\tau_o$  es el esfuerzo que el flujo de agua ejerce sobre el fondo y  $U_z$  es la velocidad promedio del flujo de agua a una distancia  $z$  sobre el fondo. Sternberg (1968) determinó la constante de proporcionalidad de (3) mediante una serie de experimentos en 6 canales de marea en donde la velocidad promedio se midió a 100 cm del fondo. A esta constante adimensional de proporcionalidad ( $C_{100}$ ) se le conoce como coeficiente de arrastre. Para fondos arenosos naturalmente clasificados  $C_{100} = 3 \times 10^{-3}$ , y el esfuerzo de fondo adquiere la forma:



**Figura 9.** Distribución espacial de la velocidad en un instante durante el refluo (resultados del modelo). La escala de gris indica la magnitud de la velocidad en metros por segundo.

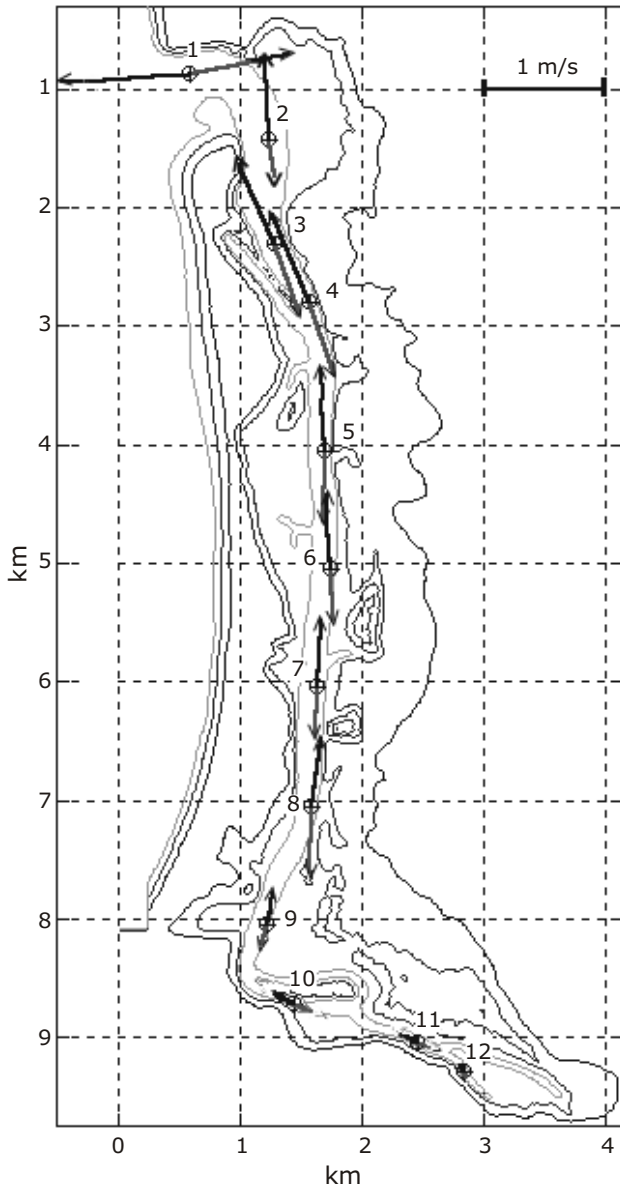
$$\tau_o = 3 \times 10^{-3} \rho U_{100}^2. \quad (4)$$

El hecho de considerar que la densidad del fluido no cambia significativamente durante el flujo y refluo de la marea permite despejar (4) para facilitar su uso:

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} = 5.47 \times 10^{-2} U_{100}, \quad (5)$$

la expresión en el radical es proporcional a la velocidad promedio del flujo de agua a 100 cm del fondo y se conoce como velocidad friccional debido a que tiene unidades de velocidad. La velocidad promedio del flujo de agua a 100 cm del fondo  $U_{100}$  es la variable que permite acoplar el modelo hidrodinámico con el modelo de transporte de sedimento.





**Figura 10. Velocidad máxima alcanzada durante el flujo y reflujo de la marea durante el ciclo de marea del 1 al 12 de mayo de 1985 en 12 localidades a lo largo del canal principal del estero. La escala de velocidad se muestra en el extremo superior derecho de la figura.**

El factor de proporcionalidad  $K$  relaciona el transporte de sedimento con el trabajo que el flujo de agua ejerce sobre el fondo y su valor depende del tamaño de grano del sedimento y del esfuerzo relativo (la diferencia relativa entre el esfuerzo del flujo sobre el fondo y el esfuerzo crítico necesario para mantener en movimiento los granos de sedimento):

$$\log K = \frac{3.301}{C(\phi)} \cdot \frac{\tau_o - \tau_c}{\tau_c} - 2.301, \quad (6)$$

donde  $\frac{\tau_o - \tau_c}{\tau_c}$  es el esfuerzo relativo y  $C(\phi)$  es un parámetro que se mantiene constante para cada tamaño de grano. Los valores de  $C(\phi)$  se indican en la Tabla 2.

**Tabla 2. Valores del parámetro  $C(\phi)$  en función del diámetro del grano (Sternberg, 1972).**

$C(\phi)$	Diámetro (mm)	Diámetro (unidades $\phi$ )
11	0.19	2.39
10.7	0.28	1.83
4.45	0.45	1.15
1.5	0.93	0.1

El factor de proporcionalidad  $K$  fue determinado por Sternberg (1972), ajustando una función logarítmica a los datos experimentales de Guy *et al.* (1966), para tamaños de grano de 0.19 mm; 0.28 mm; 0.45 mm y 0.93 mm. Los valores de  $K$  propuestos por Sternberg se muestran en la Figura 11.

El esfuerzo crítico  $\tau_c$  se determina con la ecuación (4) considerando el umbral de velocidad necesario para mantener en movimiento los granos de sedimento (curva inferior en la Figura 12). El umbral de velocidad necesario para iniciar el movimiento del sedimento, y el umbral de velocidad en el que el sedimento deja de moverse, han sido investigados experimentalmente en laboratorio por diferentes autores (ej. Svedrup *et al.*, 1942; Bagnold, 1963; Inman, 1963; entre otros). Sternberg (1967, 1971) comparó los resultados de los experimentos de laboratorio con observaciones en canales de marea en Puget Sound, Washington y concluye que no hay diferencias significativas entre los umbrales de velocidad obtenidos en el campo y los obtenidos en laboratorio. En la Figura 12 se muestran ambos umbrales de velocidad en función del diámetro de grano determinados por Sternberg (1967, 1971). El umbral de velocidad para iniciar el movimiento de arenas de 0.19 mm, 0.28 mm, 0.48 mm y 0.93 mm, es 37.2 cm/s, 37.35 cm/s, 40.48 cm/s y 52.52 cm/s, respectivamente.

## RESULTADOS

La capacidad de transporte de sedimento de fondo en el canal principal del Estero de Punta Banda se estimó en las 12 localidades indicadas en la Figura 10. En la Tabla 3 se muestra el volumen neto de sedimento  $V_s$  que ha sido transportado a través de cada una de las 12 secciones transversales al canal durante los 12 días del ciclo de marea considerado. El volumen de sedimento por unidad de tiempo (gasto  $Q_s$ ) se calculó a intervalos de 15 minutos durante los 12 días del ciclo de marea. En las Figuras 13 y 14 se muestran los gastos  $Q_s$  correspondientes a las localidades 1 y 4 de la Figura 10. En las restantes localidades el gasto es menor a 0.01 m<sup>3</sup> /min. El volumen neto de sedimento o transporte neto de sedimento a través de una sección transversal del canal de ancho  $L$ , durante un tiempo  $t$ , se estimó con la ecuación:

$$V_s = \int_0^t Q_s(t) dt; \quad Q_s(t) = \frac{j(t)L}{\rho_s}, \quad (7)$$

donde se ha considerado el valor de  $\rho_s = 2.65 \text{ gr/cm}^3$  para arenas finas de cuarzo y feldespato (Sundborg, 1967).

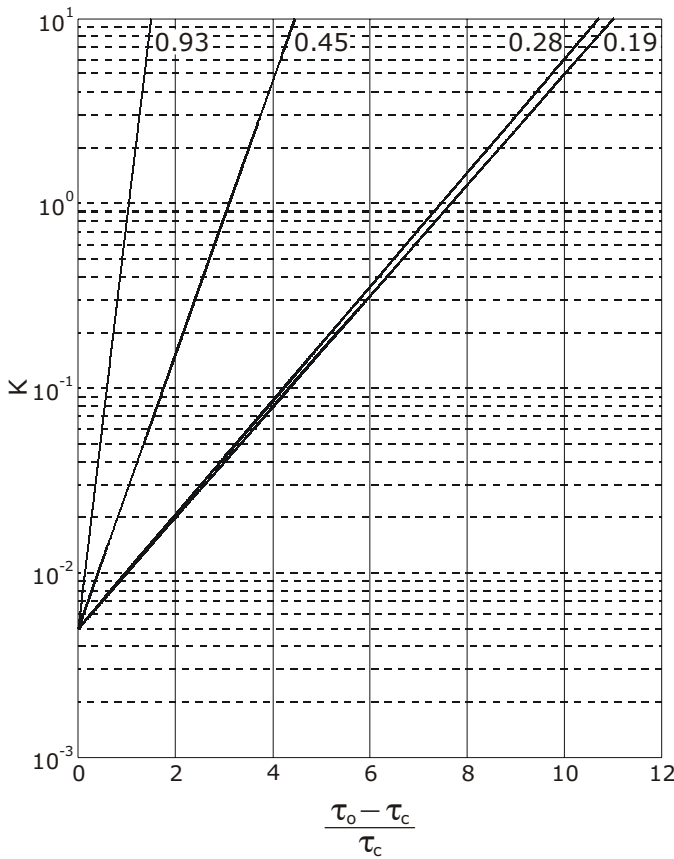


Figura 11. Factor de proporcionalidad K en función del esfuerzo relativo para tamaños de grano de 0.19 mm; 0.28 mm; 0.45 mm y 0.93 mm.

Tabla 3. Volumen neto de sedimento ( $V_s$ , metros cúbicos) a través de las 12 secciones transversales al canal principal durante los 12 días del ciclo de marea para tamaños de grano de 0.19 mm; 0.28 mm; 0.45 mm y 0.93 mm. Las localidades se señalan en la Figura 10. El signo negativo indica volumen neto saliendo del estero. Configuración del estero de una sola boca en la parte norte.

Localidad	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.19 mm)	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.28 mm)	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.45 mm)	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.93 mm)
1 (boca)	-1507	-1509	-1663	-1671
2	-1.33	-1.43	-20.84	-57.28
3	-1.17	-1.25	-47.07	-73.55
4	-21.48	-21.97	-329.35	-371.68
5	-0.90	-0.92	-7.10	-19.97
6	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03
7	-0.26	-0.26	-1.32	-2.27
8	-0.09	-0.09	-0.30	-0.43
9	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0
12 (cabeza)	0.0	0.0	0.0	0.0

Nota: El transporte neto ( $V_s$ ) se calculó por separado para cada tamaño de grano suponiendo arenas homogéneas en el tamaño de grano. No deben sumarse los transportes estimados para los diferentes tamaños de grano.

En las Figuras 13 y 14 se puede observar que la mayor parte del transporte de sedimento ocurre únicamente durante 6 de los 12 días del ciclo de marea que se están considerando. En los restantes días del ciclo de marea el reflujó en la región de la boca del estero pierde su capacidad de dragar, dando oportunidad a que el oleaje acumule sedimento, que a su vez vuelve a ser expulsado durante las

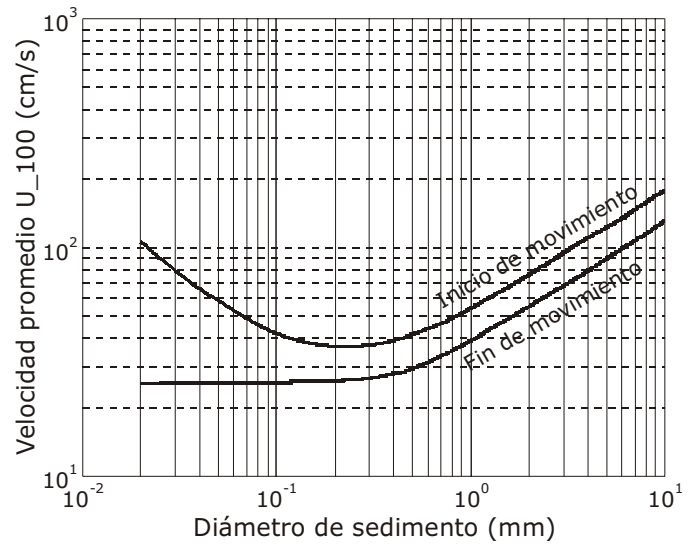


Figura 12. Umbrales de velocidad a 100 cm del fondo en función del diámetro del sedimento.

mareas vivas. Este proceso no significa que necesariamente en cada ciclo de mareas vivas el reflujó transporte  $\sim 1500$  m<sup>3</sup> de arena a través de la boca del estero. El proceso asegura que en condiciones extremas de transporte de sedimento hacia la boca, ya sea debido al oleaje o debido a la descarga del arroyo San Calos, el reflujó tiene capacidad de dragar  $\sim 1500$  m<sup>3</sup> por ciclo de marea hasta recuperar el área de la boca.

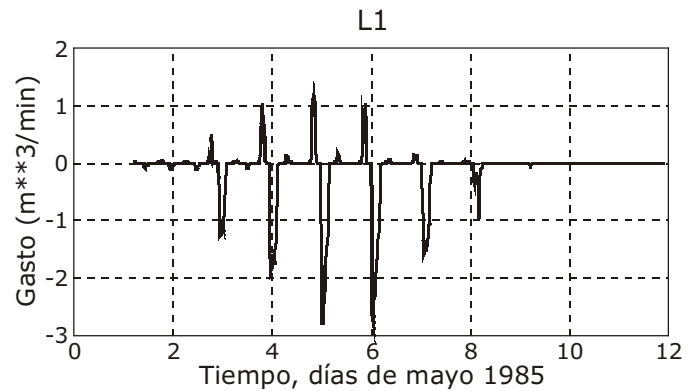
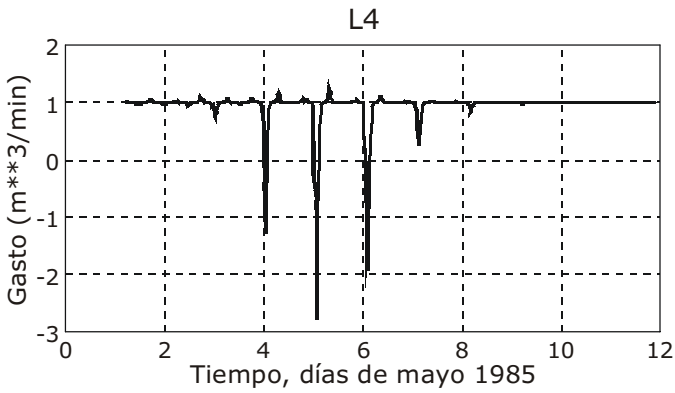


Figura 13. Transporte de sedimento (tamaño de grano 0.28 mm) a través de la boca del estero. El signo negativo indica transporte hacia fuera del estero.

Al interior del estero la capacidad de transporte de sedimento es considerablemente menor que la capacidad de transporte de sedimento en la región de la boca. El hecho de que la capacidad de transporte al interior del estero sea casi despreciable es un excelente resultado del modelo; si el transporte fuese mayor, el canal del estero estaría en proceso de erosión, lo que aumentaría su profundidad cada ciclo de mareas vivas, contrario a lo que se ha observado al paso de los años. Esta incipiente capacidad de transporte neto de sedimento actúa a manera de agente de limpieza del canal, evitando que las arenas provenientes de la región de la boca penetren al interior del estero. Es notable que hacia la cabeza del estero la capacidad de transporte de arena es nula.



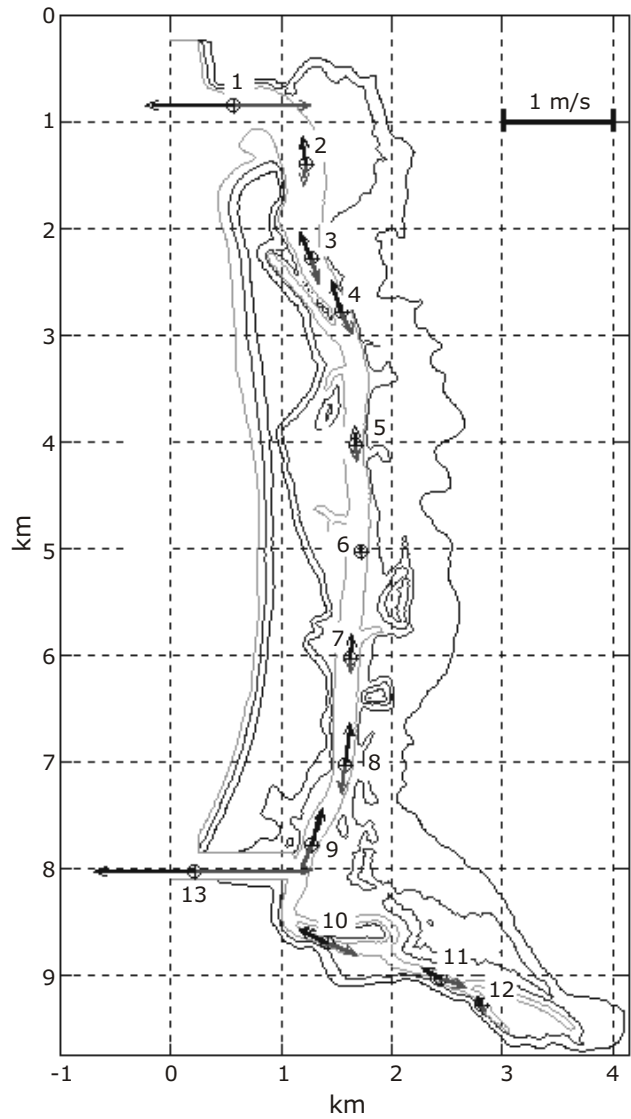
**Figura 14. Transporte de sedimento a través de la sección transversal del canal principal en la localidad 4 indicada en la Figura 14. El signo negativo indica transporte hacia fuera del estero.**

APERTURA SINTÉTICA DE UNA SEGUNDA BOCA EN LA PARTE SUR DEL ESTERO MANTENIENDO ABIERTA LA BOCA NATURAL

Una vez calibrados y acoplados ambos modelos (hidrodinámico y de transporte de sedimento) para un estero con una sola boca, se procedió a simular la apertura sintética de una segunda boca en la parte sur del estero para estimar el cambio en el patrón de corrientes y sus consecuencias en el transporte de sedimento. En el modelo hidrodinámico se suplieron simultáneamente en ambas bocas los datos de nivel del mar del Puerto de Ensenada correspondientes al ciclo de marea del 1 al 12 de mayo de 1985 (los mismos datos que en el caso anterior). La profundidad de la boca artificial se fijó en 8 metros con ancho de 125 m manteniendo fijo el ancho de la boca en la parte norte (aprox. 125 m). En la Figura 15 se muestran los vectores de máxima velocidad alcanzada durante el flujo y reflujo de la marea (resultados del modelo) en las 12 localidades a lo largo del canal principal del estero y en la localidad 13 que corresponde a la boca artificial en la parte sur del estero. En la Tabla 4 se indican las magnitudes correspondientes.

**Tabla 4. Magnitud de la máxima velocidad del flujo y reflujo a lo largo del Estero de Punta Banda (resultados del modelo para el caso de un estero con dos bocas). Las localidades se señalan en la Figura 15. El signo negativo en las localidades 2 a 9 indica agua fluyendo en dirección de la boca norte. El signo negativo en las localidades 1 y 13 indica agua saliendo del estero.**

Localidad	Flujo, cm/s	Reflujo, cm/s
1 (boca)	72	-75
2	12	-22
3	23	-29
4	20	-25
5	9	-12
6	-4	2
7	-19	10
8	-34	24
9	-22	20
13 (boca artificial)	102	-88
10	26	-24
11	20	-16
12 (cabeza)	6	-6



**Figura 15. Velocidad máxima alcanzada durante el flujo y reflujo de la marea durante el ciclo de marea del 1 al 12 de mayo de 1985 en las 12 localidades a lo largo del canal principal del estero y en la localidad 13 que corresponde a la boca artificial en la parte sur del estero cuando ésta tiene 125 m de ancho y la boca norte se mantiene abierta. La escala de velocidad se muestra en el extremo superior derecho de la figura.**

Con esta configuración de una boca natural y otra artificial se aprecian tres cambios importantes en el patrón de circulación. Como era de esperarse, la magnitud del máximo flujo y reflujo disminuye tanto en la boca norte como al interior del estero. En la boca norte la velocidad máxima durante el reflujo (agua saliendo) es ligeramente mayor que durante el flujo, mientras que lo contrario ocurre en la boca artificial: la velocidad máxima durante el flujo (102 cm/s) es mayor que durante el reflujo (-88 cm/s). En las localidades 2 a 9 (en el canal principal) las velocidades máximas están orientadas hacia la boca norte, lo que indica una circulación residual entrando por la boca sur y saliendo por la boca norte. Las velocidades máximas durante el flujo y reflujo disminuyen hacia el centro del cuerpo del estero a partir de ambas bocas. En particular, en la vecindad de la localidad 6 se aprecia una región de baja velocidad propicia para que el sedimento en suspensión se deposite tanto en el canal prin-



cipal como a los lados de éste. En caso de mantener ambas bocas abiertas artificialmente, los lodos finalmente terminarían cubriendo el canal formando un área de marisma. Con excepción de las bocas, en las restantes localidades las velocidades máximas del flujo y reflujo no sobrepasan el umbral de velocidad necesario para iniciar el transporte de sedimento. En la Tabla 5 se muestra el volumen neto  $V_s$  de sedimento transportado durante los 12 días del ciclo de marea en ambas bocas. En la boca norte el transporte neto de sedimento es hacia afuera del estero mientras que en la boca sur el transporte neto es hacia adentro. Sin embargo, en ambas bocas el transporte neto de sedimento es insignificante, comparado con el transporte neto cuando solamente existe una sola boca. Este transporte neto insignificante indica que aun cuando en forma natural ambas bocas presentan una tendencia a cerrarse, la boca sur se cerraría primero, dando lugar a que la boca norte iniciase el proceso de autodragado hasta alcanzar el equilibrio entre el área de la boca y el prisma de marea. El prisma de marea es el volumen de agua dentro de una laguna costera comprendido entre los niveles de pleamar y bajamar, es decir, es el volumen de agua que la laguna intercambia con el océano cada ciclo de marea.

**Tabla 5. Volumen neto de sedimento ( $V_s$ , metros cúbicos) a través de las 13 secciones transversales al canal principal durante los 12 días del ciclo de marea para tamaños de grano de 0.19 mm; 0.28 mm; 0.45 mm y 0.93 mm, para el caso en el que la boca artificial tiene 125 m de ancho. Las 13 localidades se señalan en la Figura 15. El signo negativo en las bocas indica volumen neto saliendo del estero.**

Localidad	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.19 mm)	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.28 mm)	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.45 mm)	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.93 mm)
1 (boca)	-2.57	-2.83	-88.49	-157.86
2	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0
13 (boca artificial)	71.86	72.12	98.66	120.08
10	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0
12 (cabeza)	0.0	0.0	0.0	0.0

Nota: El transporte neto ( $V_s$ ) se calculó por separado para cada tamaño de grano suponiendo arenas homogéneas en el tamaño de grano. No deben sumarse los transportes estimados para los diferentes tamaños de grano.

#### APERTURA SINTÉTICA DE UNA SOLA BOCA EN LA PARTE SUR CERRANDO LA BOCA NATURAL

Finalmente se hizo un experimento en el que se cerró artificialmente la boca norte dejando abierta la boca sur con un ancho de 125 m. Las velocidades máximas de flujo y reflujo se muestran en la Tabla 6.

En este caso la boca sur adquiere capacidad de autodragado comparable a la capacidad de autodragado en la boca norte cuando solamente existe la boca norte, por lo que la boca sur permanecería abierta en forma natural. El flujo neto de sedimento en el canal principal es ahora en dirección de la boca sur, por lo que al paso del tiempo aumentaría la profundidad del canal principal en la región de

**Tabla 6. Magnitud de la máxima velocidad del flujo y reflujo a lo largo del Estero de Punta Banda. Resultados del modelo para el caso en el que el ancho de la boca artificial es de 125 y la boca norte se cierra artificialmente. Las localidades se señalan en la Figura 16. El signo negativo en las localidades 2 a 9 indica agua fluyendo en dirección de la boca norte. El signo negativo en las localidades 12 a 13 indica agua saliendo del estero.**

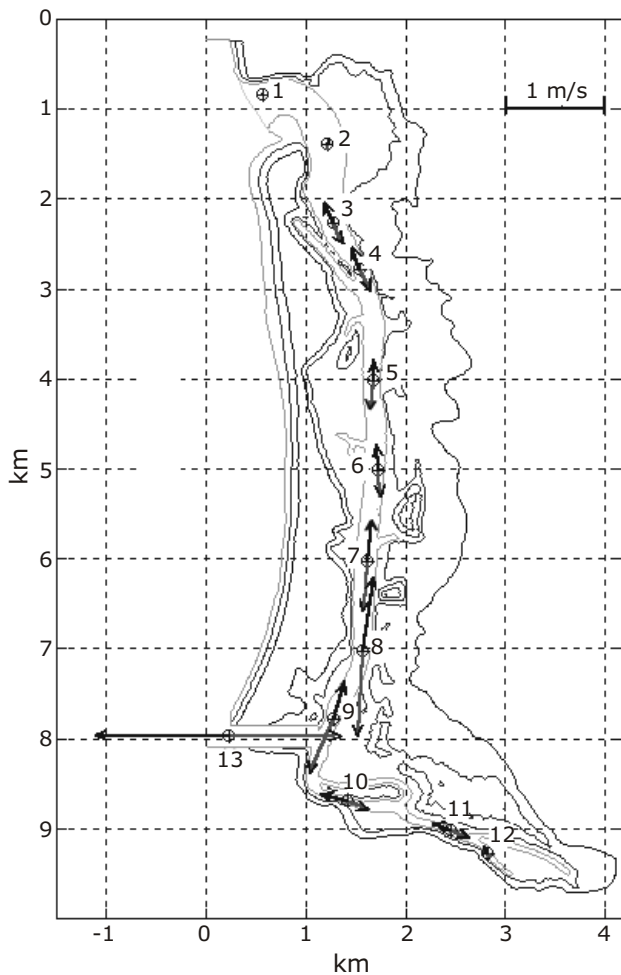
Localidad	Flujo, cm/s	Reflujo, cm/s
1 (boca)	0	0
2	-5	5
3	-16	18
4	-23	23
5	-23	30
6	-29	30
7	-50	63
8	-81	93
9	-41	62
13 (boca artificial)	105	-128
10	21	-25
11	18	-18
12 (cabeza)	6	-7

la nueva boca. Sin embargo, en la cabeza del estero la velocidad no alcanza a sobrepasar el umbral de velocidad necesario para iniciar el arrastre de sedimento. En la región de la boca norte del estero, ahora cerrada, las velocidades son prácticamente nulas, por lo que esta región se convertiría en una trampa para todo grano de arena aportado por el arroyo San Carlos. En la Figura 16 se muestra el patrón de velocidades máximas de flujo y reflujo cuando únicamente permanece abierta la boca sur. En la Tabla 7 se muestra el correspondiente transporte neto de sedimento durante los 12 días del ciclo de marea para las 13 localidades a lo largo del estero indicadas en la Figura 16.

**Tabla 7. Volumen neto de sedimento ( $V_s$ , metros cúbicos) para el caso en el que se cierra la boca norte y se mantiene abierta la boca artificial en la parte sur del estero. Las localidades se señalan en la Figura 16. El signo negativo en la boca artificial indica volumen neto saliendo del estero. El signo positivo en las localidades a lo largo del canal indica volumen neto en dirección de la boca artificial.**

Localidad	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.19 mm)	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.28 mm)	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.45 mm)	$V_s$ , m <sup>3</sup> ; (0.93 mm)
1 (boca norte)	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.82	0.89	10.40	40.09
8	0.96	1.04	12.00	45.00
9	102	106	112	106
13 (boca artificial)	-1211	-1225	-1385	-1389
10	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0
12 (cabeza)	0.0	0.0	0.0	0.0

Nota: El transporte neto ( $V_s$ ) se calculó por separado para cada tamaño de grano suponiendo arenas homogéneas en el tamaño de grano. No deben sumarse los transportes estimados para los diferentes tamaños de grano.



**Figura 16. Velocidad máxima alcanzada durante el flujo y reflujo de la marea durante el ciclo de marea del 1 al 12 de mayo de 1985 en las 12 localidades a lo largo del canal principal del estero y en la localidad 13 que corresponde a la boca artificial en la parte sur del estero cuando ésta tiene 125 m de ancho y la boca norte se cierra artificialmente. La escala de velocidad se muestra en el extremo superior derecho de la figura.**

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estero de Punta Banda, en su condición actual de una sola boca, mantiene un equilibrio natural de autdragado de arenas en la boca y en el canal principal en la región de la boca. El hecho de que la velocidad del reflujo sea mayor que la velocidad del flujo a lo largo del canal principal del estero propicia una circulación residual hacia afuera del estero. A su vez, la circulación residual previene la acumulación de sedimento en suspensión que continuamente está siendo diluido durante el flujo y es expulsado del estero durante el reflujo.

La cabeza del estero y la región del canal principal hacia la cabeza del estero no tienen capacidad para transportar sedimento por tracción, lo que convierte a la región de la cabeza en una trampa para todo grano de arena aportado por el arroyo San Antonio. Cabe mencionar que el aporte total de sedimento del Arroyo San Antonio durante el período 1972-1983 (Ávila-Serrano, 1983) fue de

2,537,231 m<sup>3</sup>, equivalente a un promedio anual de 230,657 m<sup>3</sup>/año. Por otra parte, el volumen desde el fondo hasta el nivel de pleamar media superior en la región de la cabeza del estero es de 6,930,000 m<sup>3</sup> (volumen calculado con el modelo digital de la batimetría de 1989 entre el Km 7 y el Km 10 de la Figura 10). Con la razón de aporte de sedimento estimada por Ávila-Serrano, la región de la cabeza del estero debe azolverse totalmente en un lapso aproximado de 30 años, a menos que en años de precipitación pluvial extrema el caudal del arroyo San Antonio pudiera abrir naturalmente una boca en la parte sur de la barra de arena para evacuar el sedimento acumulado durante más de 20 años.

La apertura sintética de una segunda boca en la parte sur del estero, manteniendo abierta la boca natural, genera una condición inestable para ambas bocas debido a una disminución general en la magnitud del flujo y del reflujo, por lo que ambas bocas tienden a cerrarse en forma natural, cerrándose primero la boca sur y dando lugar a que la boca norte inicie el proceso de autdragado hasta alcanzar el equilibrio entre el área de la boca y el prisma de marea. Este resultado respalda la hipótesis de que, en años de precipitación extrema, el caudal del Arroyo San Antonio pudiese abrir una boca en la parte sur de la barra de arena. De hecho, en el "Plano de la Ensenada de Todos Santos" (Figura 17), trazado en el año 1879 por el Ingeniero A. Savín (Savín, 1879), está delineada una boca en la parte sur del estero cuyo ancho es aproximadamente 3 veces menor que el ancho de la boca norte. Por desgracia no será posible observar con facilidad la apertura de esta boca, debido a que en el año 1986 se construyó un dique rectangular en la parte sur del estero en el área en donde abría la boca en forma natural (el dique se observa en la Figura 1).

De acuerdo con la observación del estero al paso de los años, la modificación de la barra de arena en la región de la boca del estero se puede explicar con la inercia del reflujo del agua que erosiona el extremo norte del estero al girar para salir por la boca, transportando sedimento hacia afuera del estero. Este continuo proceso ha socavado el depósito de arena en la parte norte de la boca y a su vez ha transportado arena del interior de la barra hacia la punta de ésta haciendo que la posición de la boca migre hacia el norte con una consecuente disminución del volumen de arena de la punta de la barra. Conforme la arena es expulsada del estero, el transporte litoral inducido por el oleaje distribuye la arena a lo largo de la playa, al sur o al norte de la boca dependiendo de la dirección del oleaje. Durante eventos extremos de precipitación pluvial, el aporte de arena del Arroyo San Carlos recarga el volumen de arena en la región de la boca. Por ejemplo, en los años 1979-1983 aumentó considerablemente el volumen de arena en la región de la boca y en las playas aledañas y la posición de la boca retrocedió hacia el sur con respecto su posición en 1972 debido al caudal extremo del arroyo San Carlos. El conjunto de fotografías aéreas tomadas en 1972, 1989, 1993 y 2001 (Figura 18), ilustra el proceso de transporte de sedimento en la región de la boca del estero. En la fotografía de 1972 se observa una barra delgada y dos canales bien definidos al interior de la barra. En la fotografía de 1989 se observa el resultado del aporte masivo de arena del arroyo San Carlos durante los años 1979-1983; se puede observar el azolve del canal próximo a la barra y el aumento del depósito de arena tanto

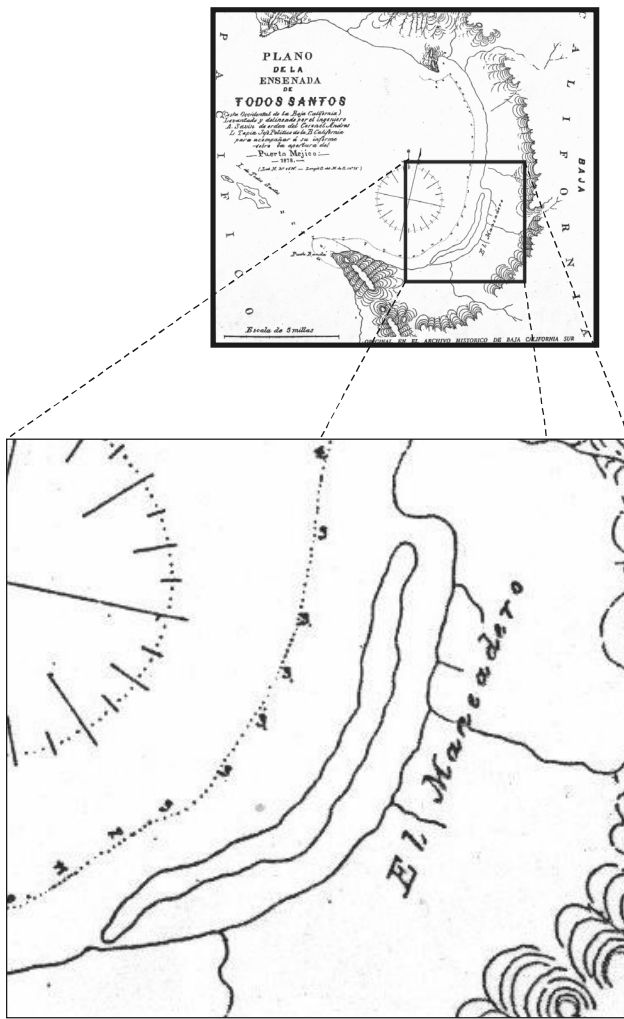


Figura 17. "Plano de la Ensenada de Todos Santos", (Costa Occidental de Baja California). Levantado y delineado por el Ingeniero A. Savín de orden del Coronel Andrés L. Tapia, Jefe Político de la B. California para acompañar a su informe sobre la apertura del "Puerto Mejico", 1878. Original en el archivo histórico de Baja California Sur. En el mapa se observa una boca en la parte sur del estero.

en la punta de la barra como en la playa que se localiza frente a la punta. En la fotografía de 1993 se observa la erosión parcial de la playa frente a la punta y el avance de la punta de la barra hacia el norte, respecto a su posición en 1989. Finalmente, en la fotografía del 2001 se observa la desaparición de la playa frente a la punta, el avance de la punta de la barra hacia el norte y la erosión del interior de la barra debido al flujo de arena hacia afuera del estero. Mientras que no ocurra un evento extremo de precipitación pluvial no se recargará el volumen de arena en la región de la boca y es de esperarse que la punta de la barra adquiera una forma similar a la que tenía en 1972. También se corre el riesgo de que aún con una precipitación extrema no se recargue el volumen de arena de la región de la boca si se extrae irresponsablemente la arena del lecho del Arroyo San Carlos.

El proceso de transporte de sedimento en la región de la boca del estero es sólo un ejemplo del equilibrio sutil que existe entre los arroyos y el litoral en las regiones semidesérticas. En estas regiones

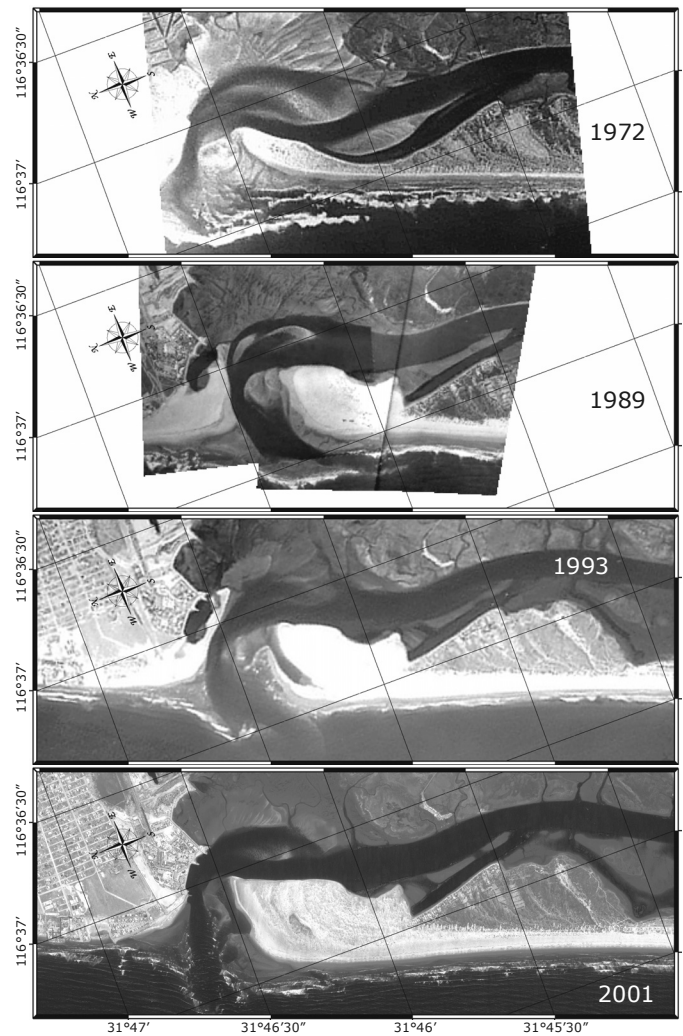


Figura 18. Secuencia de fotografías aéreas de la región de boca del Estero de Punta Banda tomadas en 1972, 1989, 1993 y 2001. Estas fotografías ilustran el proceso de transporte de sedimento en la región de la boca del estero (ver texto). Fotografías: INEGI-1972, Pro-Esteros-1989, INEGI-1993, IKONOS-2001.

el equilibrio se da en dos escalas de tiempo diferentes: durante 20 ó 30 años consecutivos el transporte de arena de los arroyos al litoral no es significativo debido a que la precipitación pluvial es escasa y no es suficiente para inducir el transporte de arena hasta el litoral. Sin embargo, durante este tiempo se acumula pausadamente el material que va a ser transportado al litoral en tan solo un lapso de tiempo de pocos días durante los eventos de precipitación extrema. Por ejemplo, en los años 1978-1983 ocurrieron unas lluvias extraordinarias, las mayores del siglo pasado, y los arroyos descargaron grandes volúmenes de sedimento en los litorales de Baja California. Este frágil equilibrio hace que la extracción irresponsable de arena del lecho de los arroyos pueda tener un impacto no deseado en los litorales, debido a que se estaría extrayendo la arena que se espera sea transportada al litoral en años de lluvias extraordinarias.

Otra actividad, que a la fecha se considera remota, y que podría afectar significativamente el proceso de erosión-depositación, es la de construir áreas urbanas con embarcaderos turísticos o privados dentro del cuerpo de agua del estero, áreas urbanas que se



construirían rellenando áreas de marisma. Actualmente, con excepción de los hoteles "Estero Beach" y "Campo Tony", no se observan asentamientos humanos. Al rellenar áreas de marisma disminuye el prisma de marea y consecuentemente disminuye el área de la boca. Esta relación no aparente se debe a que la magnitud del refluo es proporcional al volumen de agua que se evacua del estero en el lapso de tiempo comprendido entre la pleamar y la bajamar, y a que pequeños cambios en la magnitud del refluo ocasionan grandes cambios en la capacidad de arrastre de sedimento (ver Tablas 1 y 3). Es por esta relación que conforme el prisma de marea disminuye lentamente, la capacidad de autodragado en la región de la boca se pierde rápidamente, hasta el grado de ocasionar el cierre total de la boca debido al flujo de arena hacia adentro del estero producido por el oleaje.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos Rafael Blanco y a Román Lizárraga por proveer el equipo necesario y por su valiosa colaboración durante el trabajo de campo en el Estero de Punta Banda para la obtención de los perfiles batimétricos. A Isabel Ramírez Aguilar y a Salvador Farreras por su contribución con material bibliográfico y fotográfico del estero.

Los datos de nivel del mar y de corrientes que se emplearon en este trabajo fueron recabados manualmente hora a hora, día y noche durante una semana de observaciones. Semana en la que los alumnos de Décimo Semestre del Área de Física de la XX Generación de Oceanólogos de la Facultad de Ciencias Marinas – UABC, acamparon por turnos en el Estero de Punta Banda para lograr la continuidad de las observaciones. Nuestro aprecio y reconocimiento.

Este trabajo fue financiado por el proyecto interno del Departamento de Oceanografía Física de CICESE "Respuesta de la Costa del Pacífico Oriental al Impacto de Tsunamis", como parte del proyecto de tesis de licenciatura de Laura Huerta-Tamayo en la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California.

## REFERENCIAS

- Ames-Sigala, L.F., 1985. Distribución de los ambientes sedimentarios en el Estero de Punta Banda, B.C., México. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., México.
- Ávila-Serrano, G., 1983. Volumen de sedimentos aportados anualmente a la Bahía de Todos Santos, B.C., por los arroyos: El Carmen, Ensenada, El Gallo, San Carlos y Las Animas 1972-1983. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, UABC. Ensenada, B.C., México.
- Bagnold, R.A., 1963. Mechanics of marine sedimentation. In "The Sea: Ideas and Observations" (M.N. Hill, ed.), Vol. III, Interscience, New York.
- Goto, C., Ogawa, Y., Shuto, N., and F. Imamura, 1997. IUGG/IOC TIME Project: Numerical Method of Tsunami Simulation with the Leap-Frog Scheme, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Manuals and Guides # 35, Paris, 4 Parts.
- Huerta-Tamayo, L., 2002. Transporte de sedimento por tracción en la boca y en el canal principal del Estero de Punta Banda, Baja California, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC.
- Inman, D.K., 1963. In "Submarine Geology" (F.P. Shepard, ed.), Chapter V, 2<sup>nd</sup> Ed., Harper and Row, New York.
- Pritchard, D.W., De La Paz-Vela, R., Cabrera-Muro, H., Farreras-Sanz S. y Morales, E., 1978. Hidrografía física del Estero de Punta Banda. Parte I: Análisis de datos. *Ciencias Marinas*, Vol. 5, No. 2. Diciembre 1978.
- Savín, A., 1878. "Plano de la Ensenada de Todos Santos", (Costa Occidental de Baja California). Levantado y delineado por el Ingeniero A. Savín de orden del Coronel Andrés L. Tapia, Jefe Político de la B. California para acompañar a su informe sobre la apertura del "Puerto Mejico", 1878 (original en el archivo histórico de Baja California Sur).
- Sternberg, R.W., 1967. Measurements of sediment movement and ripple migration in a shallow marine environment. *Marine Geol.* 5, 195-205.
- Sternberg, R.W., 1968. Friction factors in tidal channels with differing bed roughness. *Marine Geol.* 6, 243-260.
- Sternberg, R.W., 1971. Measurements of incipient motion of sediment particles in the marine environment. *Marine Geol.* 10, 113-119.
- Sternberg, R.W., 1972. Predicting Initial Motion and Bedload Transport of Sediment Particles in the Shallow Marine Environment. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Shelf Sediment TRANSPORT: Process and Pattern, 3, pp. 61-82.
- Sundborg, A., 1967. Some aspects of fluvial sediments and fluvial morphology. I. General views and graphic methods. *Geograf. Ann.* 49A, 333-343.
- Svedrup, H.U., M.W. Johnson and R.H. Fleming, 1942. "The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Recepción del manuscrito: 2 de marzo, 2004
- Recepción del manuscrito corregido: 25 de mayo, 2004
- Aceptación del manuscrito: 29 de mayo, 2004

# CARACTERÍSTICAS Y CRITERIOS DE IDENTIFICACIÓN DE LAS PSEUDOTAQUILITAS ASOCIADAS A LA FALLA DE LOS PLANES, LA PAZ, B. C. S.

Angel F. Nieto-Samaniego<sup>1</sup>, Susana A. Alaniz-Alvarez<sup>1</sup> y Gustavo Tolson Jones<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, UNAM, Apdo. Postal 1-742, Querétaro, Qro., 07600

<sup>2</sup>Instituto de Geología, UNAM, Ciudad Universitaria, México, D. F., 04510

## RESUMEN

Una búsqueda somera de la frecuencia con que se abordan temas relacionados con las pseudotaquilas en la literatura internacional y nacional, así como nuestra experiencia personal, muestra que es muy poca la difusión que existe sobre el conocimiento de estas rocas. Observaciones detalladas de los afloramientos del arroyo El Ancón, donde está expuesta una gran cantidad de fracturas y fallas rellenas de pseudotaquilas nos permite ilustrar con fotografías de campo y microscopio una serie de criterios para su identificación para evitar confusiones con milonitas y otras rocas de falla. Se lograron identificar fases vítreas que muestran que muestran texturas fluidales y esferulíticas, así como estructuras de inyección y relleno de fracturas.

Palabras clave: Pseudotaquilas; rocas de falla; deformación frágil; La Paz México

## INTRODUCCIÓN

Las pseudotaquilas son rocas poco comunes cuyas descripciones aparecen de manera muy limitada en los libros de texto de Geología Estructural y cuyo estudio es aún incipiente. Es generalmente aceptado que se las localizan en dos entornos: asociadas a cráteres de impacto y a fallas.

En la literatura internacional son pocos los trabajos que se enfocan al estudio de estas rocas y menos aún a aquellas asociadas a fallas. La información disponible sobre ellas es muy poca, si se compara con el volumen de literatura sobre la mayoría de las rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas; incluso es significativamente menor que el disponible sobre sus "primas", las rocas miloníticas.

Sin pretender que sea una prueba estadística, sino un indicador cualitativo que permita mostrar la diferencia en el número de veces que estas rocas son abordadas en la literatura, en comparación con otros tipos de rocas, realizamos una búsqueda en la base GeoRef; se utilizó una ventana de tiempo de 1970 a 2003 y se llevó a cabo el 16 de Febrero de 2004. Los resultados fueron los siguientes:

Pseudotachylites: 74; Pseudotachylites and fault: 22

Mylonites: 5,052

Rhyolites: 8,105

Basalts: 41,088

Meteorites: 21,584

Por lo que toca a nuestro país, hemos encontrado dos referencias sobre la existencia de pseudotaquilas; una de ellas es una tesis de licenciatura sobre las pseudotaquilas asociadas a la falla de

Los Planes (Puy-Alquiza, 1992), las cuales son el objeto del presente trabajo y, la otra, la tesis doctoral de uno de los autores de este trabajo (Tolson, 1998) donde reporta pseudotaquilas asociadas a la falla de Chacalapa, en el sur de México. Realizamos una búsqueda similar a la que se hizo en GeoRef, pero en la base GEOMEX, la cual se encuentra disponible en la Biblioteca Conjunta de Ciencias de la Tierra de la UNAM y cuenta con 23,888 registros sobre publicaciones nacionales, incluyendo memorias de congresos; la búsqueda arrojó los resultados siguientes:

Pseudotaquilas: 0

Milonitas: 4

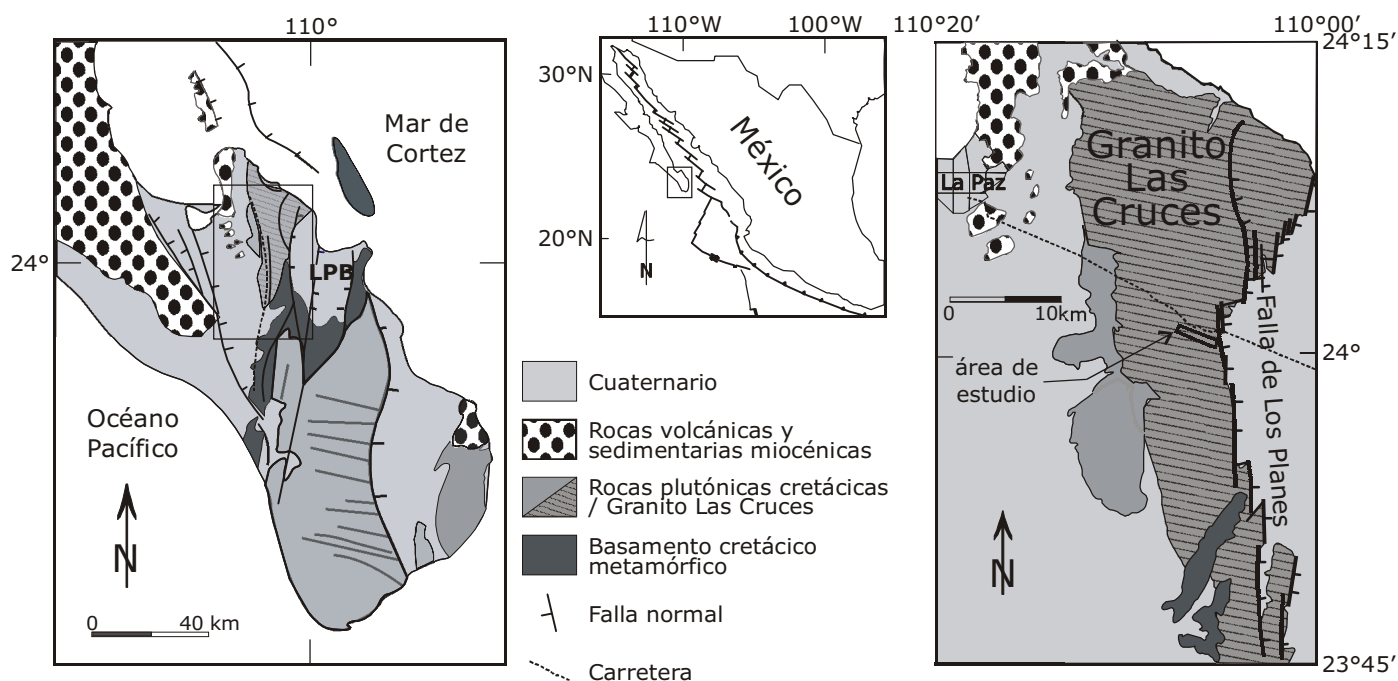
Riolitas: 12

Basaltos: 29

Meteoritos (as): 310

De los resultados obtenidos se observa que no hay una relación con la abundancia de un tipo de rocas, en general o en nuestro país, sino parece más bien que el número de trabajos es proporcional al interés que esos materiales despiertan en la comunidad científica.

Por otra parte, de nuestra experiencia con estudiantes de licenciatura y posgrado, así como con colegas dedicados a muy diversas subdisciplinas de las ciencias de la Tierra, hemos percibido que en general se tiene poco conocimiento sobre las características estructurales y texturales de estas rocas, así como de su significado. Un aspecto muy importante es que se conoce poco sobre los criterios tanto a nivel de afloramiento como microscópicos para identificar estas rocas y distinguirlas de otras rocas de falla. Nos hemos dado cuenta de que la falta de difusión sobre la naturaleza de estas rocas lleva a cometer errores en su interpretación y omisiones en su descripción. Ejemplificaremos lo anterior con el caso del arroyo El An-



**Figura 1.** Mapa de localización del área de estudio donde se muestra de manera esquemática las principales unidades cronoestratigráficas de la región.

cón, localizado muy cerca de La Paz, B. C. S. (Figura 1), en donde la presencia de pseudotaquilitas nos ha sido comentada por los profesores de la carrera de Geología de la Universidad Autónoma de Baja California Sur desde hace más de quince años y ha sido un sitio obligado en excursiones geológicas en la zona.

- El arroyo el Ancón está incluido en el área de tesis de Ramos-Velásquez (1998) la cual, debemos mencionar, es un trabajo sobresaliente y muy cuidadoso en sus descripciones de las unidades y las estructuras presentes en la zona de estudio. En ese trabajo se presenta una descripción detallada de las bandas oscuras que rellenan fallas a lo largo del arroyo el Ancón. De acuerdo con nuestras observaciones estas bandas están constituidas por distintos tipos de rocas de falla, entre las que se encuentran principalmente cataclasitas, algunas milonitas y pseudotaquilitas, cuyas fotografías aparecen a lo largo del presente trabajo. No obstante, Ramos-Velásquez (1998) no detectó la presencia de las fases vítreas (pseudotaquilitas) y reportó solamente cataclasitas, milonitas y ultramilonitas. Tampoco interpretó las características texturales como indicativas de la posible presencia de pseudotaquilita que, por haber sufrido alteración o desvitrificación, pudieran no estar ahora presentes en su estado original.

Considerando lo poco conocidas que son estas rocas, especialmente en nuestro país, nos hemos dado a la tarea de demostrar y difundir la existencia de pseudotaquilitas en los afloramientos donde estamos realizando nuestras investigaciones. Para ello realizamos un muestreo muy cuidadoso del arroyo el Ancón, en busca de evidencias inequívocas de fases vítreas dentro del relleno de las fallas. Producto de ese muestreo es este trabajo, con el que pretendemos difundir, principalmente entre los estudiantes, una pequeña

colección de fotografías que muestran la diversidad de estructuras y rocas de falla que se encuentran asociadas a las pseudotaquilitas, así como de algunos criterios para su identificación.

El trabajo está organizado de la manera siguiente: presentamos una breve introducción sobre las ideas actuales sobre el origen de las pseudotaquilitas, su ocurrencia y posible significado; seguidamente mostramos una serie de fotografías, todas del arroyo El Ancón, con ejemplos a distintas escalas y, por último, una discusión pequeña sobre las perspectivas de investigación en este campo, principalmente en lo que se refiere al proyecto que estamos llevando a cabo.

## NATURALEZA Y ORIGEN DE LAS PSEUDOTAQUILITAS

La pseudotaquilita es una roca compuesta de material vítreo, el cual se considera producto de fusión, debido a la transformación de energía cinética en calor. Hay dos ambientes en los cuales se han reconocido estas rocas: asociados a cráteres de impacto y a fallas. Por otra parte, es generalmente aceptado que pueden distinguirse dos tipos de pseudotaquilitas, atendiendo a los mecanismos que las originaron y que son susceptibles de ser identificadas (véase la pequeña síntesis al respecto en Kenkmann *et al.*, 2000): las que son producto de presión (*shock*), denominadas ya sea Tipo A, Tipo B<sub>1</sub> o Tipo S, según el autor consultado, se caracterizan por su asociación con cráteres de impacto, se presentan en brechas formando vetas, sin que haya una asociación con fallas ni zonas de cizalla simple y los cuarzos contenidos muestran estructuras de *shock* ("cuarzo shockeado") típicos de zonas de impacto meteorítico. Aquellas pro-

ducidas por fricción, denominadas Tipo B, Tipo B<sub>2</sub> o Tipo E, que se identifican por la ausencia de cuarzo con estructuras de *shock*; su asociación con zonas de cizalla simple, con fallas y con otras rocas de falla; forman comúnmente enrejados de fracturas que muestran geometrías asimétricas típicas de zonas de cizalla. En los cráteres de impacto se producen ambos tipos de pseudotaquilitas (las formadas por presión y las formadas por fricción), mientras que en las fallas se considera solamente la existencia de aquellas formadas por fricción. Todos los ejemplos que presentamos aquí corresponden a rellenos de fracturas de varios milímetros de espesor claramente asociados a las fallas macroscópicas y cuya cinemática es sintética con la falla de Los Planes, lo que nos permite suponer que se trata de rocas formadas por procesos friccionales.

Con fines ilustrativos presentamos una corta revisión de los argumentos comúnmente utilizados para mostrar la viabilidad de la fusión por cizalla sobre planos de falla y su asociación con eventos sísmicos (e. g. Sibson 1975, Spray 1995), lo que quizá representa la característica más interesante de ese tipo de pseudotaquilitas. El desarrollo que a continuación se presenta es semejante y sigue en gran parte el presentado por Melosh (2003).

Assumiendo que en un evento de deslizamiento la totalidad del trabajo es convertido en calor, entonces podemos decir que el esfuerzo de cizalla ( $\tau$ ) multiplicado por la velocidad de deslizamiento ( $v$ ) es igual a la energía térmica por unidad de área, formalmente:

$$\dot{Q} = \tau v \quad (1)$$

donde el punto indica que es la cantidad por unidad de tiempo. Se observa que, considerando un esfuerzo de cizalla constante, la energía térmica producida es directamente proporcional a la velocidad del deslizamiento. La energía térmica necesaria para alcanzar la fusión es aproximadamente

$$Q_f = \rho CV (\Delta T), \quad (2)$$

donde  $\rho$  es la densidad de la roca,  $C$  la capacidad calorífica específica a presión constante,  $V$  el volumen de material que se funde,  $\Delta T$  el incremento de temperatura requerido para alcanzar la fusión.

El aumento de la temperatura por unidad de tiempo será

$$\dot{T} = \frac{\dot{Q}}{\rho CV} = \frac{\tau v}{\rho CV} \quad (3)$$

Para encontrar la magnitud de deslizamiento necesaria para alcanzar la temperatura de fusión ( $d$ ), igualamos (1) y (2) y, considerando que  $Q = \tau vt$ , obtenemos

$$d = vt = \frac{\rho CV (\Delta T)}{\tau} \quad (4)$$

Es interesante notar que el volumen se refiere al espacio calentado por la energía calórica producida durante el deslizamiento, el cual dependerá de la difusividad térmica del material y consecuentemente del tiempo. Si se considera el volumen de material que se funde como variable dependiente del tiempo, se deduce que la magnitud de deslizamiento requerida para la fusión es inversamente proporcional a la velocidad de deslizamiento. Una aproximación ilustrativa se obtiene si consideramos el volumen fundido como un cuerpo tabular de área unitaria paralelo al plano de falla que crecerá en función del tiempo de acuerdo con  $y = \sqrt{\kappa t}$ , donde  $y$  es la distancia perpendicular al plano,  $t$  el tiempo transcurrido desde el inicio del calentamiento y  $\kappa$  la difusividad del material (Turcotte y Shubert, 1982; p. 154). Considerando que el volumen es igual a  $\sqrt{\kappa t}$  multiplicado por el área unitaria, y utilizando la ecuación (4),

tenemos:  $d = \frac{\rho C \kappa^{1/2} t^{1/2} (\Delta T)}{\tau}$ ; eliminando las raíces cuadradas

das  $\frac{d^2}{\kappa t} = \left( \frac{\rho C (\Delta T)}{\tau} \right)^2$ , y obtenemos:

$$d = \frac{\kappa}{v} \left( \frac{\rho C (\Delta T)}{\tau} \right)^2 \quad (5)$$

De acuerdo con esta ecuación, la velocidad de deslizamiento se convierte en un parámetro crítico; considérese que para velocidades grandes, el volumen permanecerá pequeño para un tiempo pequeño y se requerirá una  $d$  pequeña de acuerdo con (5). A mayor velocidad se requerirá una distancia de deslizamiento  $d$  menor, produciéndose volúmenes pequeños de fundido, lo cual es una característica típica de las pseudotaquilitas asociadas con fallas.

Sustituyendo el volumen por  $\sqrt{\kappa t}$  en (3), se tiene que la temperatura en función del tiempo y la velocidad será

$$T = \frac{\tau}{\rho C \sqrt{\kappa}} v t^{1/2} \quad (6)$$

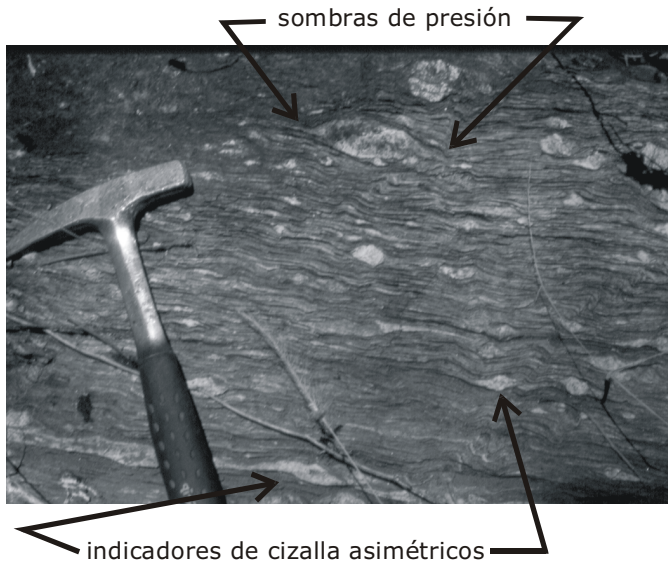
Nótese que  $T \propto v$  para un tiempo determinado y  $\propto t^{1/2}$  para una velocidad constante, de donde se deduce que la velocidad de deslizamiento ejercerá un control fundamental en la elevación de la temperatura del material. Típicamente se considera que velocidades cercanas o superiores a 1 m/s son necesarias para producir pseudotaquilitas.



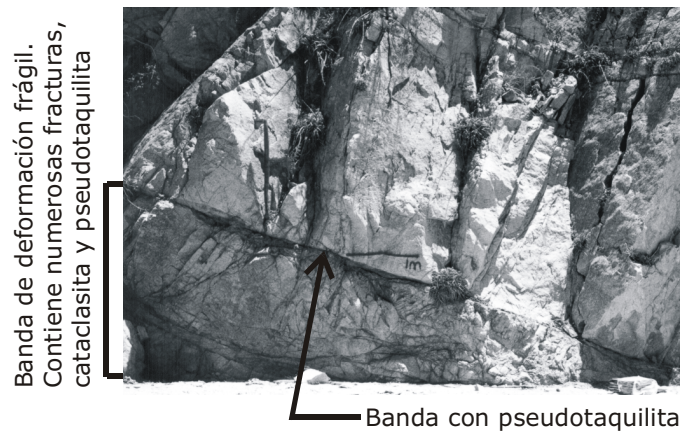
## CARACTERÍSTICAS TEXTURALES

Las características texturales que delatan la presencia de pseudotaquilita son aquellas que podemos asociar al proceso descrito de fusión por fricción debido al deslizamiento de una falla. Algunas características son indicativas de su presencia, o pueden sugerir un medio adecuado para su formación (deformación frágil). Algunas otras son excluyentes de otras fases, las cuales pueden ser cataclasitas o milonitas.

Con el fin de especificar las diferencias entre las milonitas y las pseudotaquilitas que permiten diferenciar esas rocas en muestra de mano y bajo el microscopio, debemos primero considerar los mecanismos que las originan. Las milonitas son rocas formadas por procesos de deformación cristaloplástica. En términos generales, esa deformación está controlada por la temperatura y ocurre a velocidades muy bajas; varios órdenes de magnitud menor que las velocidades de deslizamiento sobre planos de falla. Típicamente, aunque no exclusivamente, las milonitas se presentan en bandas o cuerpos gruesos en los que se puede observar graduación en la magnitud de la cizalla. Los listones de cuarzo u otro mineral y la formación de subgranos, sombras de presión cerca de los cristales mayores e indicadores de cizalla asimétricos, son algunas de las características más típicas de la presencia de milonitas (Figura 2). En escala de afloramiento, a diferencia de las milonitas, las pseudotaquilitas presentan límites discretos (Figuras 3 y 4); pasan de manera abrupta de una roca no deformada a bandas delgadas de roca muy deformada. Típicamente se asocian con un gran número de fracturas y con la presencia de cataclasitas (Figura 3). Estas características las hacen fácilmente distinguibles de milonitas de grados bajos a intermedios, pero podrían llegar a confundirse con bandas de ultramilonita; de ésta se distingue porque comúnmente contienen cristales redon-



**Figura 2.** Fotografía que muestra un aspecto de las milonitas que afloran en la región de Oaxaca, Oaxaca. Obsérvese el bandeamiento ondulante y la presencia de numerosos clastos con sombras de presión.

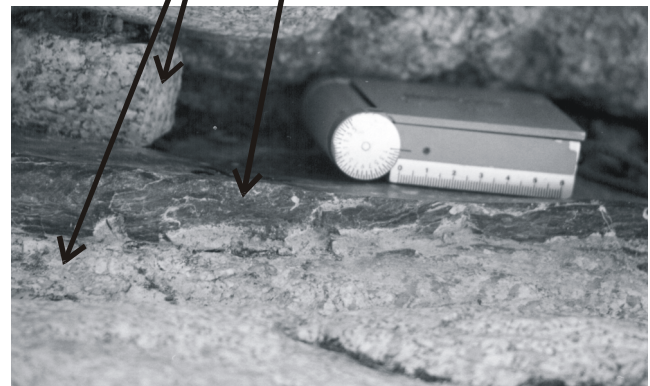


**Figura 3.** Fotografía que muestra el afloramiento de una falla asociada a la falla de los Planes. La estructura muestra una zona de deformación intensa con más de 2m de ancho dentro de la que hay un intenso fracturamiento y donde se identificaron bandas de cataclasita y pseudotaquilita. Nótese lo discreto de su pared de techo y que el bloque del alto está mucho menos deformado.

a



Granito sin deformar      Banda de pseudotaquilita



b

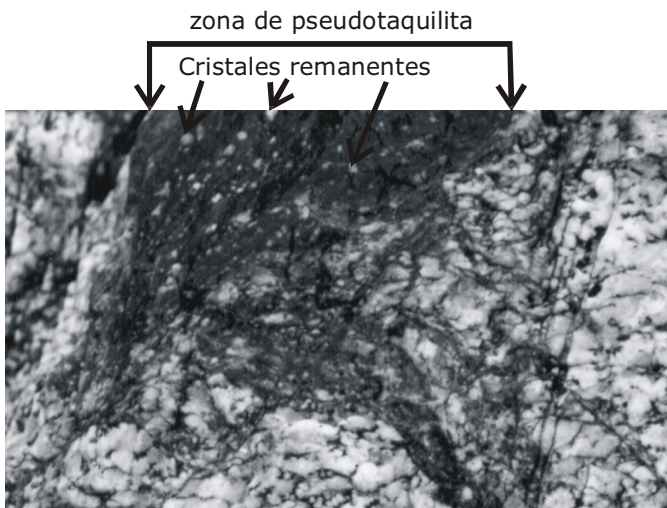
**Figura 4.** Fotografías que muestran uno de los planos principales con pseudotaquilite del arroyo El Ancón. Nótese que el paso de la zona deformada a la no deformada es discreto y la banda de roca de falla mide sólo unos centímetros de ancho.



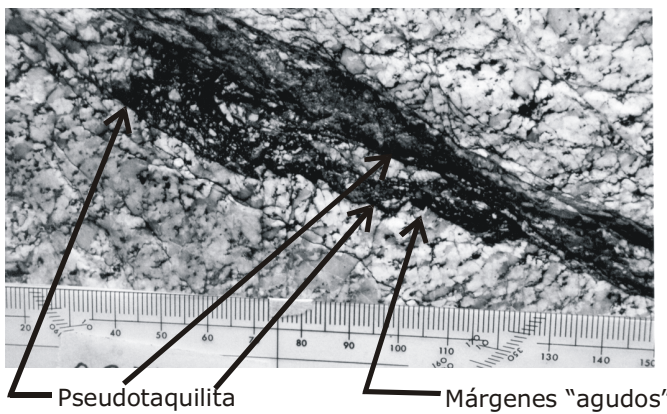
deados, sin sombras de presión, inmersos en el material afanítico (Figura 5). Estas características pueden ser perceptibles tanto a escala mesoscópica como microscópica.

Es muy común que las pseudotaquilas aparezcan como material inyectado en fracturas, aunque también se presentan así las cataclasitas. Con mucha frecuencia ambas fases aparecen juntas, rellenando fracturas lejos del lugar donde fueron formadas (Figura 6). Cuando se presenta una fase vítrea, llega a formar estructuras de inyección con geometrías que difícilmente podrían formarse en una fase no líquida (Figura 7). A nivel de muestra de mano las estructuras de inyección permiten diferenciarlas tanto de ultramilonitas como de cataclasitas.

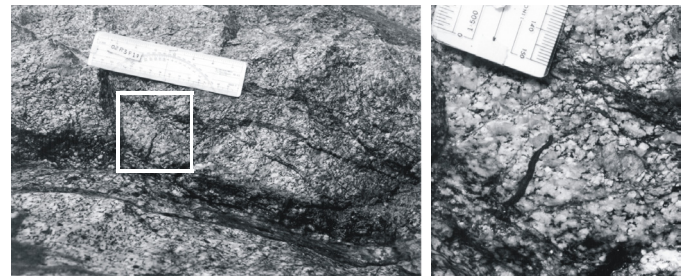
Al microscopio, es común encontrar en una sola muestra milonitas, cataclasitas y pseudotaquilas. Para identificar las pseudotaquilas es conveniente buscar material isotrópico con tex-



**Figura 5.** Acercamiento de una fractura con pseudotaquilas y cataclasita. Obsérvese que, a diferencia de la milonita mostrada en la Figura 2, los clastos no presentan sombras de presión y, a diferencia de la cataclasita mostrada en la Figura 6, los clastos se encuentran redondeados, lo que se interpreta como producto de la fusión.

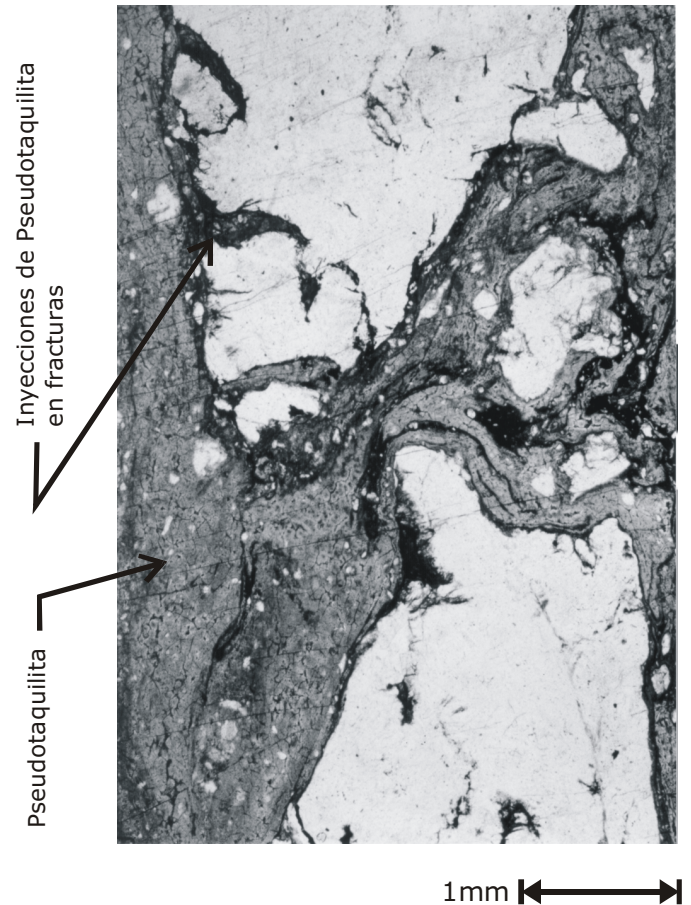


**Figura 6.** Fotografía que muestra una fractura "abierta" rellena de material de falla constituido por pseudotaquilas (bandas más oscuras) y cataclasita. Los márgenes aserrados con puntas agudas evidencian la ausencia de cizalla a lo largo de la fractura.



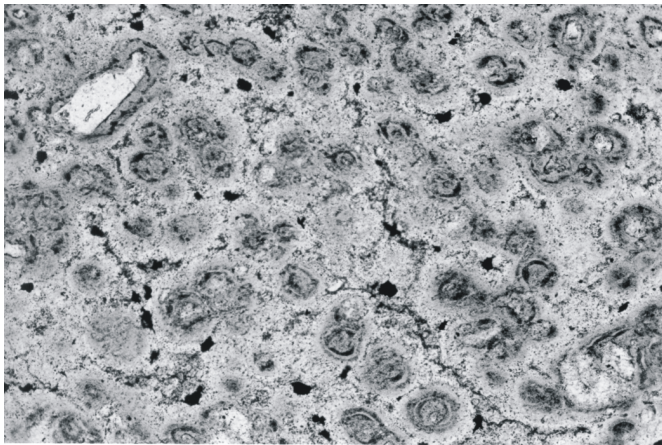
**Figura 7.** Fotografías que muestran una estructura de inyección de pseudotaquilas en forma de "gusano" emergiendo de una fractura donde se aprecia que hubo cizalla. Esta estructura evidencia una fase líquida, ya que difícilmente otro tipo de material podría producirla.

turas de flujo (Figura 8); textura esferulítica (Figura 9); material de texturas afaníticas o criptocristalinas con cristales remanentes redondeados y sin sombras de presión (Figura 10). Una característica interesante que encontramos en las pseudotaquilas del arroyo el Ancón, es la presencia de sistemas de fracturas tipo "placa de vidrio" en las vetas de pseudotaquilas. Este tipo de fracturas se forma en un medio isotrópico, por lo que no se presentan en las fases cristalinas (Figura 11).

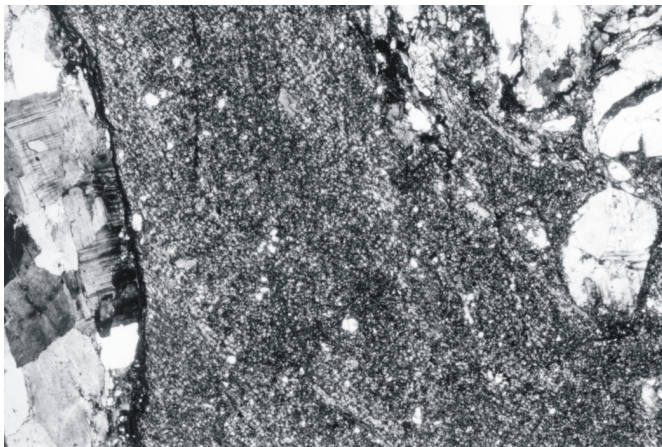


**Figura 8.** Fotomicrografía con luz plana donde se muestra un flujo de pseudotaquilas. La pseudotaquilas intrude en las fracturas del granito (zona clara) llegando a separar y asimilar fragmentos. Nótese que los cristales que flotan en la pseudotaquilas están redondeados.





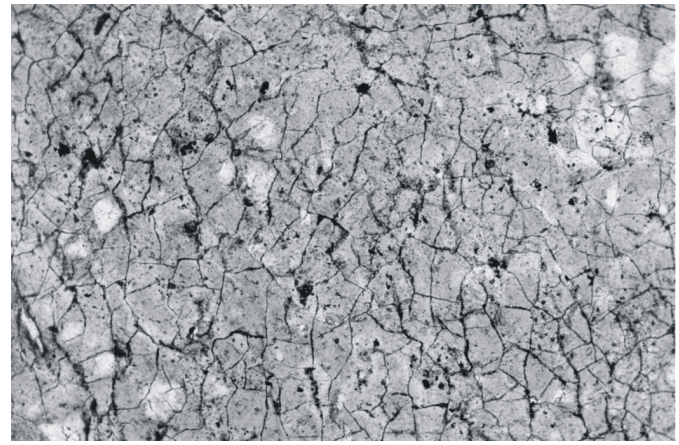
**Figura 9.** Fotomicrografía con luz plana de pseudotaquilita esferulítica que rellena una fractura. Las esferulitas son estructuras de recrystalización que evidencian la naturaleza vítrea del material.



**Figura 10.** Fotomicrografía con luz polarizada de una veta rellena de pseudotaquilita que se observa como material criptocristalino con pequeños clastos (en su mayoría cristales) redondeados.

## PERSPECTIVAS DE NUESTRA INVESTIGACIÓN

En los últimos años han surgido ideas novedosas para el estudio de las pseudotaquilitas asociadas con fallas. Por ejemplo, aún hasta ahora subsiste el problema de identificar cuándo el material que se observa en el microscopio óptico como una pasta afanítica, representa las fases vítreas (pseudotaquilita) producidas por fricción y no ultracataclasita. Esto se complica con la presencia de fenómenos de recrystalización o alteración. Se ha propuesto que es posible determinar los casos en que ocurrió fusión estudiando la redondez de los clastos contenidos en la matriz (Lin, 1999). En nuestro caso aún no hemos realizado este tipo de estudio, pero nos permitirá identificar la cantidad de pseudotaquilita relativa a la



**Figura 11.** Fotomicrografía con luz plana mostrando un detalle de una veta de pseudotaquilita que desarrolla fracturas tipo "placa de vidrio".

cataclasita. Ha sido propuesto también que se puede determinar la distancia de deslizamiento en la cual se logra el debilitamiento de una falla durante un evento sísmico, ya que la resistencia friccional varía en el tiempo (Hirose y Shimamoto, en prensa). Se ha planteado también que es posible determinar la temperatura (y profundidad) a la que se formaron las pseudotaquilitas (Hirose y Shimamoto, en prensa) con base en la medición de las cantidades relativas de clastos y matriz. Estas técnicas no las hemos aplicado aún a nuestras rocas, pero pretendemos hacerlo como parte de la investigación que estamos desarrollando.

Un aspecto que nos interesa especialmente es la relación que existe entre el volumen de pseudotaquilita que puede producir una falla y la velocidad de deslizamiento necesaria. Hemos observado fracturas muy pequeñas en nuestras muestras, menores de 10 cm de longitud que están rellenas de material oscuro, el cual suponemos que es pseudotaquilita. Si confirmamos que se trata de una fase vítrea, entonces se plantea la interrogante siguiente: ¿qué velocidades de deslizamiento requerimos para fundir la roca con distancias de deslizamiento de unos milímetros o aún menores? Al parecer, se requieren velocidades varios órdenes de magnitud superiores a los deslizamientos sobre fallas sísmicas, lo que nos plantea el problema de buscar una causa capaz de inducir esas velocidades de deslizamiento en el ambiente de una falla normal. Por otro lado, ¿podría tratarse de pseudotaquilitas formadas por presión y no por fricción, implicando la presencia en fallas de ambos tipos de pseudotaquilitas? y si así fuera ¿qué fenómeno puede proveer las presiones necesarias en un ambiente de falla normal? Estas son las interrogantes principales que abordamos en nuestro proyecto de investigación que, en este momento, se encuentra aún en sus fases iniciales. Quizá con un poco de suerte logremos dar alguna respuesta...

## REFERENCIAS

- Hirose, T., Shimamoto, T., 2003 (en prensa). Fractal dimension of molten surfaces as possible parameter to infer the slip-weakening distance of faults from natural pseudotachylites: *Journal of Structural Geology*.
- Kenkmann, T., Hornemann, U., and Stöffler, D., 2000. Experimental generation of shock-induced pseudotachylites along lithological interfaces: *Meteoritics & Planetary Sciences*, 35, 1275-1290.
- Lin, A., 1999. Roundness of clasts in pseudotachylites and cataclastic rocks as an indicator of frictional melting: *Journal of Structural Geology*, 21, 473-478.
- Melosh, H.J., 2003. The mechanics of pseudotachylite formation in impact events. <http://www.lpl.arizona.edu/~jmelosh/Pseudotachylites.pdf>
- O'Hara, K.D., 2001. A pseudotachylite geothermometer: *Journal of Structural Geology*, 23, 1345-1357.
- Puy-Alquiza, María de Jesús, 1992. Caracterización geológico-estructural del sistema de fallas San Juan de Los Planes y su relación con las unidades litológicas adyacentes, Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura de Geología, UABCS, (inédita).
- Ramos Velásquez, Ernesto, 1998. Características de la deformación en las rocas cristalinas cretácicas de la región de E-SE de la Ciudad de La Paz, B.C.S., México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, División de Ciencias de la Tierra, Departamento de Geología. Tesis de Maestría (inédita), 122pp.
- Tolson, G., 1998. Deformación, exhumación y geotectónica de la margen continental de Oaxaca: datos estructurales, petrológicos y geotermobarométricos: Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Geofísica, Tesis Doctoral (inédita), 98 p.
- Turcotte, D.L., y Schubert, G., 1982. *Geodynamics, applications of continuum physics to geological problems*, John Wiley & Sons, 450 pp.

Recepción del manuscrito: 20 de septiembre, 2003

Recepción del manuscrito coregido: 16 de febrero, 2004

Aceptación del manuscrito: 18 de febrero, 2004



# PROCESAMIENTO EN TIEMPO DE DATOS SÍSMICOS DE REFLEXIÓN DE ONDAS P EN MEDIOS CON ISOTROPÍA TRANSVERSAL CON EJE DE SIMETRÍA VERTICAL (ITV)

Carlos Calderón Macías, Jaime Ramos Martínez, Tatiana Kerdan, Raúl Cabrera Garzón y Alfonso González Ibarra  
 Instituto Mexicano del Petróleo  
 Eje Central Lázaro Cárdenas 152, San Bartolo Atepehuacan, México, D.F., 07730  
 Correo Electrónico: smc@imp.mx

## RESUMEN

En el procesamiento convencional de datos sísmicos para la obtención de imágenes del subsuelo con fines de exploración de yacimientos de hidrocarburos, se supone un modelo de Tierra isótropo. Estudios recientes han mostrado que en zonas con evidencia de anisotropía, el proceso convencional de migración en tiempo produce imágenes con una resolución pobre o una localización lateral errónea de eventos estructurales con fuerte echado, así como una transformación tiempo-profundidad errónea. Por lo tanto es importante determinar parámetros de anisotropía que permitan compensar sus efectos. En el proceso de datos conocido como corrección por NMO (*Normal-MoveOut*), las reflexiones tienen tiempos de arribo que se aproximan a una hipérbola en gráficas de tiempo contra distancia fuente-receptor u offset. A medida que el offset aumenta, la curva de reflexión o moveout se desvía de una hipérbola debido a efectos como la estratificación, la heterogeneidad lateral en el medio y la presencia de anisotropía. Se han propuesto diversos métodos para incluir la anisotropía del medio en el análisis de moveout. Existen evidencias preliminares de anisotropía sísmica en datos del Golfo de México que destacan la importancia de analizar y compensar sus efectos negativos.

## INTRODUCCIÓN

Una de las causas fundamentales de que la velocidad de los distintos modos de propagación de ondas varíe con respecto al ángulo de la propagación (anisotropía sísmica), es la presencia de estratificación repetitiva con espesores de capa mucho menores a las longitudes de onda de la energía propagándose en el medio. Si esta estratificación es horizontal se dice que el medio es Transversalmente Isótropo con un eje de simetría Vertical o medio ITV (VTI en inglés por *Vertical Transverse Isotropy*). La presencia de medios ITV ha sido reportada en numerosas zonas exploratorias. En ambientes marinos en el Mar del Norte y en África, por ejemplo, se han identificado efectos de anisotropía ITV en forma consistente (Banik, 1984; Ball, 1995; Alkhalifah *et al.*, 1996; Toldi *et al.*, 1999). En los trabajos citados se reportan diferencias del orden del 10% entre velocidades medidas en pozo y velocidades de intervalo de onda P obtenidas a partir de datos sísmicos, asumiendo isotropía en las propiedades del medio.

La ocurrencia de un medio ITV se asocia típicamente a series de estratificación conformadas por lutitas y areniscas intercaladas o por un alto contenido de arcillosidad en el medio (p. ej., Toldi *et al.*, 1999). Alkhalifah y Tsvankin (1995) mostraron que se requieren dos parámetros de procesamiento en tiempo para compensar la presencia de un medio ITV: la *anelipticidad*,

la cual se define como  $\eta \equiv \frac{\varepsilon - \delta}{1 + 2\delta}$ , donde  $\varepsilon$  y  $\delta$  son los parámetros anisótropos de Thomsen (1986) relacionados con

las constantes elásticas del medio, y la velocidad NMO,  $V_{NMO}$ . En el caso isótropo, en contraste, solo se requiere conocer  $V_{NMO}$  para mapear datos de offset distinto de cero (el offset es la distancia entre fuente y receptor) a una sección de offset cero.

Para estimar  $\eta$  se requieren offsets en los datos comparables o mayores a las profundidades de los reflectores de interés. La estimación de  $\eta$  se incorpora, junto con  $V_{NMO}$ , a los procesos de corrección de NMO, DMO (*Dip-MoveOut*) y migración en tiempo. También, el parámetro  $\eta$  puede usarse como un indicador de anisotropía y/o heterogeneidad vertical en el medio en cuestión. Para ondas P, los métodos de uno y dos pasos incorporan anisotropía en la corrección de NMO. En el análisis de un paso, el análisis de semblanza se realiza en dos dimensiones sobre la velocidad horizontal  $V_{hor}$  (la cual depende de  $\eta$ ) y  $V_{NMO}$ . En el caso de dos pasos, primero se realiza un análisis convencional para obtener  $V_{NMO}$  usando sólo los offsets cercanos en los datos, seguido por un análisis en offsets lejanos donde se fija  $V_{NMO}$  y se estima  $\eta$ .

En este trabajo primero se ilustran los efectos de la anisotropía en el proceso convencional en tiempo, después se discuten los métodos usados para estimar los parámetros anisótropos, y finalmente se ilustra una aplicación de estos métodos en datos sísmicos sintéticos y reales del Golfo de México.

## TEORÍA

La ecuación de NMO utilizada comúnmente en el procesamiento convencional de datos sísmicos es

$$t^2(x) \cong t_0^2 + \frac{x^2}{V_{NMO}^2}, \quad (1)$$

donde  $t_0$  es el tiempo de viaje vertical (a offset cero),  $x$  representa la distancia fuente-receptor u offset, y  $V_{NMO}$  es la velocidad de moveout o apilamiento. Para estimar la velocidad de intervalo a partir de la velocidad de moveout, a esta última se le identifica con la velocidad de raíz cuadrática media o  $V_{RMS}$ . Esta simplificación es válida para offsets relativamente pequeños (offsets menores a la profundidad del reflector) en el caso de estratificación horizontal, con estratos homogéneos e isótropos. La ecuación (1) corresponde a una aproximación al polinomio (Taner y Koehler, 1969)

$$t^2(x) = A_0 + A_1x^2 + A_4x^4 + A_6x^6 + \dots, \quad (2)$$

donde los coeficientes  $A_i$  corresponden a coeficientes de una expansión de Taylor cerca de  $x=0$ .

La presencia de anisotropía del tipo ITV genera distorsiones importantes a este modelo. Primero,  $V_{NMO}$  deja de ser igual a  $V_{RMS}$  aún en presencia de anisotropía débil y offsets cercanos, y por tanto la transformación de  $V_{RMS}$  a velocidades de intervalo asumiendo un medio isótropo es errónea. Segundo, la anisotropía produce un moveout no hiperbólico que se manifiesta de manera importante en offsets lejanos. Sin embargo, existen otras causas de la no hiperbolicidad de las trayectorias de reflexión. La presencia de una superficie de reflexión no horizontal o curvilínea y la heterogeneidad vertical y lateral en el campo de velocidades resultan también en inexactitudes en la ecuación (1). En este trabajo sólo discutimos los efectos del fenómeno de anisotropía. La compensación propuesta es de gran importancia, ya que tiene un efecto positivo en la calidad de las imágenes, así como para obtener una mejor información litológica en el procesamiento e interpretación de amplitudes, o AVO, de los datos. A continuación se describen métodos para obtener la velocidad  $V_{NMO}$  y el parámetro de aneipticidad  $\eta$  mediante procesado en tiempo de los datos.

### 1) CÁLCULO DE $V_{NMO}$ Y $\eta$

Alkhalifah y Tsvankin (1995) propusieron obtener los parámetros,  $V_{NMO}$  y  $\eta$  con una modificación de la ecuación (1) en la que se incluye un término de cuarto orden:

$$t^2(x) \cong t_0^2 + \left(\frac{x}{V_{NMO}}\right)^2 - \frac{2\eta x^4}{V_{NMO}^2 [(t_0 V_{NMO})^2 + (1+2\eta)x^2]}, \quad (3)$$

donde

$$\eta \equiv \frac{1}{2} \left( \frac{V_{hor}^2}{V_{NMO}^2} - 1 \right) = \frac{\varepsilon - \delta}{1 + 2\delta}, \quad (4)$$

$$V_{NMO} = V_{P0} \sqrt{1 + 2\delta}, \quad (5)$$

y  $V_{PO}$  y  $V_{hor}$  corresponden a las velocidades vertical y horizontal de ondas P en un medio ITV (Alkhalifah y Tsvankin, 1995; Alkhalifah, 1997). El caso isótropo es un caso particular de la ecuación (3) con  $\eta = 0$ , al igual que el caso anisótropo conocido como elíptico en el que  $\delta \equiv \varepsilon$ . Las ecuaciones (3)-(5) se generalizan al caso de varias capas considerando los valores de  $V_{NMO}$  y  $\eta$  como valores promedio RMS (Alkhalifah, 1997).

El cálculo de los parámetros efectivos se puede realizar en dos pasos: *i)* se realiza un análisis estándar de velocidad (espectro  $V_{NMO}$  vs. tiempo). En esta etapa se utilizan únicamente offsets cortos en los datos, hasta un ángulo de incidencia máximo de aproximadamente 25°, por ejemplo; *ii)* fijando los valores de velocidad en la ecuación (3) obtenidos en el paso anterior, se realiza un análisis  $\eta$  vs. tiempo, ahora incorporando todos los offsets en el análisis. Los valores estimados de  $V_{NMO}$  y  $\eta$  se utilizan para realizar la corrección de NMO según la ecuación (3).

En un medio típico del tipo ITV (ver p. ej., Thomsen, 1986),  $\eta$  tiene un valor generalmente positivo, y por tanto el término de cuarto orden es generalmente negativo. La presencia de anisotropía, por lo tanto, produce una sobre-corrección en los offsets lejanos cuando se utiliza solamente un análisis hiperbólico convencional [ecuación (1)]. Por otra parte, a medida que  $\eta$  aumenta, el moveout no hiperbólico también aumenta. Cabe hacer notar que el campo de  $\eta$  obtenido del análisis descrito puede ser atribuible a la anisotropía del medio, pero también a las causas nombradas anteriormente como la heterogeneidad vertical. Si la heterogeneidad es resuelta a través de otras técnicas, entonces la contribución relativa de anisotropía y heterogeneidad vertical se puede conocer. Estudios sobre esta problemática se pueden encontrar, por ejemplo, en los trabajos de Jones *et al.* (2003) y Grechka (1998).

### 2) EL MÉTODO DE LA HIPÉRBOLA DESPLAZADA

La ecuación de NMO de la hipérbola desplazada (Castle, 1994) permite incorporar en el análisis de NMO los efectos de anisotropía e inhomogeneidad. En el caso de un modelo estratificado anisótropo, Siliqui y Bousquie (2000) muestran que este método es más exacto que el método propuesto por Alkhalifah y Tsvankin (1995).

Para el medio isótropo estratificado la ecuación de la hipérbola desplazada generaliza la corrección estándar basada en la ecuación (1) (Castle, 1994):

$$t(x) \cong \tau_s + \sqrt{\tau_0^2 + \frac{x^2}{\vartheta^2}}, \quad (6)$$

donde

$$\tau_0 = \frac{t_0}{S}, \quad (7)$$

$$\tau_s = (S-1)\tau_0, \quad (8)$$

$$\vartheta^2 = V_{RMS}^2 S y \quad (9)$$

$$S = \frac{\bar{V}^4}{V^4}, \quad (10)$$

siendo  $\bar{V}$  la velocidad de cuarto orden promedio [o velocidad anelítica según Siliqi y Bousquié (2000)], y  $V$  la velocidad de segundo orden (velocidad NMO). Substituyendo estos parámetros en la ecuación (6) se obtiene

$$t \cong \frac{t_0}{S}(S-1) + \sqrt{\frac{t_0^2}{S^2} + \frac{x^2}{SV_{RMS}^2}}. \quad (11)$$

Geoméricamente, la ecuación (6) describe una hipérbola que es simétrica con respecto al eje del tiempo  $t$  y con un desplazamiento respecto a este dado por  $t = \tau_s$ . Castle (1994) demostró que la ecuación (6) es exacta para cuarto orden en offset [ecuación (2)]. El parámetro de desplazamiento  $S$  controla el comportamiento para offsets lejanos de la curva. La relación del término de desplazamiento  $S$  con el parámetro de aneliticidad  $\eta$  fue obtenida por Siliqi y Bousquié (2000):

$$S = 1 + 8\eta. \quad (12)$$

La solución a la ecuación (6), al igual que la solución a la ecuación (3), se puede calcular en dos etapas y resolver por los parámetros  $V_{NMO}$  y  $S$ . Posteriormente,  $\eta$  se puede calcular a partir de la ecuación (12).

### 3) MÉTODO DE SEMBLANZA BI-ESPECTRAL

$$V_{NMO} \text{ vs. } V_{hor}$$

Usando la ecuación (4), la ecuación (3) se puede reescribir en términos de las variables  $V_{NMO}$  y  $V_{hor}$  (Alkhalifah y Tsvankin, 1995) como

$$t^2(x) \cong t_0^2 + \frac{x^2}{V_{nmo}^2} - \frac{(V_{hor}^2 - V_{nmo}^2)x^4}{V_{nmo}^2(t_0^2 V_{nmo}^4 + V_{hor}^2 x^2)}. \quad (13)$$

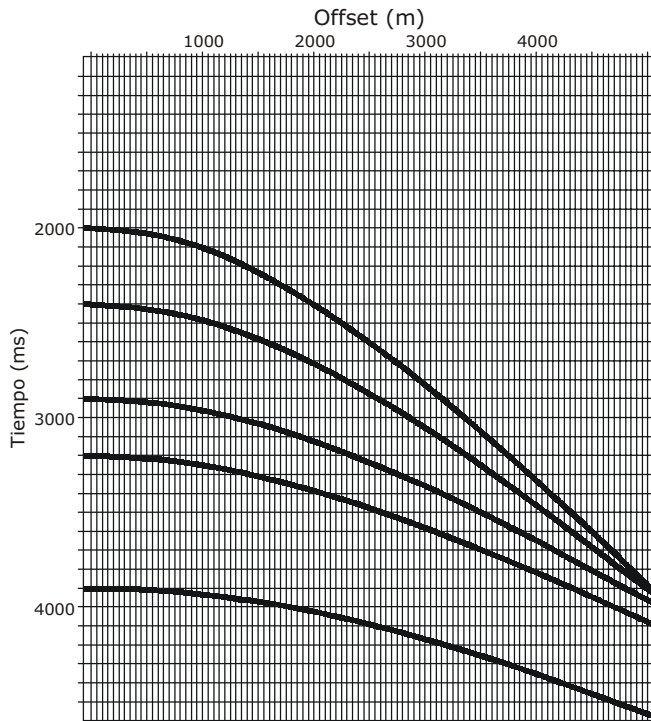
Un análisis de semblanza en dos dimensiones en el dominio  $V_{NMO}$  vs.  $V_{hor}$ , similar al análisis convencional de velocidades para cada tiempo vertical  $t_0$ , permite resolver numéricamente la ecuación (13). En este dominio la línea  $V_{NMO} = V_{hor}$  representa NMO hiperbólico, es decir  $\eta = 0$ . El valor máximo de semblanza, el cual corresponde al valor de coherencia más alto del conjunto de trazas que conforman un grupo de datos organizados en punto medio común o CMP, para un valor fijo de  $t_0$  resulta en el par  $(V_{NMO}, V_{hor})$  a usar en la ecuación (13). De la misma forma, las ecuaciones (4) y (12) se pueden sustituir en la ecuación (11) para obtener una ecuación similar a (13). La ventaja de estimar  $V_{hor}$ , en lugar de  $\eta$  ó  $S$ , es que ambas variables,  $V_{NMO}$  y  $V_{hor}$ , tienen las mismas unidades y escala, por tanto la interpretación de valores óptimos se simplifica. Este tipo de análisis *bi-espectral* es más fácil de aplicar y a la vez más robusto que la metodología de dos pasos descrita anteriormente, ya que bajo este esquema de proceso no se requiere seleccionar un valor de offset límite para el análisis y la selección de valores adecuados de  $V_{NMO}$  y  $\eta$ .

## EJEMPLOS DE APLICACIÓN

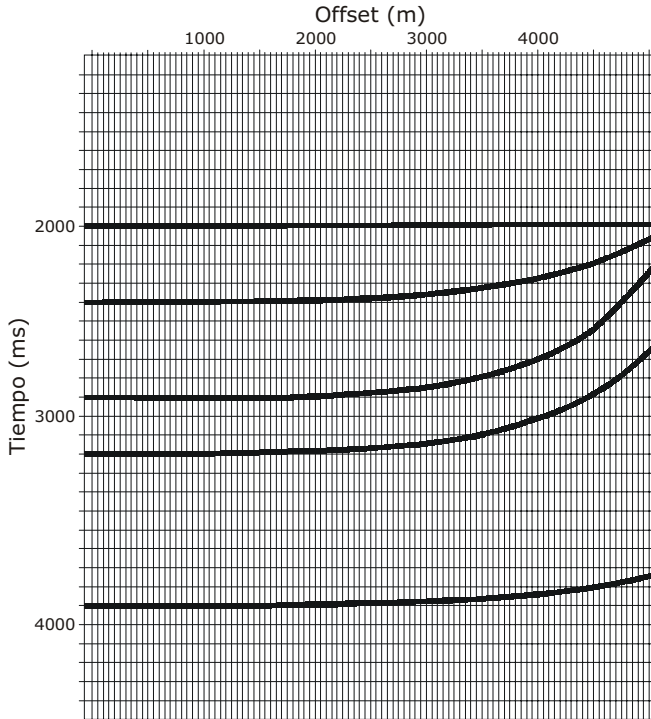
Para ilustrar los efectos de la anisotropía en datos sísmicos se calcularon sismogramas sintéticos utilizando la ecuación (3), la cual describe los tiempos de arribo de las reflexiones para medios ITV en función del offset. Se calcularon tiempos de viaje para un modelo estratificado compuesto por cinco capas, la primera de ellas isotrópica y las otras cuatro con anisotropía del tipo ITV. Una ondícula es asociada a los tiempos de arribo por convolución para la construcción de los sismogramas sintéticos. La Figura 1 muestra un registro de CMP para este modelo. Sólo la trayectoria del campo de ondas proveniente de la primera capa tiene un comportamiento hiperbólico. A estos datos se les aplica la corrección NMO convencional descrita por la ecuación (1) y los resultados se muestran en la Figura 2. Como dicha corrección supone que las capas son homogéneas e isotrópicas, los eventos correspondientes a las capas anisótropas son sobre corregidos. Se hace notar que en la aplicación de los métodos de corrección de NMO, en este ejemplo y los subsecuentes, las velocidades del medio, así como los parámetros de anisotropía se asumen inicialmente desconocidos. Es decir, estos se obtienen a partir de la interpretación de las velocidades y parámetros de anisotropía a partir de análisis de semblanza. En este trabajo sólo se presenta el proceso de los datos y no así la inversión de los parámetros.

Para llevar a cabo una corrección adecuada a los eventos provenientes de las capas anisótropas, se aplicó el método de la hipérbola desplazada descrito en la sección anterior. La Figura 3 muestra los análisis de velocidad  $V_{NMO}$  y del parámetro  $S$  correspondientes al método de dos pasos. En la Figura 4 se presenta el resultado de aplicar la corrección NMO compensando por los efectos de anisotropía. Las trazas corregidas utilizando moveout hiperbólico estándar y el método de la hipérbola desplazada fueron apiladas y repetidas para una mejor compara-

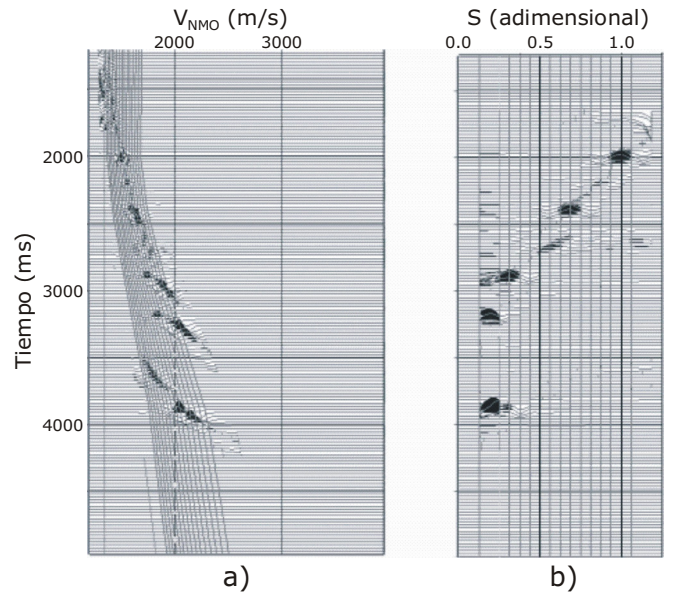




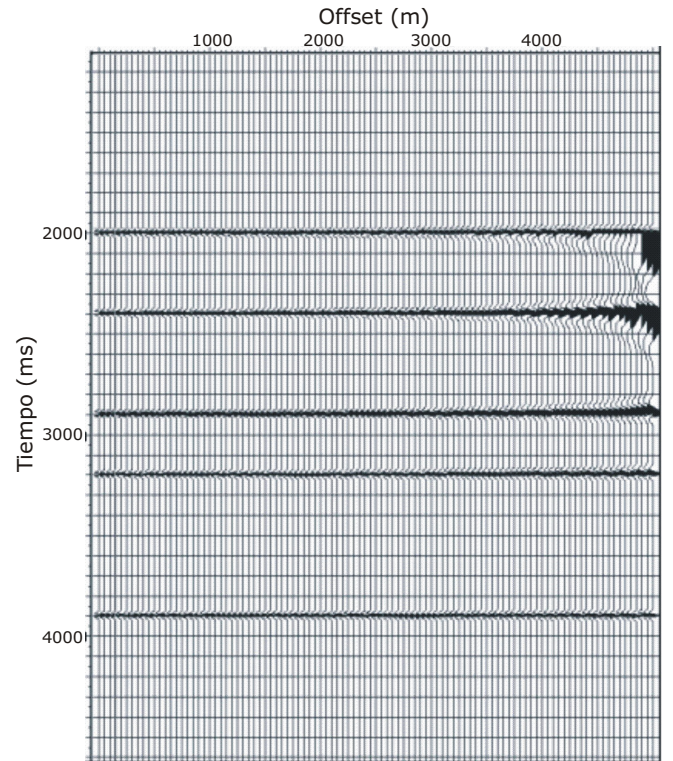
**Figura 1. Datos sintéticos para un medio con interfaces planas y horizontales organizados en punto medio común (CMP). El medio consiste de cinco estratos sobreyaciendo un semiespacio. El primer estrato es isótropo y los restantes son anisótropos del tipo ITV.**



**Figura 2. Sismogramas corregidos por NMO utilizando la aproximación hiperbólica estándar.**



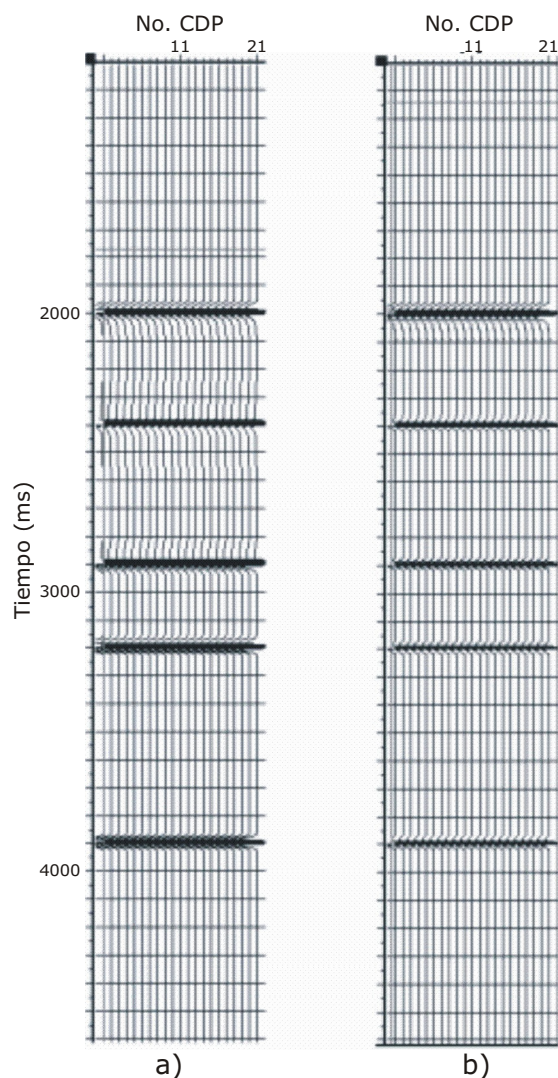
**Figura 3. (a) Análisis de velocidad NMO y (b) estimación del parámetro S para el CMP sintético mostrado en la Figura 1**



**Figura 4. Sismograma corregido por NMO con compensación por anisotropía.**

ción visual en la Figura 5. Los eventos reflejados en los que se aplicó la corrección estándar presentan un mayor contenido de bajas frecuencias en comparación con los eventos en los que se compensó por los efectos de anisotropía. Esto sugiere que una corrección inexacta por NMO distorsiona la amplitud y contenido de frecuencia de la señal sísmica. Lo anterior representa un

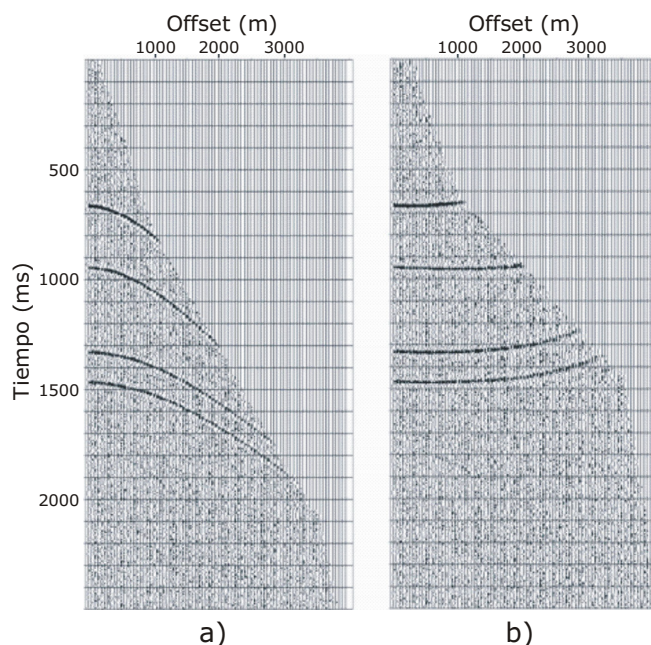




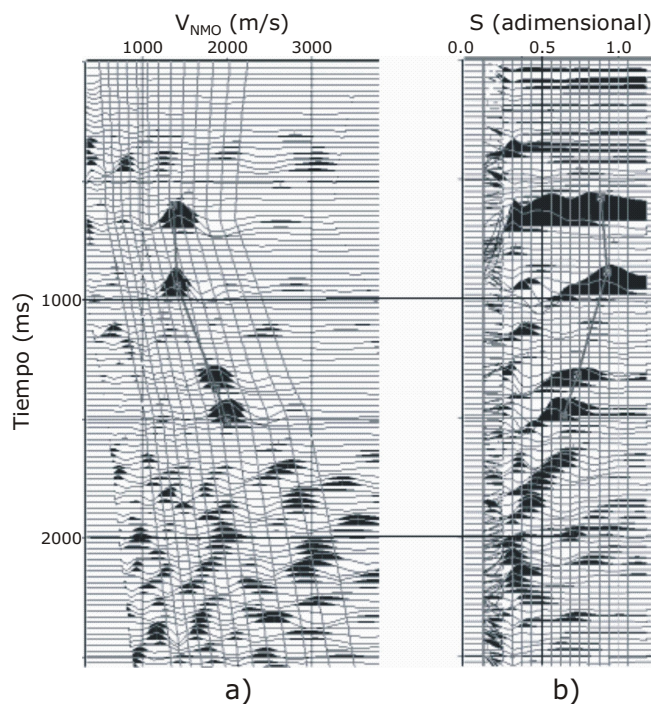
**Figura 5. Secciones apiladas de los sismogramas corregidos por NMO utilizando las aproximaciones (a) hiperbólica estándar y (b) no hiperbólica.**

inconveniente cuando se usan técnicas de interpretación basadas en el análisis de la amplitud sísmica, o cuando se hace interpretación estructural, debido a la pérdida de resolución vertical.

En un segundo ejemplo, se calcula un CMP con una técnica de teoría de rayos en medios 2D anisótropos (Rüger y Alkhalifah, 1996). En este caso, los tiempos de arribo de los distintos eventos son exactos, a diferencia del ejemplo anterior donde se utilizó una aproximación consistente a la corrección aplicada. El modelo consta de 4 capas anisótropas y a los sismogramas se le agregó ruido aleatorio, como se ilustra en la Figura 6a. Con ello se pretende estudiar el efecto del ruido en los análisis de anisotropía de los datos con los métodos de uno y dos pasos. Para efectos de comparación, la Figura 6b muestra los sismogramas con corrección NMO estándar, en los que se observa una sobrecorrección de los eventos en offset lejanos, como en el ejemplo anterior. En la Figura 7 se muestra la aplicación del método de la hipérbola desplazada. La presencia de ruido en los datos hace que la determinación del parámetro  $S$  se haga



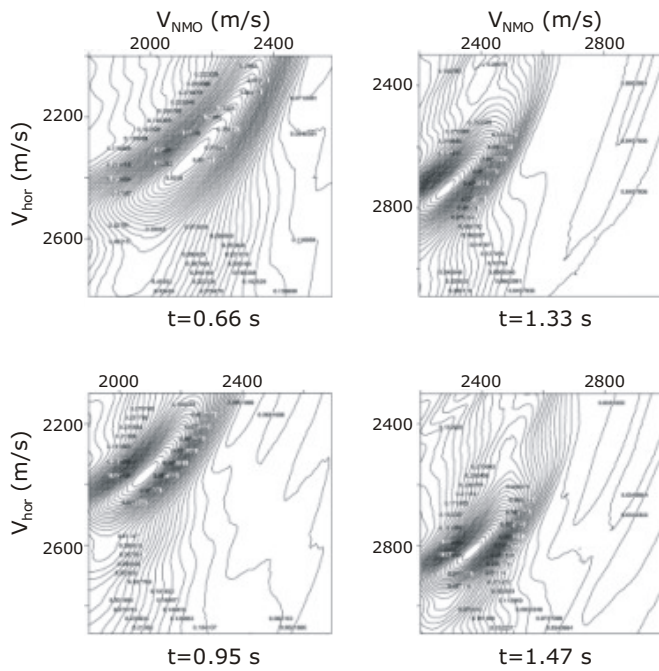
**Figura 6. a) CMP sintético calculado mediante una técnica de teoría de rayos al que se le agregó ruido aleatorio. Todas las capas son anisótropas del tipo ITV. b) CMP después de la corrección NMO estándar.**



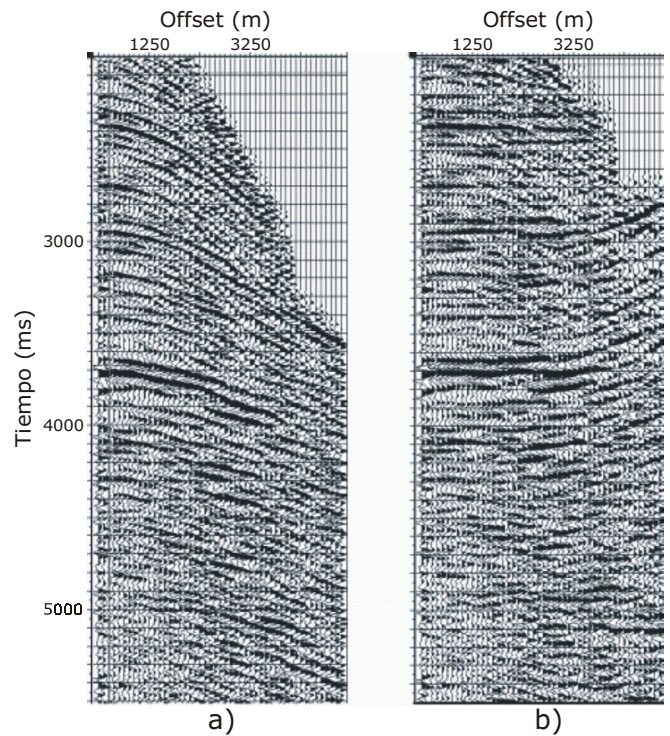
**Figura 7. Aplicación del método de la hipérbola desplazada al CMP sintético de la Figura 6. (a) Análisis NMO en offsets cortos, y (b) análisis del parámetro  $S$ .**

con menos precisión. Adicionalmente, en este ejemplo se utilizan offsets cercanos y lejanos en la estimación de este parámetro, por lo que la incertidumbre en la determinación de este parámetro aumenta. En la Figura 8 se muestra la aplicación del método de un solo paso basado en el análisis bi-espectral. Este método se aplica separadamente a cada una de las reflexiones de interés.



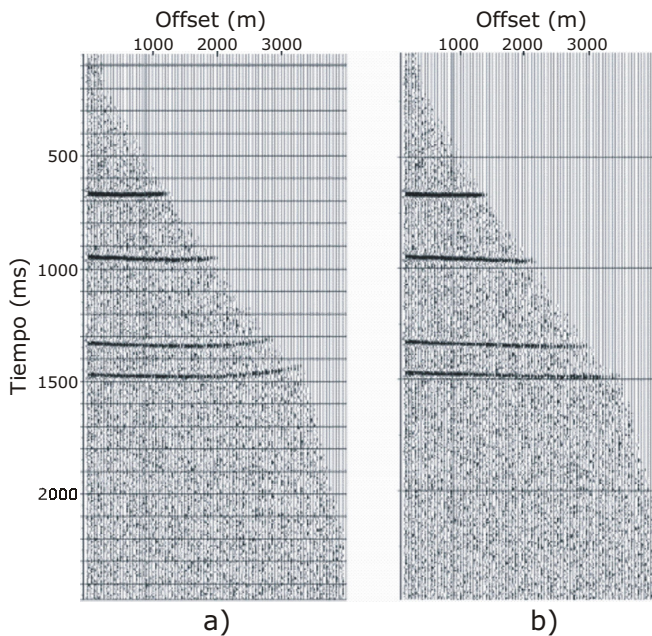


**Figura 8. Análisis biespectral ( $V_{NMO}$  vs.  $V_{hor}$ ) para cada una de las reflexiones de los datos sintéticos.**



**Figura. 10. CMP de datos reales (a) antes y (b) después de la corrección por NMO hiperbólica estándar.**

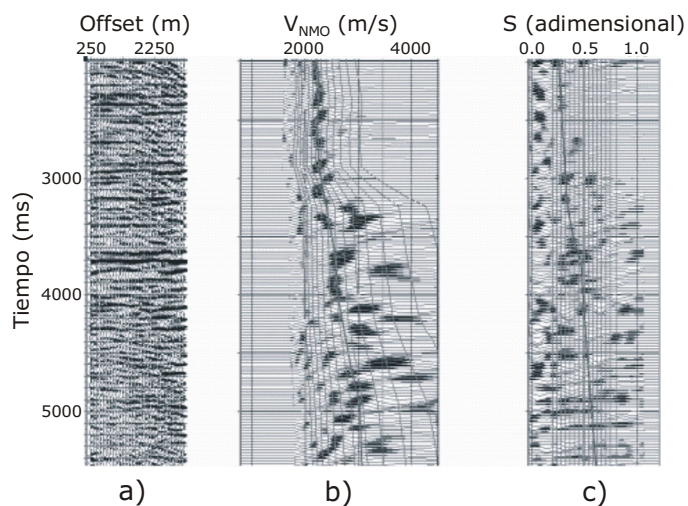
Los métodos se probaron con datos de onda P marinos del Golfo de México. La Figura 10 muestra un CMP antes y después de la corrección de NMO convencional, es decir asumiendo que el medio tiene un comportamiento isótropo. Es evidente la sobre corrección de los datos en los offsets lejanos para las reflexiones cuyo tiempo de arribo a offset cero están en 2.90 y 3.65 segundos. En la práctica es común eliminar aquella parte de los eventos que muestran sobre corrección y de esta forma evitar que estos eventos se apilen con un efecto negativo en las secciones sísmicas finales. Dos consecuencias importantes que resultan de esta eliminación son: 1) los eventos de offsets lejanos corresponden a trayectorias oblicuas de viaje de las ondas reflejadas las cuales permiten recuperar capas o estructuras con echado; 2) los offsets intermedios y lejanos son de gran utilidad en el análisis de las amplitudes o AVO.



**Figura 9. Corrección por NMO no hiperbólico, usando los parámetros obtenidos a partir del (a) análisis de dos pasos y (b) análisis biespectral.**

En esta figura se aprecia que la determinación de los puntos de mayor semblanza permite estimar las velocidades horizontal y de NMO para cada reflexión con buena resolución. Finalmente, en la Figura 9 se muestran los resultados de aplicar las correcciones obtenidas por cada uno de los métodos. Se observa que el resultado del análisis bi-espectral muestra eventos mejor alineados que producirán un mejor apilado.

En la Figura 11 se muestran los análisis de  $V_{NMO}$  y  $S$  al aplicar el método de dos pasos. Paralelamente, se aplicó el método bi-espectral en el dominio  $V_{NMO}$  vs.  $V_{hor}$  para los dos eventos reflejados mencionados anteriormente (Figura 12). Los resultados de aplicar la corrección NMO con los parámetros obtenidos mediante estas dos técnicas se muestran en la Figura 13. Similarmente al segundo ejemplo sintético descrito, el método bi-espectral es más robusto en la estimación de los parámetros. La técnica de un solo paso proporciona parámetros que permiten una mejor corrección de las trazas correspondientes a los offsets más lejanos. Una interpretación a esta observación es que el método de dos pasos requiere de seleccionar el offset o ángulo de incidencia máximo que se usará en el primer paso, y por lo tanto el análisis del segundo paso dependerá de esta selección. Debido a esta dependencia, el proceso de obtención de



**Figura 11. Análisis de dos pasos ( $V_{NMO}$  y  $\eta$ ) para el CMP de datos reales. a) CMP de offsets cercanos utilizado en el primer paso b) Análisis de  $V_{NMO}$  para offsets cercanos. c) Cálculo de  $\eta$  para offsets lejanos.**

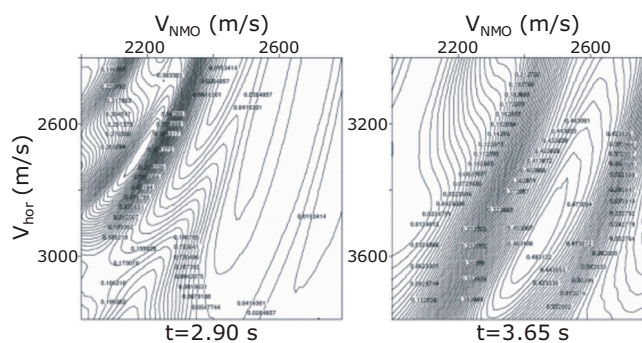
los parámetros óptimos puede requerir de más de una iteración. En los ejemplos aquí mostrados el método sólo se aplicó en una iteración.

## CONCLUSIONES

Discutimos aproximaciones prácticas para evaluar los parámetros que caracterizan un medio anisótropo del tipo ITV para así compensar por este fenómeno durante la corrección de NMO. Los resultados con datos sintéticos con ruido y datos de campo muestran que el método bi-espectral es más robusto que los métodos que requieren dos pasos. A partir de ejemplos simples con datos sintéticos mostramos cómo la compensación por anisotropía durante el proceso de corrección por NMO puede producir imágenes en tiempo con mayor resolución. La compensación por anisotropía permite incluir offsets lejanos en técnicas como el AVO, que de otra forma se tendrían que descartar en el caso de un medio anisótropo, lo cual representa un gran potencial en la estimación litológica y de fluidos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Subdirección de la Coordinación Técnica de Exploración por otorgarnos el permiso para mostrar datos sísmicos propiedad de PEMEX Exploración y Producción (PEP). Agradecemos a Efraín Méndez y Alberto Santana del Centro Nacional de Procesado Sismológico, PEMEX, por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo. Marco Flores y Francisco Maya de la Región Marina Noreste de PEMEX proporcionaron amablemente los datos de campo. Risto Siliqi (CGG) realizó el cálculo del registro sintético mostrado en la Figura 1. Los comentarios de un revisor anónimo beneficiaron el trabajo.

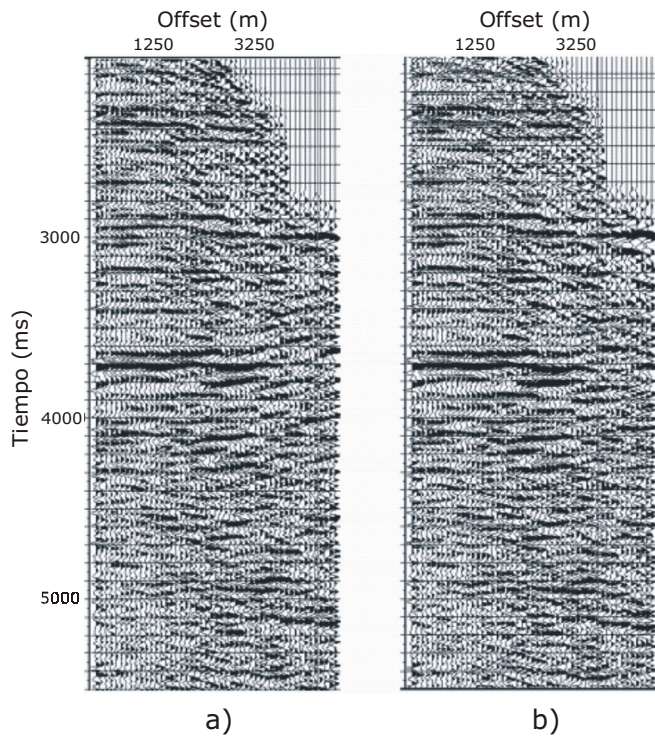


**Figura 12. Análisis bi-espectral  $V_{NMO}$  vs  $V_{hor}$  aplicado para dos eventos en el CMP de datos reales.**

## REFERENCIAS

- Alkhalifah, T., 1997, Velocity analysis using nonhyperbolic moveout in transversely isotropic media, *Geophysics*, v. 62, p. 1839-1854.
- Alkhalifah, T. y Tsvankin, I., 1995, Velocity analysis in transversely isotropic media, *Geophysics*, v. 54, p.1550-1566.
- Alkhalifah, T., Tsvankin, I., y Larner, K., 1996, Velocity analysis and imaging in transversely isotropic media: Methodology and a case study, *The Leading Edge*, v. 15, p. 371-378.
- Ball, G., 1995, Estimation of anisotropy and anisotropic 3-D prestack depth migration, offshore Zaire, *Geophysics*, v. 60, p. 1495-1513.
- Banik, N.C., 1984, Velocity anisotropy of shales and depth estimation in the North Sea Basin, *Geophysics*, v. 49, p.1411-1419.
- Castle, R., 1994, A theory of normal moveout, *Geophysics*, v. 59, p. 983-999.
- Grechka, V., 1998, Transverse isotropy versus lateral heterogeneity in the inversion of P-wave reflection traveltimes, *Geophysics*, v. 63, p. 204-212.
- Jones, F. I., Bridson, M.L., y Bernitsas, N. 2003, Anisotropic ambiguities in TI media, *First Break*, v. 21, p. 31-37.
- Rüger, A. y Alkhalifah, T., 1996, Efficient two-dimensional anisotropic ray tracing. *En: Fjaer, E., Holt, R. y S. Rathore*, editores, *Seismic Anisotropy*, Memorias del VI Congreso Internacional de Anisotropía Sísmica, Society of Exploration Geophysicists.
- Siliqi, R. y Bousquidé, N., 2000, Practical approach to anelliptic time processing, *En: Ikelle, L. y Gangi, A.*, editores, *Anisotropy 2000: Fractures, converted waves and case studies*, Memorias del IX Congreso Internacional de Anisotropía Sísmica, Society of Exploration Geophysicists.
- Taner, M.T. y Koehler, F., 1969, Velocity spectra - Digital computer derivation and applications of velocity functions, *Geophysics*, v. 34, 859-881.
- Thomsen, L., 1986, Weak elastic anisotropy, *Geophysics*, v. 51, p. 1954-1966.
- Toldi, J., Alkhalifah, T., Bethet, P., Arnaud, J., Williamson, P., y Conche, B., 1999, Case of study of estimation of anisotropy, *The Leading Edge*, v. 18, p. 588-593.





**Figura 13. (a) CMP corregido usando método de dos pasos ( $V_{NMO}$  y  $\eta$ ). (b) Corrección por NMO no hiperbólico utilizando los parámetros obtenidos del análisis bi-espectral.**

Recepción del manuscrito: 20 de febrero, 2004

Recepción del manuscrito coregido: 25 de marzo, 2004

Aceptación del manuscrito: 30 de marzo, 2004



## SISMICIDAD DEL CENTRO Y SUR DE MÉXICO (PERÍODO JULIO A DICIEMBRE, 2003)

Javier Fco. Pacheco, Casiano Jiménez, Jesús Pérez Santana, Jorge A. Estrada, José L. Cruz, Arturo Cárdenas, Tan Li Yi,  
Maria de los Ángeles Gutiérrez, Bernardino Rubí y José A. Santiago

Servicio Sismológico Nacional  
Instituto de Geofísica, UNAM  
Ciudad Universitaria, Deleg. Coyoacán, México, D.F., 04510, México  
Correo Electrónico: javier@ssn.ssn.unam.mx

### RESUMEN

Se presenta el reporte de sismos localizados por el Servicio Sismológico Nacional para el período julio a diciembre del año 2003, en el centro y sur de México. Durante el semestre se reportaron 493 sismos, concentrados principalmente a lo largo de la costa del Pacífico mexicano, con poca sismicidad en el interior del continente; una alta sismicidad de profundidad intermedia se registró en el Istmo de Tehuantepec y en Chiapas. Los sismos continentales se presentaron en los estados de Durango, Nayarit, Guanajuato, Distrito Federal, Estado de México, Puebla y en el Golfo de México. Varios sismos de magnitud moderada ocurrieron fuera de las costas del Pacífico, en la fractura de Rivera y la entrada del Golfo de California.

### INTRODUCCIÓN

Para efectuar la localización de los temblores que ocurren en el Centro y Sur de México se trabaja con la base de datos y programa SEISAN de Haskov y Ottemöller (1999), que a su vez utiliza el algoritmo de HYPOCENTER de Liernert y Haskov (1995), con el modelo de velocidades de Jeffrey y Bullen (1940). Distintos pesos se asignan a las lecturas de tiempos de llegada para las ondas P y S en los diversos sismogramas. Estas lecturas son las utilizadas para realizar las localizaciones. Debido a la baja densidad de estaciones, la profundidad de los sismos superficiales es pobremente restringida. En caso de que la profundidad no se pueda determinar, se restringe a 5 km para sismos dentro del continente y a 10 km para los sismos en el océano. Debido a que se cuenta únicamente con una estación sísmica en la península de Baja California, la estación LPIG, localizada en La Paz, Baja California Sur, los sismos reportados con latitud mayor o igual a 24° Norte son tomados del catálogo del National Earthquake Information Center (NEIC) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS)(NEIC, 2003).

La determinación de la magnitud se lleva a cabo utilizando la duración de la coda de los registros (Haskov y Macías, 1984). Debido a la saturación de la magnitud de coda para sismos con magnitudes mayores o iguales a 5, este parámetro se determina utilizando los algoritmos para magnitud de amplitud ( $M_A$ ) y de energía ( $M_E$ ) descritos por Singh y Pacheco (1994). En el caso de sismos de importancia, ya sea por haber sido sentidos por una amplia población, por el interés tectónico o simplemente por tener una magnitud mayor a 4.8, se determina el tensor del momento sísmico realizando una inversión de los datos de banda ancha, con los algoritmos descritos por Pacheco y Singh

(1998). Estos algoritmos están basados en el trabajo de Randall et al. (1995). Para generar los sismogramas sintéticos se utiliza la estructura cortical de Campillo et al. (1996) si la trayectoria es básicamente continental y un modelo de corteza oceánica joven de Xu y Wiens (1997) en el caso de tener una trayectoria dominada por la placa del Pacífico. La profundidad de centroide se determina a través de una búsqueda del mejor ajuste entre sismogramas sintéticos y observados, realizada a diferentes profundidades espaciadas cada 5 km.

Para los sismos localizados en el centro-sur de México también se reproducen las soluciones obtenidas por la Universidad de Harvard (2003), a través de su programa de inversión rutinaria del tensor de momento sísmico. Los parámetros de fuente que se listan en la Tabla I, provenientes de Harvard o producto de la inversión del momento sísmico son: la profundidad de centroide, la magnitud de momento sísmico ( $M_w$ ) y el mecanismo de la mejor solución de doble par. Los otros parámetros son tomados de la localización reportada por el SSN o el NEIC (2003).

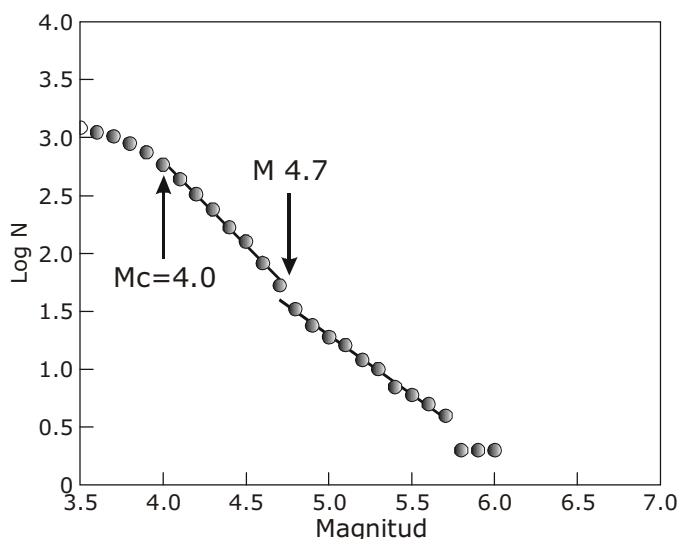
### SISMICIDAD DEL SEGUNDO SEMESTRE DE 2003

Durante todo el año de 2003 se reportaron 1306 temblores ocurridos dentro de la región Centro-Sur de México. En la Figura 1 se muestra la distribución de los sismos reportados durante todo el año de 2003, como una función de la magnitud. Este gráfico nos permite determinar a partir de que magnitud puede decir que el catálogo está completo. La mínima magnitud de "complitud" que se deriva del catálogo es  $M_c$  4.0. A pesar de que el SSN reporta regularmente sismos con magnitudes menores de 4, éstos se localizan en regiones y estados donde la densidad de la red permite localizar este tipo de temblo-

**Tabla 1: Parámetros de fuente.**

N°	Fecha	hrmi	seg.	Lat.	Lon.	Prof.	M <sub>w</sub>	Acim.	Buz.	Desl.	Fuente
<b>Julio</b>											
1	030702	0511	33	23.03	-108.25	5	5.4	215	74	14	SSN
			40	23.11	-108.33	15	5.6	305	82	-173	HRV
2	030717	1957	15	18.76	-106.98	5	5.9	-	-	-	SSN
			25	18.92	-107.37	15	6.0	289	88	177	HRV
3	030721	2353	44	18.47	-101.07	64	5.0	278	61	-100	SSN
			45	18.67	-101.08	62	5.1	289	52	-89	HRV
<b>Agosto</b>											
4	030811	0117	56	18.52	-106.01	5	5.3	309	73	-127	SSN
			57	18.79	-106.49	15	5.6	296	89	-119	HRV
5	030825	2325	01	18.82	-106.57	5	5.7	222	81	63	SSN
			03	18.71	-107.02	15	5.6	122	87	-173	HRV
<b>Noviembre</b>											
6	031119	1350	28	17.86	-99.53	48	5.1	306	44	-52	SSN
			31	17.91	-99.03	69	5.2	277	37	-69	HRV
<b>DICIEMBRE</b>											
7	031215	1039	41	20.30	-99.03	2	4.0	64	34	-95	SSN

HRV: <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>  
 SSN: <http://www.ssn.unam.mx/>



**Figura 1. Distribución del número de sismos (N) con magnitud mayor o igual a M.**

res. Estas regiones son, principalmente, alrededor de la ciudad de México, gracias a la ayuda que presta la red sísmica del Valle de México, y en los estados de Guerrero y Oaxaca, donde la red es más densa. En regiones más al norte y dentro del eje Neovolcánico no hay cobertura suficiente para localizar estos temblores. La misma gráfica presenta un cambio en la distribución de los sismos con la magnitud a un valor de  $M = 4.7$ . Entre 4.7 y 5.7 la curva de la distribución tiene una pendiente  $b = 1.0$ , mientras que entre 4.0 y 4.7 este valor es de  $b = 1.4$ . Este cambio en la distribución de los sismos con la magnitud significa que no hay un buen muestreo de los eventos con magnitudes menores a 4.7. Esta deficiencia en el catálogo puede deberse a una inadecuada distribución de estaciones en el Centro-Sur de México o al algoritmo de determinación de magnitud que se utiliza en ese rango de magnitudes (magnitud coda), o a ambas.

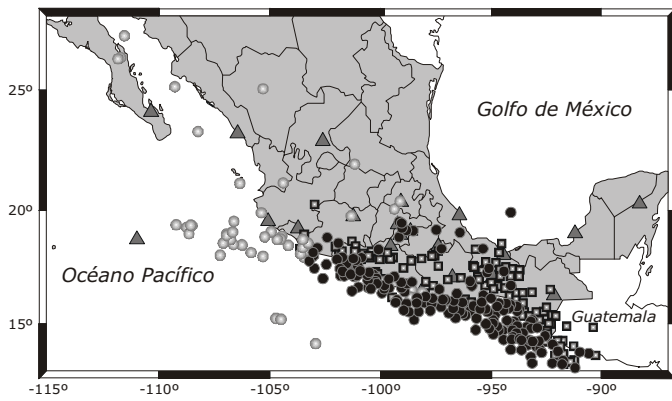
En la Figura 2 se muestra la distribución espacial de los sismos ocurridos durante el segundo semestre del 2003. En total se reportaron 493 eventos con magnitudes distribuidas en-

tre 2.7 y 5.9. Del total reportado, el 64 % se localiza a menos de 40 km de profundidad, mientras que el 34 % restante se distribuye entre los 40 y los 280 km de profundidad. Estos últimos se registran principalmente entre el Istmo de Tehuantepec y en Guatemala. Los sismos de mayor magnitud se localizaron en la fractura de Rivera y alrededores, a la entrada del Golfo de California y frente a las costas de Guatemala. El resto de la sismicidad se concentra frente a las costas de los estados con mejor cobertura o de mayor sismicidad, como son Guerrero, Oaxaca y Chiapas; además continúan durante este semestre las réplicas del sismo de Colima de Enero del 2003.

La tabla 1 presenta los sismos más importantes ocurridos durante el segundo semestre del 2003. En esta tabla se puede leer el tiempo de origen (GMT), la localización, la magnitud de momento sísmico ( $M_w$ ) y su mecanismo focal para el mejor doble par. Los mecanismos focales determinados para los sismos más importantes se muestran en la Figura 3. En la tabla 1 se reproducen todos los mecanismos reportados por la Universidad de Harvard (2003) y aquellos determinados por el SSN (2003).

Las mayores magnitudes reportadas para sismos ocurridos durante este semestre se presentaron frente a las costas de Jalisco, dentro del sistema de fallas de la Fractura de Rivera. En el semestre anterior ya se habían reportado varios sismos de magnitud moderada ocurridos en la fractura de Rivera (Pacheco *et al.*, 2003). Probablemente la alta sismicidad en la fractura de Rivera y sus alrededores se deba a un disparo de sismicidad ocasionado por el sismo de Tecomán de Enero del 2003 ( $M_w = 7.5$ ). Similar situación se presentó durante los meses siguientes al sismo de Manzanillo de Octubre de 1995 ( $M_w = 8.0$ ). El primero de estos sismos presenta un mecanismo de corrimiento de rumbo lateral derecho, el cual concuerda con la expresión de la fractura de Rivera. Este sismo ocurrió el día 17 de Julio, y tiene una magnitud  $M_w = 6.0$ , asignada por la Universidad de Harvard. Un segundo temblor ( $M_w = 5.3$ ) ocurrió el día 11 de Agosto, localizado un poco más al sur del sismo anterior. Este sismo presenta un mecanismo normal con orientación de eje de tensión en la dirección EW, lo que nos hace suponer que su localización se encuentra dentro de la dorsal del Pacífico Este, y se localiza muy cercano a la fractura de Rivera. El último sismo de magnitud moderada ( $M_w = 5.7$ ) registrado en la zona se localiza en el mismo sitio donde se localiza el primer temblor y presenta un mecanismo compresivo, con eje de compresión en una dirección cercana a NS. El mecanismo de Harvard presenta una gran componente de CLVD (Figura 3). Este mecanismo es anómalo y merece un estudio más detallado.

Otro sismo moderado ocurrió el día 2 de Julio en la entrada al Golfo de California. Este sismo se reportó con una magnitud  $M_w$  de 5.4 y presenta un mecanismo de corrimiento de rumbo lateral derecho, lo que lo ubica dentro de la Fractura de Tamayo.

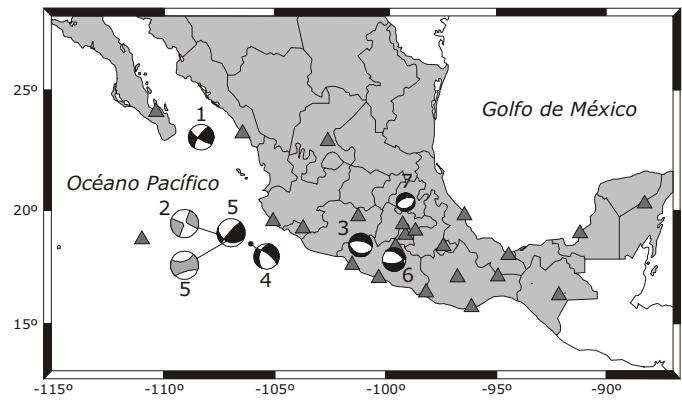


**Figura 2. Sismos reportados durante el segundo semestre del 2003. Los círculos representan eventos superficiales y los cuadros aquellos con profundidades mayores a 40 km. Las estaciones de la red aparecen como triángulos.**

Los otros dos temblores de magnitud moderada ocurrieron dentro de la placa subducida de Cocos, bajo el estado de Guerrero. El primero se localiza bajo el Río Balsas inferior y el segundo bajo Mezcala, Guerrero. Ambos fueron sentidos en la Ciudad de México. Los dos sismos presentan mecanismo de fallamiento normal de eje de tensión alineado con la placa subducida. El primero ocurrió el día 21 de Julio y se reportó con magnitud 5.0 y el segundo se reportó con magnitud 5.1 y ocurrió el día 19 de Noviembre. El sismo de Julio se localizó a 64 km de profundidad, mientras que el sismo de Noviembre se localizó a sólo 48 km de profundidad. Un resultado interesante de este estudio es que a pesar de encontrarse ambos sismos casi a la misma distancia de la costa, separados entre sí por 180 km, sus profundidades difieren en más de 15 km. Aquí sugerimos dos explicaciones: la primera es que estos sismos corresponden, el primero a un sismo localizado bajo la corteza oceánica y el otro en la corteza oceánica. La segunda explicación, más probable en vista de los resultados de Pardo y Suárez (1999), es que la geometría de la placa cambia significativamente entre la cuenca del río Balsas inferior y Mezcala, volviéndose más subhorizontal bajo Mezcala.

El resto de la sismicidad se distribuye a todo lo largo de la costa del Pacífico Sur mexicano, desde Jalisco hasta Chiapas, con gran actividad sísmica de profundidad intermedia bajo el Istmo de Tehuantepec y Chiapas. Se reportaron algunos sismos profundos con magnitudes moderadas en Guatemala y cerca de la frontera de México con Guatemala.

Dentro del eje neovolcánico mexicano se registraron varios sismos de magnitudes menores a 4.5. Dos secuencias sísmicas de importancia ocurrieron en los estados de Puebla y de México. La primera secuencia se localizó al noroeste de ciudad Serdán con tres sismos reportados el 16 de Agosto, de magnitudes 3.5 y 3.6. Estos sismos no se reportaron sentidos. La otra secuencia de importancia ocurrió en Noviembre, en San Pedro Azompa, estado de México, muy cerca de Juchitepec. El 11 de Noviembre se registraron dos temblores de magnitudes 3.1 y 3.3. El 16 se reportaron otros dos temblores con magnitudes 3.2 y 4.0. Este último fue sentido fuertemente en toda la región y causó daños



**Figura 3. Mecanismos focales de sismos importantes (Tabla 1) ocurridos durante el segundo semestre del 2003 (mecanismos en negro). Mecanismos en gris son tomados de los reportes de la Universidad de Harvard.**

en una unidad habitacional de Ixtapaluca. Estos temblores son similares en mecanismo al sismo reportado, en la misma región, por UNAM and CENAPRED Seismology Group (1995). También en la ciudad de México se reportó la ocurrencia de tres temblores, dos de ellos en el valle de Texcoco, el 2 y el 22 de Noviembre, con magnitudes 3.4 y 3.1 respectivamente, y un tercero en la Delegación de Iztapalapa, el 26 de Noviembre, de magnitud 3.6.

Aparte de las secuencias sísmicas en el eje volcánico, se presentaron varios sismos continentales en diversas regiones de México. El 29 de Julio ocurrió un sismo en el estado de Durango de magnitud 4.5. Desgraciadamente no existen sismógrafos cercanos a este evento que permitan un estudio más detallado de las características del sismo. El 2 de Octubre se reportó un sismo de magnitud 3.9, cercano a la ciudad de Pénjamo, en el estado de Guanajuato. El 5 de Diciembre se reportó un sismo de magnitud 4.3 muy cerca de la ciudad de Morelia, estado de Michoacán; sin embargo, este sismo no fue reportado sentido por la población. El 15 de Diciembre se registró un sismo, de magnitud  $M_w$  4.0, en el estado de Hidalgo, que por el mecanismo (Evento 7 de la tabla 1) y localización, está asociado a las fallas en el graben del Mezquital. El mecanismo para este sismo se obtuvo siguiendo la metodología de Singh y otros (2000), debido a su cercanía a la estación DHIG localizada en la comunidad de Demacú, Hidalgo. Por último, el 30 de Diciembre se reportó un sismo de magnitud 3.6 al sur del estado de Nayarit.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de la secretaria Enedina Martínez en la elaboración de este reporte, el cual es posible gracias al proyecto L001 del Instituto de Geofísica de la UNAM.



## REFERENCIAS

- Campillo, M., S.K. Singh, N. Shapiro, J. Pacheco, and R.B. Hermann, 1996. Crustal structure of the Mexican volcanic belt, based on group velocity dispersion. *Geofísica Internacional*, 35, No.4, 361-370.
- Harvard Centroid Moment Tensor Solution, CMTS project, 2003. <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>.
- Havskov, J., and M. Macías, 1983. A coda-length magnitude scale for some Mexican stations, *Geofísica Internacional*, 22, 205-213.
- Havskov, J., and L. Ottemöller, 1999. Seisan earthquake analysis software, *Seism. Res. Lett.*, 70, 532-534.
- Jeffreys, H., and K.E. Bullen, 1940. Seismological Tables, British Association Seismological Committee, London.
- Lienart, B.R., and J. Haskov, 1995. A computer program for locating earthquakes both locally and globally, *Seism. Res. Lett.*, 66, 26-36.
- National Earthquake Information Center, NEIC earthquake reports, 2003. <http://earthquake.usgs.gov/activity/past.html>.
- Pacheco, J.F., and S.K. Singh, 1998. Source parameters of two moderate earthquakes estimated from a single-station, near-source recording, and from MT inversion of regional data: A comparison of results, *Geofísica Internacional*, 37, 95-102.
- Pacheco, J.F., C. Jiménez, A. Iglesias, J. Pérez-Santana, S. I. Franco, J. A. Estrada, J. L. Cruz, A. Cárdenas, T. L. Yi, M. de los A. Gutiérrez, B. Rubí y J.A. Santiago, 2003. Sismicidad del Centro y Sur de México (periodo Enero a Junio, 2003). *GEOS*, 23, 28-36.
- Pardo, M., and G. Suárez, 1995. Shape of the subducted Rivera and Cocos Plates in Southern México: Seismic and Tectonic Implications. *J. Geophys. Res.*, 100, 12,357-12,373.
- Randall, G.E., C. J. Ammon, and T.J. Owens, 1995. Moment tensor estimation using regional seismograms from a Tibetan plateau portable network deployment. *Geophys. Res. Lett.*, 22, 1665-1668.
- Singh, S.K. and J.F. Pacheco, 1994. Magnitude of Mexican earthquakes, *Geofísica Internacional*, 33, 189-198.
- Singh, S.K., M. Ordaz, J.F. Pacheco, and F. Courboux, 2000. A simple source inversion scheme for displacement seismograms recorded at short distances. *Journal of Seismology*, 4, 267-284.
- UNAM and CENAPRED Seismology Group, 1995. The Milpa Alta earthquake of January 21, 1995. *Geofísica Internacional*, 34, 355-362.

Recepción del manuscrito: 19 de abril, 2004

Aceptación del manuscrito: 21 de abril, 2004

**Tabla 2. Sismicidad reportada por el Servicio Sismológico Nacional durante el segundo semestre del 2003.**

Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof.	Mag.	Región Epicentral
<b>JULIO</b>						
01/07/03	15:07:01	16.22N	97.63W	6	3.7	Oaxaca
01/07/03	15:24:09	16.05N	97.60W	16	4.0	Oaxaca
02/07/03	05:11:38	23.29N	108.16W	16	5.4	Golfo de California Sur
02/07/03	22:14:53	16.06N	98.50W	2	4.1	Costa Guerrero-Oaxaca
03/07/03	09:53:45	16.89N	100.27W	3	3.7	Costa de Guerrero
03/07/03	10:17:15	31.69N	116.02W	6	3.6	Baja California
03/07/03	19:09:23	17.72N	94.99W	125	3.8	Istmo de Tehuantepec
04/07/03	00:35:33	16.08N	96.96W	28	3.8	Oaxaca
04/07/03	17:15:27	17.91N	101.87W	24	4.0	Costa de Guerrero
04/07/03	17:36:40	16.59N	99.57W	11	3.9	Costa de Guerrero
04/07/03	23:42:43	15.78N	95.53W	49	4.0	Golfo de Tehuantepec
05/07/03	02:17:52	28.02N	112.71W	10	3.7	Golfo de California
05/07/03	12:44:47	15.86N	94.32W	20	4.0	Golfo de Tehuantepec
05/07/03	12:55:07	18.81N	99.10W	4	3.5	Taxco-Iguala
05/07/03	22:50:37	15.45N	92.26W	184	4.5	Costa de Chiapas
06/07/03	00:16:21	16.14N	97.61W	23	3.8	Oaxaca
07/07/03	09:13:49	16.65N	99.03W	6	3.4	Costa de Guerrero
07/07/03	20:27:50	16.35N	98.47W	18	3.6	Costa Guerrero-Oaxaca
07/07/03	22:28:25	17.05N	102.52W	15	3.7	Costa Guerrero-Michoacán
08/07/03	03:57:28	15.95N	97.61W	20	3.8	Costa de Oaxaca
08/07/03	06:25:46	16.08N	97.61W	16	3.7	Oaxaca
08/07/03	16:34:08	17.51N	94.84W	141	4.6	Istmo de Tehuantepec
08/07/03	17:55:33	16.89N	100.25W	7	3.3	Costa de Guerrero
09/07/03	01:56:44	15.96N	94.25W	20	3.6	Golfo de Tehuantepec
09/07/03	11:05:28	17.14N	95.13W	102	3.7	Veracruz-Oaxaca
09/07/03	20:50:29	15.57N	92.95W	130	4.1	Costa de Chiapas
10/07/03	03:38:48	16.95N	100.18W	10	3.5	Costa de Guerrero
10/07/03	03:40:56	16.92N	100.25W	21	2.7	Costa de Guerrero
10/07/03	07:54:25	15.80N	94.54W	42	4.4	Golfo de Tehuantepec
10/07/03	10:52:23	16.94N	100.24W	16	3.2	Costa de Guerrero
11/07/03	07:51:52	14.81N	92.68W	103	4.3	Costa México-Guatemala
11/07/03	10:27:07	14.97N	94.70W	16	4.3	Golfo de Tehuantepec
11/07/03	14:04:18	14.83N	93.15W	30	3.9	Golfo de Tehuantepec
11/07/03	14:45:21	19.38N	109.15W	10	4.3	Cordillera Pacífico Oriental
11/07/03	15:14:58	13.98N	92.73W	18	4.5	Costa México-Guatemala
12/07/03	06:37:57	16.07N	93.86W	79	3.9	Chiapas
12/07/03	07:07:49	16.96N	100.17W	7	3.4	Costa de Guerrero
12/07/03	08:05:24	16.50N	101.23W	4	3.6	Costa de Guerrero
12/07/03	13:18:58	16.96N	100.16W	5	3.5	Costa de Guerrero
13/07/03	05:19:19	17.62N	94.55W	115	3.6	Istmo de Tehuantepec
14/07/03	04:07:56	14.28N	93.02W	20	4.2	Golfo de Tehuantepec
14/07/03	05:19:15	16.37N	99.86W	1	3.9	Costa de Guerrero
14/07/03	08:09:22	15.36N	93.97W	40	4.0	Costa de Chiapas
14/07/03	10:42:22	15.23N	93.95W	35	4.3	Costa de Chiapas
14/07/03	22:40:16	14.84N	92.47W	125	4.1	Costa México-Guatemala
16/07/03	06:57:08	16.03N	98.37W	5	4.0	Costa Guerrero-Oaxaca
17/07/03	19:57:13	18.57N	107.03W	4	5.9	Océano Pacífico
17/07/03	20:01:42	18.96N	106.87W	8	4.1	Costa de Jalisco
18/07/03	01:47:49	17.29N	100.88W	15	3.5	Guerrero
18/07/03	02:59:13	15.84N	97.29W	16	4.2	Costa de Oaxaca
18/07/03	04:10:56	18.49N	106.60W	33	3.6	Costa de Jalisco
19/07/03	12:44:09	17.98N	102.98W	15	4.1	Costa Guerrero-Michoacán
19/07/03	17:12:06	14.75N	92.77W	108	4.1	Costa México-Guatemala
20/07/03	04:17:25	15.16N	92.53W	126	4.2	Costa de Chiapas
20/07/03	07:46:30	16.97N	100.19W	4	3.9	Costa de Guerrero
21/07/03	23:53:44	18.44N	101.05W	77	5.0	Río Balsas Inferior
22/07/03	17:02:33	15.25N	92.82W	183	4.3	Costa de Chiapas
23/07/03	17:03:30	17.96N	103.40W	16	3.9	Costa de Michoacán
23/07/03	19:03:24	16.35N	97.90W	41	3.6	Oaxaca
24/07/03	01:39:08	16.04N	94.23W	233	3.9	Istmo de Tehuantepec
25/07/03	01:19:36	17.51N	101.29W	49	4.4	Costa de Guerrero
25/07/03	05:56:07	17.06N	100.71W	10	3.5	Guerrero
25/07/03	08:07:11	14.60N	92.44W	130	4.7	Costa México-Guatemala
26/07/03	01:52:03	19.09N	98.47W	1	3.6	Eje Volcánico Oriental
26/07/03	06:15:34	15.63N	93.70W	49	3.9	Costa de Chiapas
26/07/03	19:21:15	16.98N	100.09W	4	3.5	Costa de Guerrero
27/07/03	12:57:53	18.00N	97.51W	67	3.7	Puebla
27/07/03	14:07:07	17.54N	95.72W	122	3.8	Veracruz-Oaxaca
28/07/03	02:14:08	14.73N	94.00W	20	4.0	Golfo de Tehuantepec
28/07/03	05:04:43	18.93N	103.36W	81	3.8	Costa de Michoacán
29/07/03	07:09:54	16.67N	99.67W	4	4.3	Costa de Guerrero
29/07/03	21:52:45	25.05N	105.23W	20	4.5	Durango
30/07/03	01:53:09	17.21N	101.15W	16	3.5	Costa de Guerrero
30/07/03	06:00:18	18.27N	103.24W	10	4.0	Costa de Michoacán
30/07/03	09:38:13	15.17N	93.98W	5	4.1	Costa de Chiapas
31/07/03	01:37:07	18.01N	97.62W	63	3.4	Puebla
31/07/03	01:49:27	16.91N	100.17W	9	3.4	Costa de Guerrero
31/07/03	12:40:29	17.37N	94.02W	171	3.9	Istmo de Tehuantepec
31/07/03	22:42:56	16.22N	98.44W	20	3.5	Costa Guerrero-Oaxaca
<b>AGOSTO</b>						
01/08/03	13:56:47	17.40N	94.86W	127	4.0	Istmo de Tehuantepec
01/08/03	21:49:24	18.58N	103.22W	9	4.0	Costa de Michoacán
02/08/03	03:34:42	15.83N	95.78W	16	4.3	Golfo de Tehuantepec

Tabla 2. Continuación

Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof.	Mag.	Región Epicentral
02/08/03	20:41:19	17.50N	102.94W	16	4.3	Costa Guerrero-Michoacán
03/08/03	21:39:12	17.74N	101.36W	53	3.6	Costa de Guerrero
04/08/03	09:56:26	14.57N	94.45W	11	4.2	Golfo de Tehuantepec
04/08/03	18:25:21	17.30N	100.88W	13	3.4	Guerrero
04/08/03	20:59:39	16.89N	100.55W	15	3.5	Costa de Guerrero
05/08/03	04:13:16	18.10N	101.84W	44	3.8	Río Balsas Inferior
05/08/03	11:02:36	16.98N	100.19W	8	3.8	Costa de Guerrero
05/08/03	15:10:03	16.44N	93.56W	120	4.2	Chiapas
05/08/03	19:34:38	17.95N	100.42W	74	3.9	Guerrero
05/08/03	21:52:25	17.82N	98.59W	83	3.8	Guerrero-Oaxaca
05/08/03	22:31:11	18.57N	103.27W	27	4.0	Costa de Michoacán
06/08/03	21:06:34	15.72N	95.22W	10	4.0	Golfo de Tehuantepec
07/08/03	01:47:50	17.82N	101.04W	27	4.0	Costa de Guerrero
07/08/03	11:31:44	16.86N	100.35W	8	3.9	Costa de Guerrero
07/08/03	19:35:32	13.95N	93.25W	20	4.7	Costa México-Guatemala
07/08/03	22:27:07	17.03N	100.05W	11	3.6	Guerrero
08/08/03	01:39:15	17.09N	94.02W	165	4.1	Istmo de Tehuantepec
08/08/03	20:43:13	17.87N	98.09W	88	3.6	Guerrero-Oaxaca
10/08/03	05:04:39	14.14N	92.90W	95	4.7	Costa México-Guatemala
10/08/03	18:19:04	17.99N	105.25W	20	4.5	Costa de Michoacán
11/08/03	01:17:55	18.50N	106.16W	10	5.3	Costa de Jalisco
11/08/03	02:14:25	18.47N	104.14W	30	3.8	Costa Colima
11/08/03	12:17:10	18.50N	106.18W	10	4.5	Costa de Jalisco
12/08/03	17:54:55	16.78N	95.07W	97	3.8	Oaxaca
13/08/03	07:51:08	18.12N	94.57W	88	3.9	Sur de Veracruz
13/08/03	08:27:25	18.92N	106.88W	10	3.9	Costa de Jalisco
13/08/03	09:25:49	13.93N	93.52W	14	4.4	Costa México-Guatemala
13/08/03	10:08:09	18.58N	101.86W	67	4.1	Río Balsas Inferior
13/08/03	13:17:27	16.27N	98.07W	10	3.8	Costa Guerrero-Oaxaca
13/08/03	14:18:48	14.87N	90.38W	284	4.7	Guatemala
14/08/03	05:56:22	17.44N	93.72W	204	4.0	Istmo de Tehuantepec
14/08/03	09:29:34	16.05N	96.65W	11	3.8	Oaxaca
14/08/03	16:57:25	15.72N	98.89W	8	4.3	Costa de Oaxaca
14/08/03	20:34:56	19.25N	108.66W	10	4.0	Costa de Jalisco
15/08/03	09:44:39	28.15N	113.22W	10	4.9	Baja California
15/08/03	11:29:59	16.90N	100.12W	12	3.3	Costa de Guerrero
15/08/03	16:20:34	17.88N	101.14W	17	3.5	Costa de Guerrero
15/08/03	18:51:49	15.95N	97.93W	6	3.9	Costa de Oaxaca
15/08/03	21:25:01	17.56N	97.36W	47	3.5	Oaxaca
16/08/03	00:35:09	14.72N	94.43W	20	4.0	Golfo de Tehuantepec
16/08/03	02:34:56	16.83N	100.18W	20	3.4	Costa de Guerrero
16/08/03	05:48:45	15.76N	98.88W	7	4.3	Costa de Oaxaca
16/08/03	05:58:29	15.62N	98.89W	19	3.7	Costa de Oaxaca
16/08/03	07:10:22	19.86N	94.06W	34	4.1	Costa Veracruz
16/08/03	11:58:03	19.16N	97.43W	9	3.6	Eje Volcánico Oriental
16/08/03	12:10:01	19.14N	97.41W	11	3.5	Eje Volcánico Oriental
16/08/03	12:14:47	19.14N	97.42W	11	3.5	Eje Volcánico Oriental
17/08/03	01:26:59	17.25N	95.11W	120	3.7	Veracruz-Oaxaca
17/08/03	03:38:27	16.78N	100.15W	5	3.4	Costa de Guerrero
17/08/03	06:32:37	17.24N	100.25W	10	3.3	Guerrero
17/08/03	10:07:15	18.19N	94.65W	105	3.8	Sur de Veracruz
17/08/03	12:01:36	15.67N	98.90W	16	4.1	Costa de Oaxaca
17/08/03	19:43:58	16.45N	94.94W	78	4.0	Istmo de Tehuantepec
17/08/03	20:05:22	18.96N	108.56W	10	4.0	Océano Pacífico
18/08/03	21:13:59	17.31N	95.39W	106	3.7	Veracruz-Oaxaca
19/08/03	03:59:43	15.58N	98.24W	16	3.8	Costa de Oaxaca
19/08/03	07:17:11	16.90N	100.12W	9	3.7	Costa de Guerrero
19/08/03	17:25:25	13.96N	93.24W	20	4.0	Costa México-Guatemala
19/08/03	20:19:59	17.04N	100.10W	8	3.5	Guerrero
19/08/03	22:49:38	16.01N	98.15W	20	4.2	Costa Guerrero-Oaxaca
20/08/03	19:06:19	16.63N	94.28W	116	4.5	Istmo de Tehuantepec
21/08/03	00:18:05	16.86N	100.13W	8	3.9	Costa de Guerrero
21/08/03	09:25:23	15.59N	95.87W	15	4.0	Golfo de Tehuantepec
22/08/03	01:28:19	17.33N	94.99W	48	4.1	Istmo de Tehuantepec
22/08/03	18:09:45	17.27N	95.13W	32	4.6	Veracruz-Oaxaca
22/08/03	19:10:44	15.18N	94.27W	20	4.6	Golfo de Tehuantepec
22/08/03	20:25:58	13.97N	93.00W	18	4.4	Costa México-Guatemala
23/08/03	09:02:54	16.84N	94.90W	56	3.8	Istmo de Tehuantepec
23/08/03	14:00:06	15.73N	93.70W	16	3.8	Costa de Chiapas
24/08/03	12:50:35	16.63N	94.27W	115	3.7	Istmo de Tehuantepec
24/08/03	15:40:30	17.75N	95.20W	137	3.9	Veracruz-Oaxaca
25/08/03	06:09:41	18.51N	104.11W	10	3.9	Costa Colima
25/08/03	06:28:32	14.08N	91.30W	193	5.5	Guatemala
25/08/03	09:57:14	19.03N	106.60W	7	3.9	Costa de Jalisco
25/08/03	16:39:33	14.92N	93.79W	6	4.4	Golfo de Tehuantepec
25/08/03	23:25:03	18.73N	106.69W	16	5.7	Costa de Jalisco
26/08/03	09:51:50	18.16N	105.77W	33	4.6	Costa Colima
26/08/03	12:53:06	13.47N	91.23W	92	4.7	Costa Guatemala
26/08/03	22:42:03	17.41N	93.99W	178	4.2	Istmo de Tehuantepec
27/08/03	14:48:18	17.29N	94.47W	134	3.7	Istmo de Tehuantepec
28/08/03	00:09:48	16.04N	94.87W	15	3.7	Istmo de Tehuantepec
28/08/03	07:49:46	15.82N	98.59W	16	3.5	Costa de Oaxaca
29/08/03	02:43:04	15.90N	98.54W	20	4.1	Costa de Oaxaca
29/08/03	03:09:57	13.29N	91.67W	45	4.8	Costa Guatemala
30/08/03	03:43:40	15.23N	93.07W	37	4.1	Costa de Chiapas

Tabla 2. Continuación

Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof.	Mag.	Región Epicentral
30/08/03	06:31:29	18.19N	100.26W	58	3.5	Alto Río Balsas
30/08/03	08:26:11	16.54N	99.73W	5	3.6	Costa de Guerrero
30/08/03	16:04:30	15.49N	96.85W	20	3.6	Costa de Oaxaca
30/08/03	16:08:01	16.23N	99.42W	100	3.8	Costa de Guerrero
30/08/03	16:08:01	15.98N	99.33W	8	3.8	Costa de Guerrero
31/08/03	04:12:50	17.31N	95.22W	97	3.8	Veracruz-Oaxaca
<b>SEPTIEMBRE</b>						
03/09/03	00:08:02	16.90N	100.17W	2	3.4	Costa de Guerrero
03/09/03	07:41:59	15.21N	93.62W	127	4.1	Costa de Chiapas
03/09/03	12:51:07	15.95N	97.55W	11	4.0	Costa de Oaxaca
03/09/03	13:29:42	18.04N	107.22W	33	3.7	Océano Pacífico
03/09/03	15:14:25	16.20N	93.80W	210	4.1	Chiapas
03/09/03	15:14:46	16.90N	99.85W	40	3.5	Costa de Guerrero
03/09/03	16:09:10	15.91N	97.45W	10	4.0	Costa de Oaxaca
04/09/03	01:00:30	18.63N	101.24W	77	3.8	Río Balsas Inferior
04/09/03	11:16:16	14.07N	93.75W	13	4.4	Golfo de Tehuantepec
04/09/03	14:25:20	16.78N	99.80W	2	3.9	Costa de Guerrero
05/09/03	05:33:14	15.72N	95.45W	10	4.1	Golfo de Tehuantepec
05/09/03	07:21:41	15.60N	93.49W	90	3.9	Costa de Chiapas
06/09/03	04:54:33	14.06N	91.79W	140	4.5	Guatemala
06/09/03	09:14:41	25.13N	109.22W	10	3.7	Golfo de California Sur
06/09/03	19:53:02	16.15N	98.09W	3	3.9	Costa Guerrero-Oaxaca
07/09/03	03:35:47	15.55N	93.88W	40	3.8	Costa de Chiapas
07/09/03	06:34:33	17.38N	101.41W	29	4.1	Costa de Guerrero
07/09/03	17:34:23	15.98N	97.33W	16	4.0	Costa de Oaxaca
08/09/03	13:07:53	17.18N	94.97W	81	4.0	Istmo de Tehuantepec
09/09/03	11:30:36	15.12N	93.96W	20	3.9	Costa de Chiapas
09/09/03	18:43:42	18.82N	102.35W	18	4.0	Costa de Michoacán
09/09/03	23:07:21	30.16N	114.11W	10	3.8	Golfo de California
09/09/03	23:41:48	30.26N	114.07W	10	3.9	Golfo de California
10/09/03	11:26:44	30.64N	113.54W	10	3.7	Golfo de California
10/09/03	11:26:49	16.68N	100.98W	7	3.9	Costa de Guerrero
11/09/03	12:43:46	16.83N	99.03W	12	4.1	Costa de Guerrero
11/09/03	21:57:11	15.36N	92.10W	164	4.6	Costa de Chiapas
12/09/03	03:11:09	16.32N	98.94W	19	4.4	Costa Guerrero-Oaxaca
12/09/03	12:29:32	16.83N	100.14W	13	3.6	Costa de Guerrero
13/09/03	12:29:16	16.83N	98.75W	16	3.6	Costa Guerrero-Oaxaca
13/09/03	13:08:24	16.22N	94.94W	9	3.7	Istmo de Tehuantepec
14/09/03	12:48:36	15.06N	92.26W	135	4.1	Costa de Chiapas
14/09/03	14:49:58	17.33N	101.29W	2	3.9	Costa de Guerrero
16/09/03	07:07:21	15.98N	98.20W	17	3.6	Costa de Oaxaca
16/09/03	15:33:25	15.92N	98.51W	16	3.7	Costa de Oaxaca
17/09/03	00:25:17	16.90N	94.02W	134	4.6	Istmo de Tehuantepec
17/09/03	00:57:02	13.29N	91.75W	2	4.5	Costa Guatemala
17/09/03	16:46:21	17.23N	101.09W	13	4.1	Costa de Guerrero
17/09/03	18:20:52	15.48N	94.07W	16	4.1	Golfo de Tehuantepec
18/09/03	12:08:51	17.38N	94.35W	132	3.8	Istmo de Tehuantepec
18/09/03	13:59:01	17.02N	99.94W	41	4.1	Guerrero
18/09/03	20:41:05	16.74N	95.86W	16	3.7	Oaxaca
19/09/03	13:34:38	16.95N	95.18W	97	3.9	Oaxaca
20/09/03	19:10:34	14.78N	94.47W	10	4.5	Golfo de Tehuantepec
21/09/03	07:38:54	18.29N	103.56W	49	4.6	Costa de Michoacán
22/09/03	16:28:53	16.40N	98.89W	16	3.8	Costa Guerrero-Oaxaca
22/09/03	18:57:04	16.09N	97.48W	10	3.9	Oaxaca
23/09/03	02:04:14	16.85N	100.33W	11	3.5	Costa de Guerrero
23/09/03	06:37:23	17.11N	99.34W	26	3.8	Guerrero
23/09/03	13:27:51	15.62N	98.65W	16	4.1	Costa de Oaxaca
24/09/03	05:00:03	16.80N	99.93W	9	3.9	Costa de Guerrero
24/09/03	08:03:13	17.88N	99.98W	62	3.6	Guerrero
24/09/03	18:40:11	14.34N	92.80W	20	4.2	Costa México-Guatemala
24/09/03	23:01:43	17.19N	101.71W	3	3.9	Costa de Guerrero
24/09/03	23:19:10	17.21N	101.67W	7	3.7	Costa de Guerrero
25/09/03	05:10:31	15.85N	93.84W	7	3.9	Costa de Chiapas
25/09/03	06:03:23	19.86N	105.33W	20	3.9	Costa de Jalisco
25/09/03	09:54:25	17.42N	94.84W	135	4.6	Istmo de Tehuantepec
26/09/03	01:53:36	19.47N	99.07W	8	2.9	Eje Volcánico Central
26/09/03	03:17:43	19.49N	99.08W	4	2.9	Eje Volcánico Central
27/09/03	03:32:35	15.73N	92.52W	198	4.2	Costa de Chiapas
27/09/03	03:47:08	18.25N	100.01W	39	3.8	Alto Río Balsas
27/09/03	20:08:02	17.82N	94.74W	168	3.8	Istmo de Tehuantepec
28/09/03						

Tabla 2. Continuación

Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof.	Mag.	Región Epicentral
02/10/03	21:58:44	17.23N	101.28W	31	4.1	Costa de Guerrero
02/10/03	23:42:34	21.94N	101.12W	15	3.9	Guanajuato-Jalisco
03/10/03	03:29:45	17.12N	95.61W	107	4.3	Veracruz-Oaxaca
03/10/03	06:32:20	16.95N	100.67W	4	3.8	Costa de Guerrero
03/10/03	07:50:29	16.20N	98.09W	12	4.4	Costa Guerrero-Oaxaca
03/10/03	08:13:11	16.62N	99.57W	26	3.7	Costa de Guerrero
03/10/03	21:38:44	13.91N	93.07W	20	4.1	Costa México-Guatemala
03/10/03	21:42:52	15.96N	98.28W	4	3.9	Costa de Oaxaca
03/10/03	21:47:03	14.11N	93.31W	20	4.1	Golfo de Tehuantepec
03/10/03	22:54:05	18.71N	103.44W	39	3.7	Costa de Michoacán
03/10/03	23:37:29	14.28N	92.61W	183	4.1	Costa México-Guatemala
04/10/03	02:09:48	16.93N	100.25W	4	3.7	Costa de Guerrero
04/10/03	04:35:40	17.09N	101.13W	16	3.5	Costa de Guerrero
04/10/03	08:58:03	15.87N	96.49W	32	3.7	Costa de Oaxaca
04/10/03	09:26:05	16.82N	94.65W	255	3.9	Istmo de Tehuantepec
04/10/03	10:21:14	15.99N	97.51W	14	4.0	Costa de Oaxaca
04/10/03	12:51:18	16.93N	100.15W	27	4.0	Costa de Guerrero
05/10/03	09:22:20	17.31N	94.61W	114	3.9	Istmo de Tehuantepec
07/10/03	05:45:48	18.18N	97.36W	59	3.8	Puebla
07/10/03	10:04:02	17.17N	94.93W	92	3.9	Istmo de Tehuantepec
07/10/03	15:51:22	16.44N	93.57W	107	4.5	Chiapas
07/10/03	17:35:50	32.53N	117.12W	15	3.6	Costa W de B C
08/10/03	00:10:17	17.29N	95.16W	124	3.9	Veracruz-Oaxaca
08/10/03	07:38:05	15.93N	97.99W	38	3.8	Costa de Oaxaca
09/10/03	07:54:28	16.44N	93.83W	131	3.8	Chiapas
09/10/03	08:04:18	16.03N	99.06W	20	4.2	Costa de Guerrero
09/10/03	15:29:14	16.77N	94.11W	4	3.8	Istmo de Tehuantepec
09/10/03	22:38:17	19.04N	104.87W	19	3.5	Costa Jalisco-Colima
10/10/03	00:06:14	14.31N	92.70W	81	4.2	Costa México-Guatemala
10/10/03	12:19:38	13.13N	91.20W	33	4.5	Costa Guatemala
10/10/03	15:15:56	14.95N	93.39W	25	4.1	Golfo de Tehuantepec
11/10/03	14:24:14	17.12N	94.49W	88	4.0	Istmo de Tehuantepec
12/10/03	19:41:46	14.38N	94.40W	39	4.3	Golfo de Tehuantepec
13/10/03	05:34:51	16.59N	98.56W	5	4.2	Costa Guerrero-Oaxaca
13/10/03	06:12:17	16.87N	95.14W	130	4.1	Oaxaca
13/10/03	09:06:30	20.22N	102.94W	63	4.2	Michoacán-Jalisco
13/10/03	12:04:41	16.55N	94.23W	114	3.9	Istmo de Tehuantepec
14/10/03	02:32:47	19.04N	96.41W	16	3.8	Costa Norte de Veracruz
14/10/03	11:54:10	18.82N	105.16W	21	4.0	Costa Colima
15/10/03	03:43:39	19.12N	98.77W	36	3.2	Eje Volcánico Oriental
15/10/03	04:35:02	16.08N	97.58W	16	3.9	Oaxaca
15/10/03	06:31:35	16.98N	100.54W	7	3.7	Costa de Guerrero
15/10/03	06:38:18	17.14N	100.55W	8	3.5	Guerrero
15/10/03	06:42:13	17.31N	100.38W	4	3.5	Guerrero
16/10/03	03:28:09	18.33N	95.69W	40	3.6	Sur de Veracruz
17/10/03	04:06:49	16.97N	99.67W	34	3.8	Costa de Guerrero
17/10/03	07:55:45	16.98N	94.19W	182	3.8	Istmo de Tehuantepec
17/10/03	20:43:03	16.36N	96.47W	31	3.8	Oaxaca
17/10/03	22:05:14	14.80N	95.66W	20	4.4	Golfo de Tehuantepec
18/10/03	05:29:27	14.70N	93.81W	34	4.1	Golfo de Tehuantepec
18/10/03	08:09:46	16.19N	98.63W	10	3.7	Costa Guerrero-Oaxaca
18/10/03	08:40:00	15.87N	98.76W	16	3.9	Costa de Oaxaca
18/10/03	09:55:17	15.68N	98.67W	7	3.9	Costa de Oaxaca
19/10/03	01:45:09	15.77N	93.72W	45	3.9	Costa de Chiapas
19/10/03	06:30:08	13.35N	91.40W	70	4.3	Costa Guatemala
19/10/03	09:04:37	15.60N	93.79W	12	4.0	Costa de Chiapas
19/10/03	13:33:37	15.73N	96.68W	9	3.6	Costa de Oaxaca
19/10/03	13:37:44	13.64N	90.27W	122	4.5	Costa Guatemala
19/10/03	17:31:14	18.01N	101.66W	28	3.9	Río Balsas Inferior
19/10/03	19:59:41	17.01N	99.62W	34	3.5	Guerrero
20/10/03	07:34:51	13.47N	91.75W	32	4.1	Costa Guatemala
20/10/03	17:28:35	14.11N	93.67W	26	4.1	Golfo de Tehuantepec
20/10/03	21:26:59	18.35N	95.33W	16	3.8	Sur de Veracruz
21/10/03	06:19:21	16.98N	100.21W	25	3.8	Costa de Guerrero
21/10/03	08:56:21	18.16N	103.26W	7	3.9	Costa de Michoacán
21/10/03	11:07:10	16.25N	98.13W	38	3.8	Costa Guerrero-Oaxaca
21/10/03	20:46:18	16.24N	98.31W	17	3.8	Costa Guerrero-Oaxaca
22/10/03	16:44:29	13.95N	94.06W	32	4.7	Golfo de Tehuantepec
23/10/03	04:23:45	14.46N	93.95W	10	4.1	Golfo de Tehuantepec
23/10/03	04:49:35	14.39N	94.00W	8	4.2	Golfo de Tehuantepec
23/10/03	23:09:53	17.11N	101.58W	23	3.7	Costa de Guerrero
24/10/03	15:34:02	17.05N	95.19W	101	3.8	Veracruz-Oaxaca
24/10/03	16:41:35	16.89N	97.87W	105	3.5	Oaxaca
25/10/03	01:54:20	16.96N	96.90W	94	3.6	Oaxaca
25/10/03	10:40:19	17.80N	100.94W	42	3.4	Guerrero
25/10/03	15:54:30	16.27N	98.26W	5	3.7	Costa Guerrero-Oaxaca
25/10/03	21:47:18	18.34N	97.25W	6	3.5	Puebla
26/10/03	01:08:34	15.92N	97.22W	14	3.7	Costa de Oaxaca
26/10/03	05:42:24	17.38N	101.71W	26	3.5	Costa de Guerrero
27/10/03	09:14:47	18.04N	103.53W	20	3.8	Costa de Michoacán
28/10/03	00:41:09	18.14N	100.60W	44	3.8	Alto Río Balsas
28/10/03	14:59:40	15.75N	96.32W	17	3.7	Costa de Oaxaca
28/10/03	20:05:42	15.99N	95.36W	14	4.0	Golfo de Tehuantepec
29/10/03	08:21:13	14.05N	92.93W	20	4.3	Costa México-Guatemala
29/10/03	14:28:17	19.36N	108.51W	10	3.9	Costa de Jalisco

Tabla 2. Continuación

Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof.	Mag.	Región Epicentral
29/10/03	16:12:29	16.08N	97.62W	15	3.7	Oaxaca
<b>NOVIEMBRE</b>						
01/11/03	21:04:19	18.01N	100.17W	64	3.8	Alto Río Balsas
02/11/03	01:29:19	17.14N	101.02W	9	4.3	Costa de Guerrero
02/11/03	01:35:26	15.98N	97.94W	20	4.1	Costa de Oaxaca
02/11/03	01:40:18	17.12N	101.02W	14	3.8	Costa de Guerrero
02/11/03	05:21:13	19.42N	98.97W	4	3.4	Eje Volcánico Oriental
02/11/03	09:39:39	13.35N	92.22W	36	4.4	Costa México-Guatemala
02/11/03	21:15:55	16.98N	99.50W	15	4.1	Costa de Guerrero
03/11/03	03:25:29	15.84N	94.10W	33	4.0	Golfo de Tehuantepec
03/11/03	03:57:54	17.15N	100.10W	55	3.5	Guerrero
03/11/03	12:55:38	13.86N	92.87W	81	4.6	Costa México-Guatemala
03/11/03	12:58:04	13.84N	92.85W	55	4.3	Costa México-Guatemala
03/11/03	15:33:54	15.77N	94.58W	20	4.5	Golfo de Tehuantepec
05/11/03	15:00:15	19.30N	108.44W	10	4.0	Costa de Jalisco
06/11/03	15:19:54	13.51N	91.94W	69	4.7	Costa Guatemala
06/11/03	17:50:28	16.72N	97.60W	88	3.9	Oaxaca
06/11/03	18:04:56	16.13N	97.61W	34	3.7	Oaxaca
07/11/03	14:11:40	17.24N	100.12W	52	3.5	Guerrero
07/11/03	17:05:41	18.17N	100.36W	60	4.0	Alto Río Balsas
08/11/03	04:05:23	16.87N	94.94W	104	3.8	Istmo de Tehuantepec
08/11/03	08:05:28	18.40N	101.95W	70	3.9	Río Balsas Inferior
08/11/03	09:09:06	14.83N	95.05W	14	3.9	Golfo de Tehuantepec
08/11/03	18:57:36	16.64N	95.24W	83	3.8	Oaxaca
08/11/03	23:53:12	17.67N	94.42W	163	3.9	Istmo de Tehuantepec
09/11/03	11:13:19	17.08N	94.09W	144	4.0	Istmo de Tehuantepec
09/11/03	12:16:06	15.29N	95.60W	6	4.3	Golfo de Tehuantepec
09/11/03	17:40:20	14.44N	93.70W	33	4.8	Golfo de Tehuantepec
09/11/03	22:09:58	17.26N	94.94W	129	3.7	Istmo de Tehuantepec
10/11/03	01:26:43	14.32N	93.62W	20	4.0	Golfo de Tehuantepec
10/11/03	05:56:05	17.15N	93.82W	164	4.0	Istmo de Tehuantepec
10/11/03	12:05:03	14.44N	92.92W	40	4.8	Costa México-Guatemala
11/11/03	03:35:22	16.00N	98.37W	10	4.3	Costa Guerrero-Oaxaca
11/11/03	04:53:42	19.16N	98.98W	32	3.1	Eje Volcánico Oriental
11/11/03	08:43:56	19.21N	98.95W	12	3.3	Eje Volcánico Oriental
11/11/03	16:51:59	15.08N	94.03W	11	4.8	Golfo de Tehuantepec
11/11/03	20:23:49	18.34N	102.74W	8	4.1	Costa de Michoacán
<b>DICIEMBRE</b>						
12/11/03	03:15:06	15.22N	98.45W	16	4.5	Costa de Oaxaca
12/11/03	03:38:48	16.17N	98.61W	15	4.0	Costa Guerrero-Oaxaca
12/11/03	04:54:59	29.41N	113.61W	16	5.9	Golfo de California
12/11/03	05:51:01	15.97N	98.27W	5	3.9	Costa de Oaxaca
12/11/03	06:34:43	15.10N	94.06W	16	4.1	Golfo de Tehuantepec
12/11/03	07:11:03	16.54N	99.78W	2	4.2	Costa de Guerrero
12/11/03	21:56:15	17.48N	94.53W	151	3.9	Istmo de Tehuantepec
13/11/03	19:04:18	16.01N	97.53W	33	3.7	Oaxaca
13/11/03	21:17:34	16.57N	100.39W	5	3.7	Costa de Guerrero
13/11/03	23:24:47	16.60N	100.40W	5	3.8	Costa de Guerrero
14/11/03	03:07:12	17.95N	100.80W	30	3.6	Guerrero
14/11/03	07:14:34	16.09N	97.63W	16	4.0	Oaxaca
15/11/03	02:20:24	16.70N	99.77W	7	3.5	Costa de Guerrero
16/11/03	02:17:51	16.04N	97.62W	16	4.1	Oaxaca
16/11/03	03:17:13	19.18N	98.97W	7	4.0	Eje Volcánico Oriental
16/11/03	05:04:20	19.18N	98.97W	15	3.2	Eje Volcánico Oriental
16/11/03	07:33:53	14.66N	93.51W	33	4.0	Golfo de Tehuantepec
16/11/03	11:29:46	16.43N	93.12W	218	4.5	Chiapas
16/11/03	21:25:53	26.33N	111.67W	10	4.2	Golfo de California Sur
17/11/03	01:41:50	16.24N	97.93W	1	4.3	Oaxaca
17/11/03	03:06:55	16.28N	97.92W	1	4.0	Oaxaca
17/11/03	03:23:59	26.28N	111.75W	10	3.7	Golfo de California Sur
17/11/03	23:34:55	16.76N	94.28W	122	4.0	Istmo de Tehuantepec
18/11/03	07:28:18	14.35N	91.96W	216	4.4	Guatemala
18/11/03	08:17:16	17.84N	100.81W	82	3.5	Guerrero
18/11/03	09:38:16	15.72N	94.18W	17	4.0	Golfo de Tehuantepec
18/11/03	19:50:11	16.00N	97.08W	17	4.0	Oaxaca
19/11/03	03:57:34	17.72N	94.82W	42	4.1	Istmo de Tehuantepec
19/11/03	13:50:28	17.86N	99.54W	53	4.9	Guerrero
19/11/03	21:48:25	16.97N	95.52W	98	4.4	Oaxaca
20/11/03	01:19:09	17.43N	94.41W	167	4.0	Istmo de Tehuantepec
20/11/03	15:58:57	18.19N	100.32W	45	4.3	Alto Río Balsas
20/11/03	22:43:19	16.01N	95.90W	57	3.6	Oaxaca
21/11/03	1					



Tabla 2. Continuación

Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof.	Mag.	Región Epicentral
24/11/03	14:15:59	16.95N	95.04W	111	3.8	Oaxaca
25/11/03	03:39:14	17.91N	99.43W	59	3.1	Guerrero
25/11/03	09:47:17	17.78N	103.17W	5	3.9	Costa de Michoacán
25/11/03	10:37:21	16.89N	98.55W	22	4.1	Costa Guerrero-Oaxaca
25/11/03	11:13:36	16.11N	98.35W	5	3.7	Costa Guerrero-Oaxaca
25/11/03	14:59:29	16.74N	94.93W	44	4.0	Istmo de Tehuantepec
26/11/03	02:14:46	14.92N	94.71W	12	4.7	Golfo de Tehuantepec
26/11/03	05:04:26	19.19N	98.97W	4	3.6	Eje Volcánico Oriental
26/11/03	08:44:59	15.80N	92.50W	128	4.0	Costa de Chiapas
26/11/03	10:07:11	17.38N	100.87W	6	3.4	Guerrero
26/11/03	16:43:07	14.16N	92.22W	30	4.6	Costa México-Guatemala
27/11/03	13:14:56	16.02N	97.60W	31	4.1	Oaxaca
27/11/03	13:34:29	17.05N	99.91W	40	3.5	Guerrero
29/11/03	06:43:52	16.46N	98.06W	5	3.7	Costa Guerrero-Oaxaca
29/11/03	16:17:48	17.21N	95.21W	115	3.8	Veracruz-Oaxaca
30/11/03	07:33:52	14.88N	92.84W	28	4.1	Costa México-Guatemala
01/12/03	04:18:46	15.97N	96.24W	25	4.5	Costa de Oaxaca
01/12/03	07:07:31	13.71N	91.74W	57	4.4	Costa Guatemala
01/12/03	08:39:55	18.18N	103.24W	17	4.0	Costa de Michoacán
02/12/03	07:28:11	18.40N	103.32W	5	4.0	Costa de Michoacán
02/12/03	14:42:18	16.00N	98.32W	5	3.9	Costa Guerrero-Oaxaca
02/12/03	18:48:04	17.30N	95.15W	8	4.3	Veracruz-Oaxaca
02/12/03	23:00:51	16.16N	97.53W	24	3.9	Oaxaca
03/12/03	02:25:14	14.88N	94.60W	5	4.5	Golfo de Tehuantepec
03/12/03	06:08:11	14.73N	94.62W	16	4.1	Golfo de Tehuantepec
03/12/03	09:02:48	14.86N	94.69W	6	4.4	Golfo de Tehuantepec
03/12/03	09:13:29	14.93N	94.64W	16	4.1	Golfo de Tehuantepec
03/12/03	11:14:00	18.19N	101.68W	49	4.2	Río Balsas Inferior
03/12/03	12:41:43	14.82N	94.71W	7	3.9	Golfo de Tehuantepec
03/12/03	14:24:11	21.12N	106.27W	24	4.1	Islas Marias
03/12/03	21:05:51	14.90N	94.64W	22	4.1	Golfo de Tehuantepec
03/12/03	23:47:12	16.52N	98.59W	7	3.7	Costa Guerrero-Oaxaca
04/12/03	10:59:26	16.20N	98.27W	9	3.9	Costa Guerrero-Oaxaca
05/12/03	07:09:53	15.18N	93.16W	22	4.0	Costa de Chiapas
05/12/03	07:51:44	15.01N	95.17W	20	4.2	Golfo de Tehuantepec
05/12/03	13:25:18	18.32N	103.38W	5	4.0	Costa de Michoacán
05/12/03	16:45:31	19.72N	101.25W	7	4.3	Eje Volcánico Central
05/12/03	19:48:50	18.09N	102.93W	21	4.1	Costa de Michoacán
05/12/03	22:53:57	28.87N	113.18W	10	4.7	Baja California
07/12/03	16:52:52	13.83N	91.02W	14	4.2	Costa Guatemala
09/12/03	03:14:47	13.83N	91.97W	18	4.6	Costa Guatemala
09/12/03	07:24:03	16.90N	94.99W	124	3.6	Istmo de Tehuantepec
10/12/03	07:29:44	16.92N	100.21W	3	3.4	Costa de Guerrero
10/12/03	12:55:36	17.31N	100.46W	9	3.0	Guerrero
10/12/03	17:02:35	17.54N	94.30W	201	3.9	Istmo de Tehuantepec
10/12/03	20:12:29	16.54N	94.86W	92	3.7	Istmo de Tehuantepec
12/12/03	08:40:31	16.74N	100.14W	20	4.0	Costa de Guerrero
12/12/03	21:52:23	17.13N	93.67W	172	4.5	Istmo de Tehuantepec
12/12/03	23:50:12	16.65N	94.15W	115	4.1	Istmo de Tehuantepec
13/12/03	07:59:39	17.32N	101.32W	45	4.0	Costa de Guerrero
14/12/03	23:54:23	17.35N	95.32W	126	4.4	Veracruz-Oaxaca
15/12/03	09:04:16	15.62N	94.40W	16	4.0	Golfo de Tehuantepec
15/12/03	10:39:38	20.35N	99.07W	4	4.0	Hidalgo-Querétaro
15/12/03	19:31:43	14.61N	94.85W	16	4.7	Golfo de Tehuantepec
16/12/03	17:51:46	16.83N	100.19W	12	3.6	Costa de Guerrero
17/12/03	19:38:56	14.24N	93.37W	20	4.2	Golfo de Tehuantepec
17/12/03	20:03:59	14.18N	93.33W	12	4.5	Golfo de Tehuantepec
17/12/03	23:52:45	13.92N	93.58W	20	4.2	Costa México-Guatemala
18/12/03	05:13:48	15.43N	93.57W	40	4.1	Costa de Chiapas
18/12/03	11:26:39	14.19N	102.88W	33	3.7	Océano Pacífico
18/12/03	22:40:53	16.04N	96.63W	37	3.6	Oaxaca
19/12/03	00:12:13	15.93N	94.56W	13	4.1	Golfo de Tehuantepec
19/12/03	18:58:33	15.98N	97.59W	17	3.9	Costa de Oaxaca
20/12/03	23:50:32	15.52N	95.11W	35	4.2	Golfo de Tehuantepec
21/12/03	10:13:47	16.39N	93.82W	130	3.9	Chiapas
22/12/03	05:20:08	16.85N	95.04W	118	3.6	Oaxaca
22/12/03	13:42:24	17.40N	94.64W	140	3.9	Istmo de Tehuantepec
23/12/03	01:44:27	27.21N	111.48W	10	4.0	Golfo de California Sur
24/12/03	00:28:57	16.26N	98.21W	12	3.9	Costa Guerrero-Oaxaca
25/12/03	07:06:52	18.54N	94.51W	52	3.9	Sur de Veracruz
26/12/03	17:58:33	17.28N	95.20W	121	3.8	Veracruz-Oaxaca
26/12/03	23:07:39	18.15N	100.78W	65	3.8	Alto Río Balsas
27/12/03	03:41:36	16.82N	100.09W	7	3.8	Costa de Guerrero
28/12/03	15:00:45	18.16N	101.09W	76	3.6	Río Balsas Inferior
28/12/03	20:50:31	15.82N	94.71W	16	3.7	Golfo de Tehuantepec
29/12/03	12:36:32	16.08N	97.61W	16	3.3	Oaxaca
29/12/03	13:02:01	17.24N	94.28W	164	3.9	Istmo de Tehuantepec
30/12/03	05:02:01	19.50N	106.54W	15	3.8	Costa de Jalisco
30/12/03	13:24:30	16.20N	98.29W	4	3.6	Costa Guerrero-Oaxaca
30/12/03	17:11:47	21.14N	104.33W	16	3.6	Nayarit
31/12/03	11:12:23	15.10N	92.36W	120	4.2	Costa de Chiapas
31/12/03	11:20:56	18.25N	103.39W	20	3.8	Costa de Michoacán
31/12/03	22:33:16	16.55N	92.30W	116	3.5	Chiapas
31/12/03	23:49:02	14.86N	93.16W	17	4.4	Golfo de Tehuantepec

## BOLETÍN DE LA RED SÍSMICA DEL NOROESTE DE MÉXICO (PERIODO JULIO A DICIEMBRE DE 2003)

### GRUPO RESNOM

Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE  
Apdo. Postal No. 2732, Ensenada, B. C., México  
Correo Electrónico: resnom@cicese.mx

### INTRODUCCIÓN

El objetivo de la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM) es el de registrar la actividad sísmica de la región norte de Baja California y la porción occidental del estado de Sonora, México, entre los 30° y 33° de latitud norte y 114° y 117° de longitud oeste, aproximadamente (Figura 1). La información digital de los temblores que esta red registra es esencial para estudios sismotectónicos de la región, por estar contenida en un segmento importante de la frontera entre las placas Norteamérica y Pacífico.

Como resultado del funcionamiento de RESNOM se ha generado un importante banco de datos formado por sismogramas, tiempos de arribo, localizaciones hipocentrales y magnitudes de los sismos del norte de Baja California principalmente. En el presente trabajo se presenta, además de una descripción breve de los sistemas de adquisición y del procesado de datos, una exposición sucinta de la sismicidad registrada por RESNOM durante el periodo de julio a diciembre de 2003.

### SISTEMAS DE ADQUISICIÓN

La red consiste de 12 estaciones de periodo corto, 3 estaciones de banda ancha y una estación de periodo largo. Cada estación está constituida por tres sismómetros que registran dos componentes mutuamente ortogonales de movimiento horizontal y una componente de movimiento vertical. Una descripción de las características de la instrumentación usada en las estaciones puede verse en Grupo RESNOM (2002). Las señales digitales generadas en los diferentes sitios de ubicación de las estaciones se envían por medio de enlaces de radio (para estaciones de periodo corto) o mediante un sistema de transmisión combinado de radio enlaces e internet (para estaciones de banda ancha) al centro de procesado en Ensenada, B. C. Una descripción breve de los sistemas de adquisición de los tres tipos de señales se presenta a continuación.

---

#### PERSONAL DEL GRUPO RESNOM

Investigadores Responsables: Antonio Vidal Villegas y Luis Munguía Orozco  
Técnicos en electrónica: Luis Orozco León y Oscar Gálvez Valdez  
Técnicos lectors: Ignacio Méndez Figueroa y Francisco Farfán Sánchez  
Programador: Sergio Arregui Ojeda

### PERIODO CORTO

En la computadora receptora de las señales de periodo corto, éstas se decodifican, se separan por componente y se les incluye la marca de tiempo. A continuación pasan por un algoritmo de detección basado en el cociente de promedios cortos y promedios largos (STA/LTA) de la señal entrante. Este algoritmo permite eliminar las señales correspondientes a disparos en falso (ruido) y guardar en disco duro las señales de los eventos sísmicos. Una descripción detallada del sistema de adquisición de datos de periodo corto se encuentra en Arregui (2004).

### BANDA ANCHA

El sistema de adquisición de datos de banda ancha está configurado para enviar la información en dos modos: continuo y por evento. En el primer modo toda la información generada se envía y graba en la computadora anfitriona. En el segundo modo se envía sólo la información necesaria (fecha y hora) para la recuperación de un evento sísmico, el cual deberá estar contenido en el archivo de captura continua. La recuperación del evento sísmico se hace mediante el uso del algoritmo de detección STA/LTA de la señal grabada. La computadora anfitriona está conectada a la red Internet permitiendo la comunicación con el centro de procesamiento ubicado en el CICESE, en donde se realiza el procesamiento estándar de los datos.

### PERIODO LARGO

Las señales de la estación de periodo largo se suministran a una computadora personal en la que se decodifican, visualizan y graban en archivos que contienen 12 horas de registro continuo. La señal sísmica de interés se extrae a continuación mediante el uso del algoritmo de detección STA/LTA y se convierte al formato SEISAN para su procesamiento posterior (Vidal *et al.*, 2003).

### PROCESAMIENTO DE DATOS

Para un sismo dado, tanto las señales de periodo corto como las señales de banda ancha y, en algunos casos, las señales provenientes de la estación de periodo largo se cambian al formato SEISAN. Una vez que se tienen todas las señales en un solo formato, éstas se agrupan y se genera un solo archivo con toda la información del sismo. Este archivo se registra a continuación en la base de datos de RESNOM (siguiendo la estructura de SEISAN) para efec-



**Figura 1. Fallas principales de la región norte de Baja California y estaciones sísmicas (triángulos) de la Red Sísmica del Noroeste de México.**

tuar el procesamiento estándar del sismo registrado. Dicho procesamiento consiste en leer tiempos de arribo, localizar el hipocentro y calcular la magnitud correspondiente.

#### LOCALIZACIÓN DE HIPOCENTROS

A partir de enero de 2003, para la localización de los sismos se utiliza el programa HYPOCENTER de Lienert y Havskov (1995), el cual forma parte del paquete SEISAN. Los modelos de velocidades de la corteza usados en el proceso de localización son los propuestos por Nava y Brune (1982) para las Sierras Peninsulares de

Baja California (SPBC) y Munguía (1995) para el Valle de Mexicali (VM). Este último modelo está basado en la estructura de velocidades propuesta por McMechan y Mooney (1980) para el Valle Imperial. Para sismos que ocurren en la vecindad de la frontera con el estado de California se utilizan frecuentemente los tiempos de arribo proporcionados por la Red Sísmica del Sur de California (SCSN), U.S. Geological Survey (USGS) y por el Centro de Datos del Sur de California (SCEDC).



## CÁLCULO DE MAGNITUDES

A partir de enero de 2003 se reportan dos tipos de magnitud: la magnitud local y la magnitud de duración. La magnitud local se calcula a partir de las amplitudes máximas medidas en sismogramas Wood-Anderson equivalentes. Estas amplitudes se utilizan en combinación con alguna de las dos relaciones empíricas propuestas por Vidal y Munguía (1999) para el cálculo de la magnitud local: una para las SPBC y otra para el VM. La magnitud de duración se calcula con base en la duración medida en los registros de periodo corto y la relación propuesta por González y García (1989).

Como resultado del procesamiento de los datos, se generan Boletines de Información Sísmica, los cuales contienen tiempos de arribo, localizaciones hipocentrales y valores de magnitud de los sismos registrados. A partir del año 2003 estos boletines se envían al International Seismological Centre y además pueden consultarse en la página electrónica de RESNOM (<http://sismologia.cicese.mx/resnom>).

## SISMICIDAD DE JULIO A DICIEMBRE DE 2003

Durante este semestre se localizaron alrededor de 571 sismos en la región, con magnitudes comprendidas entre 0.8 y 5.0. Los epicentros de estos sismos definen varias áreas de actividad sísmica en la región (Figura 2). De la Figura 2 se aprecia que, en la región de las sierras peninsulares de Baja California, la sismicidad se concentra en la porción central de la falla Sierra Juárez y en los extremos norte y sur de la falla San Miguel. Es de resaltar la sismicidad observada entre esta última falla y la falla Tres Hermanas (alrededor de 47 eventos). Con respecto a la región del Valle de Mexicali, la sismicidad se concentra entre las fallas Imperial y Cerro Prieto y en el extremo sur de la falla Laguna Salada. En la Tabla I se presentan las localizaciones hipocentrales de 66 sismos de magnitud mayor que 3.0. De estos sismos, 9 tuvieron magnitudes comprendidas en el intervalo de 4.0 a 4.6. Sobresale por su magnitud (5.1) el sismo del 15 de agosto de 2003 localizado en el Golfo de California (el epicentro no se muestra en la Figura 2 debido a que está fuera del área de cobertura del mapa). La distancia del epicentro de este sismo a la ciudad de San Felipe B. C. es de 344 km al sureste de la misma. No se reportaron daños producidos por este temblor.

## AGRADECIMIENTOS

El financiamiento de RESNOM es posible gracias al apoyo proporcionado por el CICESE a través del proyecto no. 5152. Es de apreciar el apoyo secretarial de Enid A. Morán en las actividades diarias de la red.

## REFERENCIAS

- Arregui, S., 2004. Adquisición y visualización de datos de la Red Sísmica del Noroeste de México. Tesis de licenciatura, UABC, Ensenada, Baja California, 93 p.
- González, J.J. y R.A. García, 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., 399-406.
- Grupo RESNOM, 2002. Estado actual de RESNOM y sismicidad de la región noroeste de México en el periodo septiembre-diciembre de 2001. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, A. C., 22-1, 43-48.
- Lienert, B.R. and J. Havskov, 1995. A computer program for locating earthquakes both locally and globally, *Seism. Res. Lett.*, 66, 5, 26-36.
- McMechan, G.A. and W.D. Mooney, 1980. Asymptotic ray theory and synthetic seismograms for laterally varying structures: theory and application to the Imperial, Valley, California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 70, 2021-2035.
- Munguía, 1995. Estudio de microsismicidad en la zona de Riito, Sonora, México. Informe técnico final CICESE-CFE, 33 pp.
- Nava, F. A. and J.N. Brune, 1982. An earthquake-explosion reversed refraction line in the Peninsular Ranges of southern California and Baja California Norte. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, 4, 1195-1206.
- Vidal, A. and L. Munguía, 1999. The ML scale in northern Baja California, México. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 3, 750-763.
- Vidal, A., L. Orozco, S. Arregui, J. Sánchez, O. Gálvez, I. Méndez and L. Inzunza, 2003. A note on upgrading long-period seismographs. *Geofísica Internacional*, 42, 1, 53-59.

Recepción del manuscrito: 14 de mayo, 2004

Aceptación del manuscrito: 1 de junio, 2004

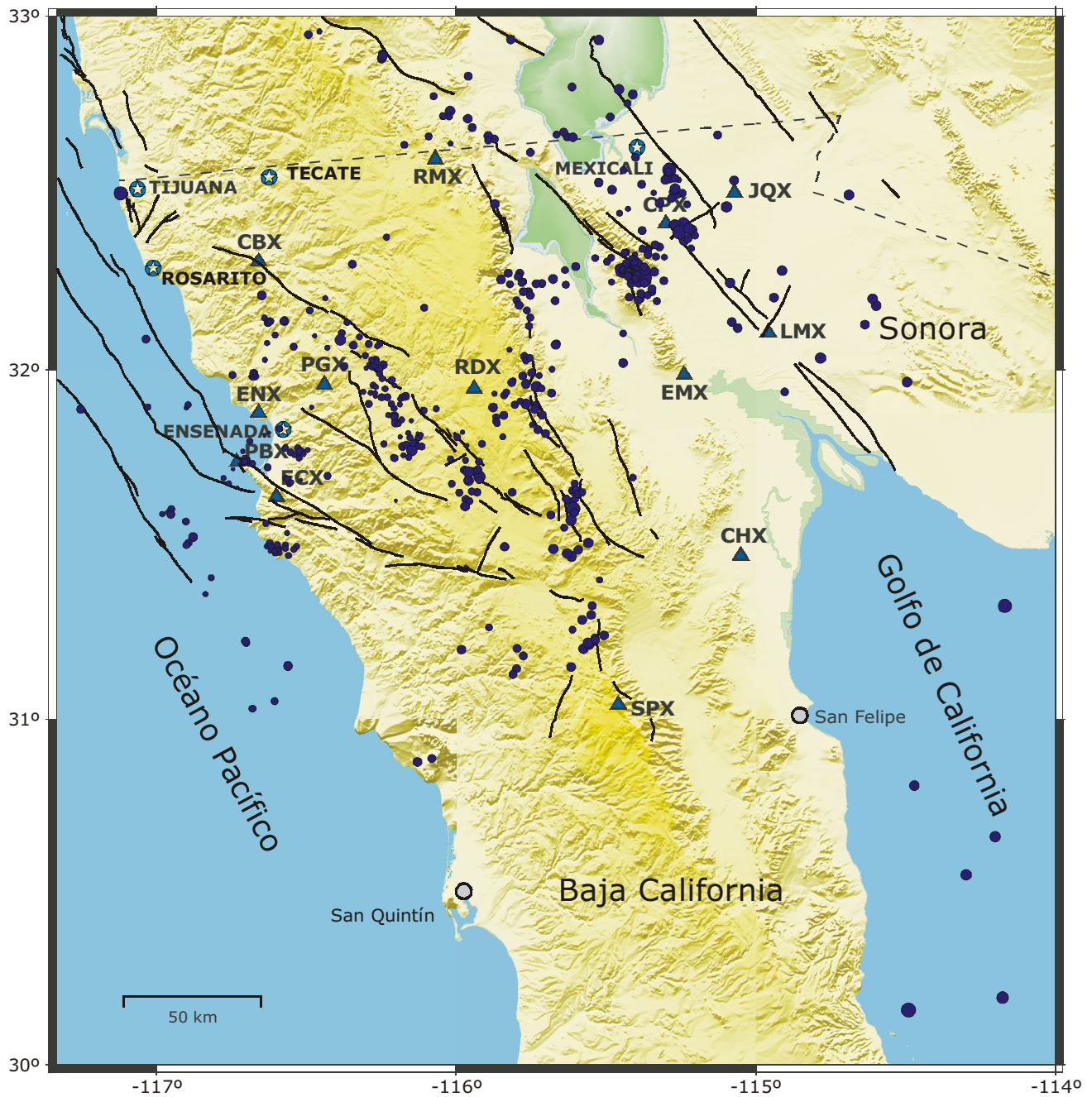


Figura 2. Epicentros de temblores (círculos) de la región registrados durante el segundo semestre de 2003.

**Tabla 1. Localizaciones hipocentrales de los sismos ( $M \geq 3$ ) registrados por RESNOM durante el segundo semestre de 2003.**

Fecha	Origen	Lat.	Long.	Prof.	RMS	ERH	Mag.
<b>JULIO</b>							
20030703	10:17:15.7	31°41.70	115°55.38	5.3	0.2	1.5	3.8
20030710	02:26:05.3	33°13.98	116°23.88	6.0*	0.2	2.2	3.0
20030713	17:39:23.1	32°16.92	114°54.78	7.0*	0.3	3.3	3.0
20030715	06:15:50.7	34°37.30	116°40.03	7.6	0.2		4.2
20030715	21:08:29.2	31°54.18	115°46.02	6.0*	0.3	1.5	3.0
20030716	15:42:49.3	33°07.08	115°43.50	8.0*	0.2	0.0	3.0
20030716	15:55:57.6	32°27.72	115°05.88	7.0*	0.1	2.9	3.1
20030721	19:22:02.1	32°24.72	115°16.14	5.0*	0.2	1.3	3.1
20030724	21:15:33.2	31°12.12	115°34.50	5.0*	0.2	2.0	3.0
20030728	20:08:29.0	33°01.08	116°01.32	2.8	0.2	2.1	3.1
20030730	14:37:47.5	28°36.42	116°25.44	7.0*	0.1	12.1	3.6
<b>AGOSTO</b>							
20030801	19:06:49.8	33°18.72	115°44.34	6.0*	0.3	2.2	3.0
20030813	07:40:07.0	32°47.70	115°27.42	9.7	0.2	1.6	3.0
20030815	09:44:38.6	28°40.04	112°28.20	8.0*	0.2	14.4	5.1
20030819	20:07:58.0	32°44.04	116°01.20	7.9	0.2	1.8	3.2
20030820	17:18:02.5	31°34.26	115°36.96	5.2	0.1	1.0	3.3
20030825	13:31:27.4	31°46.14	116°08.88	8.0	0.3	1.7	3.3
20030827	06:02:19.0	33°43.44	119°20.52	4.0*	2.1	0.0	3.8
<b>SEPTIEMBRE</b>							
20030907	20:19:27.9	32°25.02	115°14.52	3.7	0.2	2.2	3.0
20030908	18:13:24.7	31°19.44	114°10.14	6.0*	0.1	2.8	3.8
20030909	23:07:14.2	28°59.46	115°26.76	10.0*	0.2	4.7	4.5
20030909	23:41:52.8	30°09.54	114°29.40	10.0*	0.1	7.9	4.2
20030910	11:26:31.7	29°20.52	114°18.72	7.0*	0.1	7.4	4.4
20030910	15:27:40.4	33°19.20	116°22.14	12.8	0.2	2.1	3.2
20030910	16:21:03.3	30°11.64	114°10.62	6.0*	0.1	11.4	3.4
20030911	17:03:41.0	32°34.02	115°17.34	6.0*	0.1	1.8	4.2
20030911	18:23:55.1	32°32.64	115°17.28	5.0*	0.2	1.2	3.0
20030914	02:32:31.1	33°36.72	115°46.50	7.0*	0	4.6	3.0
20030915	00:20:48.7	33°10.38	115°36.18	1.0*	0.2	1.5	3.1
20030916	04:41:24.0	31°57.12	115°43.92	1.0*	0.2	2.0	3.1
<b>OCTUBRE</b>							
20031004	00:43:23.2	32°16.56	115°25.26	6.0*	0.3	1.8	3.0
20031004	15:56:34.6	32°16.80	115°25.50	7.0*	0.3	1.9	3.0
20031004	19:26:23.7	33°11.22	116°10.32	4.0*	0.3	1.8	3.0
20031007	17:35:50.7	32°30.06	117°07.20	13.0	0.2	1.0	3.9
20031008	11:26:24.4	32°17.28	115°26.34	3.0*	0.3	2.8	4.6
20031009	07:33:55.5	33°24.60	116°23.40	8.0	0.3	1.7	3.3
20031009	09:28:59.6	32°17.76	115°24.78	5.0*	0.3	1.5	3.0
20031010	02:27:35.3	34°16.62	116°34.62	7.0*	0.2	3.1	3.5
20031018	15:42:42.2	32°16.98	115°25.86	5.0*	0.3	1.8	3.1
20031020	20:53:53.3	32°17.10	115°25.08	5.0*	0.2	1.3	3.5
20031022	00:04:04.6	32°23.40	115°15.30	4.0*	0.2	1.0	4.1
20031024	10:11:05.3	33°02.52	115°54.30	1.3	0.2	1.7	3.4
20031025	05:49:53.7	32°16.86	115°24.18	5.0*	0.2	1.2	3.8
20031030	16:14:28.6	31°36.24	115°36.54	8.0	0.3	1.6	4.0
<b>NOVIEMBRE</b>							
20031101	02:43:29.3	30°39.66	114°12.06	7.0*	0.2	7.9	3.3
20031104	06:22:15.6	32°16.98	115°22.32	5.0*	0.2	1.4	3.6
20031106	03:18:32.7	30°33.06	114°17.88	9.0*	0	5.6	3.3
20031106	17:49:00.3	32°14.82	115°05.16	5.0*	0.2	1.5	3.0
20031112	04:47:45.8	27°43.86	114°44.16	6.0*	0	0.0	4.0
20031113	05:17:57.3	33°21.00	116°25.14	12.4	0.2	1.6	3.2
20031115	12:54:11.3	32°29.76	114°41.34	6.0*	0.1	5.4	3.0
20031116	00:36:35.5	32°15.72	115°22.14	5.0*	0.2	1.7	3.9
20031118	03:44:42.6	32°01.98	114°47.04	6.1	0.3	2.5	3.2
20031118	19:35:45.0	32°10.98	114°35.88	13.0*	0.2	5.3	3.0
20031119	18:39:32.7	32°10.08	117°40.02	8.0*	0.2	1.0	3.0
20031122	05:35:45.5	29°25.86	114°07.32	9.0*	0.1	9.4	3.0
20031127	14:38:16.2	33°46.02	116°05.58	4.0*	0.3	0.0	3.6
20031127	21:46:25.8	32°24.00	115°13.38	3.6	0.2	0.0	3.1
<b>DICIEMBRE</b>							
20031205	19:01:14.0	33°26.04	116°23.10	8.0*	0.2	2.6	3.0
20031206	13:50:27.1	33°55.20	117°53.64	6.0*	0.1	5.2	3.5
20031211	17:33:58.3	32°15.84	115°24.84	5.0*	0.3	1.2	3.8
20031212	02:55:18.1	30°48.48	114°28.26	5.0*	0	6.3	3.0
20031217	22:06:39.8	31°42.54	115°57.54	5.0*	0.2	1.3	3.3
20031219	11:04:19.5	34°10.14	117°14.34	7.0*	0.2	3.8	3.1
20031225	05:47:52.9	32°05.04	116°23.16	5.2	0.2	0.9	3.2
20031229	00:49:11.2	33°56.88	117°50.40	10.0*	0.7	0.0	3.8

Abreviaturas usadas:

**RMS** = Error cuadrático medio de los residuales de tiempo.**ERH** = Error estándar del epicentro calculado a partir de los errores en latitud y longitud.

\* Sismo localizado a profundidad fija.



## EL DESCUBRIMIENTO DEL *TIEMPO PROFUNDO* Y LA NOVENA OLIMPIADA DE CIENCIAS DE LA TIERRA

Enrique Gómez Treviño  
División de Ciencias de la Tierra, CICESE,  
Ensenada, Baja California, México

La Tierra gira alrededor del Sol, y lo ha estado haciendo desde siempre. ¿Cuántas vueltas significa *siempre*? A finales del siglo XVIII ya se tenía el modelo mecánico del sistema solar prácticamente tan desarrollado como lo tenemos ahora. Las leyes del movimiento de Newton y su ley de la gravitación universal predecían exactamente las órbitas de los planetas, incluyendo la forma de la órbita y su periodo alrededor del Sol. Sin embargo, el modelo no tenía, ni tiene actualmente, el otro factor tiempo, el que se refiere al tiempo acumulado en que se ha estado moviendo el sistema. El sistema podría tener cinco, diez o veinte mil años. Y no es que a nadie le importara el origen del mundo, la cuestión era simplemente que se trataba de un problema difícil, más difícil que el del modelo mecánico del sistema solar. Si tan sólo el modelo tuviera un contador de vueltas el problema estaría resuelto. Sin embargo, la cuestión del inicio, del cuándo, no era ni es un problema que se pueda abordar con las leyes de Newton. Las leyes de Newton son precisas y universales, pero son universales no porque se apliquen a todo. Se les dio el calificativo de universales porque permitían explicar fenómenos tanto en la Tierra como en el cielo. Era la primera vez que alguien proponía algo semejante pues, por lo general, se pensaba que los objetos celestes obedecían a reglas diferentes que los terrestres. Esta sigue siendo una de las grandes aportaciones de Newton a la cultura universal. El otro problema, el del inicio, era una cuestión que no resolvió Newton, aunque sí que era una de sus preocupaciones.

La cuestión del inicio del mundo requería de mucha intuición y de la habilidad para trabajar con datos imprecisos. Aquí se podría aplicar aquella observación de Einstein de que en la ciencia es más importante la imaginación que los conocimientos. De hecho, el reconocimiento de un *tiempo profundo* en la Tierra vino de personas sin entrenamiento formal en la mecánica celeste. Un médico, un constructor de canales y un abogado fueron los fundadores de la nueva ciencia de la geología en los alrededores de 1800. En general se puede afirmar, como lo han hecho muchos de los más destacados científicos en el pasado, que la ciencia no es sino un sentido común riguroso. A los primeros geólogos no les faltaba el sentido común, y tampoco el rigor, pero al principio no fueron muy bien comprendidos por sus colegas de otras disciplinas, sobre todo por los físicos. El principal oponente a la idea de que la Tierra podría tener miles de millones de años fue Lord Kelvin. Su amplio prestigio y la rigurosidad de sus métodos mantuvieron en entredicho por muchas décadas las conclusiones de los geólogos y, de paso, las de los biólogos. El mismo Darwin, quien también necesitaba mucho tiempo para su teoría de la evolución, sentía el peso del argumento de Kelvin, quien, a lo más, admitía, en sus cálculos de termodinámica, 100

millones de años para la edad de la Tierra. Tanto geólogos como biólogos necesitaban más tiempo. Sus estimaciones así lo indicaban y no estaban equivocados.

Si bien los cálculos basados en tasas de erosión y acumulación de sedimentos eran rigurosos y con mucho sentido común, había suposiciones e incertidumbres más allá de la usanza en otras disciplinas. Tal vez por eso los científicos educados en las disciplinas existentes en ese tiempo no se interesaban en el tema, excepto al modo de Lord Kelvin, para invalidar inferencias basadas en datos inciertos. Y sin embargo todo terminó aclarado, biólogos y geólogos fueron reivindicados, pero hasta el siglo XX, cuando la misma física proveyó del argumento para invalidar a Kelvin, y también un método para estimar independientemente la edad de la Tierra. A principios del siglo XX se descubrió la radioactividad y su poder para calentar las rocas. Este descubrimiento no sólo vino a invalidar los resultados de Lord Kelvin basados en las leyes del enfriamiento, sino que además proveyó de un reloj natural para medir la edad de la Tierra. Por fin se pudo saber cuántas vueltas le ha dado la Tierra al Sol. Y resultó que eran muchas, muchísimas, muchas más de las que esperaban geólogos y biólogos. Ahora tienen tiempo de sobra. O tal vez no: se ven tan apurados como cualquiera de nosotros.

Alrededor de este tema de relojes naturales giró principalmente la Novena Olimpiada Estatal de Ciencias de la Tierra en Baja California. En el texto de las preguntas se incluyó información al respecto haciendo hincapié en las dificultades del tema. El recorrido termina con preguntas sobre la solución final del problema. También se incluyeron preguntas sobre relojes biológicos, como el basado en variaciones en las proteínas de la sangre de humanos y chimpancés, con el cual se estableció el tiempo que tienen ambos linajes de haberse separado. En otra variación del tema se hace referencia al tiempo en que todos los humanos tuvimos un ancestro común. Se explica el método de las variaciones en los genes de las mitocondrias de las células humanas y se pregunta específicamente el tiempo del evento mencionado. Otras preguntas se refieren a la tasa de sedimentación en el delta del Río Colorado, así como a eventos locales como los conocidos e incómodos vientos Santa Ana y sus efectos en el mar, o bien, a fenómenos recientes como el último eclipse lunar. También se incluyeron preguntas y explicaciones sobre las últimas investigaciones acerca del papel que juega el color de la piel en los procesos de reproducción de los seres humanos (por un lado protege de ciertos compuestos químicos y, por el otro, inhiben la producción de otros, todo según la latitud en donde viven, o más bien, donde vivieron sus ancestros). Si bien hubo muchas

sorpresas en las preguntas, posiblemente la más inesperada fue la relativa a los países con los mejores índices de felicidad en el mundo. ¿Qué país obtuvo el segundo lugar? : México. El primer lugar nos lo ganó Nigeria. Sin embargo, hay esperanzas para el 2004. ¿Cooperamos?

El evento se llevó a cabo el 29 de noviembre pasado en el Aula I de la División de Ciencias de la Tierra del CICESE. Participaron estudiantes de preparatoria de los cinco municipios del estado, los ganadores fueron:

Marisol Sánchez Marmolejo COBACH La Mesa  
Profesor: Manuel Armando Gómez Piñón

José Juan Pérez Delgadillo COBACH La Mesa  
Profesor: Manuel Armando Gómez Piñón

Alice Daniela Flores Lara CETIS #156  
Profesora: María Julia Robles Quintero

A continuación se presentan treinta de las cien preguntas del examen 2003. Como podrán observar, las preguntas no son fáciles de responder correctamente en una primera instancia. Hacemos la aclaración de que prácticamente todo el examen se pone a disposición de los estudiantes más o menos un mes antes del evento. La idea es que aprendan solos, buscando. Los que buscan terminan por contestar correctamente alrededor del 80 o 90% de las preguntas.

### TREINTA DE LAS CIEN PREGUNTAS DE LA NOVENA OLIMPIADA ESTATAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA

UGM – CICESE. ENSENADA, B.C. A 29 DE NOVIEMBRE DE 2003

1. La Biblia no dice cuál es la edad de la Tierra. Sin embargo, contando el número de generaciones con los datos y nombres que se dan en la Biblia, se han realizado desde la Edad Media cálculos para averiguar la fecha en que se creó el mundo. Uno de los últimos intentos lo realizó el clérigo James Ussher, quien encontró que la fecha fue el lunes 23 de octubre a las 9:00. ¿De qué año?
  - a) 40,040 ac
  - b) 404 ac
  - c) 40 ac
  - d) 4,004 ac
2. Estamos en el mes de noviembre de 2003. ¿Cuál sería la edad de la Tierra hoy, según Ussher?
  - a) 42,043 años
  - b) 2,407 años
  - c) 2,043 años
  - d) 6, 007 años

3. La edad de la Tierra, según se ha determinado en los últimos años por métodos radiactivos, es más o menos la edad determinada por Ussher multiplicada por un millón. Para algunos observadores del desarrollo de las ideas científicas, este descubrimiento de un *tiempo profundo* en la Tierra, es la principal contribución de la geología a la cultura universal. En realidad el descubrimiento se realizó alrededor de 150 años antes de la determinación de la edad de la Tierra por métodos radiactivos. Uno de los argumentos se basaba en observaciones de las tasas de erosión actuales y de formación de nuevos sedimentos, tomando en cuenta los espesores de sedimentos antiguos. En su libro de tres volúmenes "*La Teoría de la Tierra*", escrito hace alrededor de 200 años, *el padre de la geología* describe sus observaciones y conclusiones. ¿De quién se trata?
  - a) Wallace
  - b) Hutton
  - c) Lyell
  - d) Smith

4. Otro gran descubrimiento realizado ya en el siglo XIX, derivó en la disciplina que se conoce actualmente como estratigrafía, en relación con estratos sedimentarios muy antiguos. El descubrimiento consistió en darse cuenta que "*los mismos estratos siempre se encuentran en el mismo orden de superposición, y siempre contienen el mismo tipo peculiar de fósiles*". Se trata de algo que actualmente casi se considera obvio, pero que le tomó a la humanidad miles de años para darse cuenta. La persona que hizo el descubrimiento también hizo el primer mapa geológico de la historia. Se dedicaba a hacer levantamientos topográficos para cavar canales para transporte de carbón en Inglaterra, en la época inmediatamente anterior a los ferrocarriles. Así se dio cuenta de las regularidades en los estratos. Su teoría se aceptó cuando pudo predecir los estratos que se encontrarían en un lugar que nunca había visitado. ¿De quién se trata?
  - a) Wallace
  - b) Hutton
  - c) Lyell
  - d) Smith

5. El astrónomo Edmund Halley (1656-1742), el del famoso cometa, propuso hace varios siglos calcular la edad de la Tierra, o más bien la edad del océano, tomando como base la cantidad de sal que se ha estado acumulando con el tiempo en el mar. Continuamente los ríos están añadiéndole poco a poco sal al mar. La idea es la misma que la del reloj de arena; la sal juega el papel de la arena y el mar es el recipiente donde se acumula. El método no es muy confiable y está sujeto a muchas suposiciones. Por ejemplo, no sabemos cuál era la salinidad del agua cuando se formó la Tierra. En términos de la analogía del reloj de arena, no sabemos si en el principio el depósito inferior estaba vacío. Sin embargo, antes del descubrimiento de la radiactividad la idea de utilizar la acumulación de sal en el mar era una de las opciones a las que más se recurría para estimar la edad de la Tierra. Este
  - a) Wallace
  - b) Hutton
  - c) Lyell
  - d) Smith

método dejó de utilizarse a principios del siglo XX. ¿Cuál era la edad de la Tierra según este método? (Ma=millón de años)

- a) 1 Ma
- b) 10 Ma
- c) 100 Ma
- d) 1000 Ma

6. El reloj de arena ejemplifica la idea básica de cómo medimos el tiempo. La cantidad de arena que se acumula en su parte inferior representa una medida del tiempo transcurrido desde que se le dio vuelta al reloj. Si se cuentan los granos de arena se podría incluso aumentar la resolución. Los modernos relojes electrónicos se basan en la misma idea de acumular o contar algo para cuantificar el tiempo. ¿Qué acumulan o qué cuentan los relojes electrónicos modernos?

- a) Átomos
- b) Electrones
- c) pulsos eléctricos
- d) fotones

7. El método que gozaba de mayor prestigio a principios del siglo XX para la determinación de la edad de la Tierra estaba basado en las leyes físicas del enfriamiento térmico. En las películas de detectives, cuando el detective mayor desea saber si alguien escapó de una casa o se escondió al verlos llegar, toca una taza de café que se encuentra en la mesa y se da cuenta que está caliente. Deduce que el malo de la película recién escapó o está escondido en la casa y que no puede estar muy lejos. En general la temperatura de cualquier objeto tiende a disminuir a medida que pasa el tiempo. De hecho hay fórmulas para calcular el tiempo que le toma a un objeto enfriarse hasta determinada temperatura. Al aplicar esta fórmula a un objeto del tamaño y propiedades de la Tierra, Lord Kelvin a mediados del siglo XIX calculó el tiempo que le tomaría a la Tierra pasar de un estado de fusión a la temperatura que actualmente tiene. Para esto Kelvin tuvo que suponer la temperatura de fusión de las rocas, algo que en ese tiempo no se conocía. ¿Cuál era la temperatura (en grados centígrados) que supuso Kelvin en su primera estimación de la edad de la Tierra?

- a) 500
- b) 1000
- c) 2,000
- d) 4,000

8. Con el descubrimiento de la radiactividad, el método de Kelvin y sus estimaciones perdieron autoridad. Se descubrió que las rocas en general contienen elementos radiactivos que están continuamente produciendo calor, por lo que la Tierra no es un objeto que simplemente se está enfriando desde un estado original de fusión, sino que posee fuentes internas de energía que no la dejan enfriarse tan rápido. Esto significaba que la Tierra podría tener una edad muy diferente a la calculada por Kelvin, pues su fórmula sólo se aplicaba a objetos

sin fuentes internas de calor. Después de todo los biólogos y geólogos tenían razón. ¿El descubrimiento de la radiactividad y sus efectos térmicos, aumenta o disminuye la edad calculada para la Tierra?

- a) Queda igual
- b) aumenta
- c) disminuye
- d) ninguna de las anteriores

9. La energía térmica que se produce en la Tierra por efecto del decaimiento de elementos radiactivos se libera cuando:

- a) el núcleo de un átomo explota
- b) el átomo pierde todos sus electrones
- c) se produce fusión nuclear
- d) se condensa el silicio

10. El descubrimiento de la radiactividad no sólo *echó por tierra* los cálculos de Kelvin, sino que también se convirtió en una herramienta para calcular la edad de la Tierra. Además del efecto térmico, la radiactividad misma es indicativa de que la composición química de las rocas cambia con el tiempo. Las radiaciones que emanan de los elementos o isótopos radiactivos son sólo parte del proceso que ocurre internamente. Unos elementos se transforman en otros y al hacerlo lo hacen violentamente, produciendo calor o movimiento. La roca se calienta un poco pero hablando estrictamente, ya no es la misma roca, pues tendrá menos Radio o Uranio, ambos radiactivos, y tendrá más Plomo y Helio como residuos del proceso. Entre más tiempo pase se acumulan más residuos o *hijos* de los elementos originales. Esta acumulación es exactamente análoga a la acumulación de arena en un reloj de arena, por lo que puede utilizarse para calcular el tiempo que llevan acumulándose en la roca. Esta es la base de los métodos modernos para fechar rocas. ¿Quién fue la primera persona que a principios del siglo XX realizó la primera determinación de la edad de una roca midiendo isótopos radiactivos?

- a) Becquerel
- b) Rutherford
- c) Holmes
- d) Kelvin

11. Cuando una roca se calienta puede perder los elementos gaseosos que se encuentran en su interior. Esto significa que al intentar calcular su edad a través de elementos gaseosos que son productos del proceso radiactivo, se obtendrá una edad más pequeña de la real, pues parecerá que hace menos tiempo que se han estado acumulando en su interior. Se puede dar el caso que la roca se funda completamente. En este caso la edad que se obtiene corresponde al tiempo desde que se fundió la última vez. Por ésta y otras razones se tiene mucho cuidado en la recolección de muestras que se utilizan para fechar. Por lo general se hacen muchas correcciones y com-



paraciones con diferentes elementos antes de que se considere que una determinación es confiable. La edad que actualmente se acepta para la Tierra es de:

- a) 3,500 Ma
- b) 4,600 Ma
- c) 6,400 Ma
- d) 64, 000 Ma

12. Las rocas terrestres más antiguas que se han encontrado en la Tierra tienen en realidad alrededor de un 10 % menos edad que la edad que se acepta para la Tierra. Esto significa que la Tierra volvió a fundirse después de su primera formación, o que las rocas de su primera formación se erosionaron completamente y se convirtieron en otras. ¿De dónde viene entonces el valor aceptado para la edad de la Tierra?

- a) la edad del manto
- b) la edad de meteoritos
- c) la edad del núcleo
- d) la edad de la Luna

13. Un reloj de arena puede medir tiempos pequeños con tal que su flujo sea lo suficientemente rápido. Se podría graduar un reloj de este tipo para medir periodos de segundos. Sin embargo, un reloj con estas características tendría el inconveniente de dejar de funcionar después de unos minutos, pues su depósito superior de arena se agotaría rápidamente. Algo parecido pasa con los relojes radiactivos. Si su vida media es muy pequeña se pueden medir fácilmente tiempos muy pequeños, pero no son de mucha utilidad para medir tiempos grandes, pues el material radiactivo después de alrededor de diez vidas medias prácticamente desaparece. El carbono 14 es más útil para fechar eventos que sucedieron hace:

- a) 5,000 años
- b) 50,000 años
- c) 500,000 años
- d) 5,000,000 años

14. Un reloj de arena puede medir tiempos muy grandes con tal que su flujo sea lo suficientemente lento. Se podría graduar un reloj de este tipo para medir periodos de varios días. Sin embargo, un reloj con estas características tendría el inconveniente de no ser muy preciso para medir periodos de segundos, pues su graduación estaría en días o en horas. Algo parecido pasa con los relojes radiactivos. Si su vida media es muy grande, se pueden medir tiempos muy grandes, pero no son de mucha utilidad para tiempos muy pequeños, puesto que en periodos pequeños se desintegra muy poco material radiactivo como para poder apreciar la disminución del isótopo que se desintegra o el aumento en la cantidad de los elementos residuales. El potasio 40 es más útil para fechar eventos que sucedieron hace:

- a) 5,000 años
- b) 50,000 años
- c) 500,000 años
- d) 5,000,000 años

15. No hace mucho se pensaba que los linajes del hombre y el chimpancé se habían separado hace 25 millones de años. Lo anterior se basaba en evidencias de fósiles encontrados en África. Sin embargo, ahora se sabe que la fecha es más reciente. La corrección vino de donde menos se esperaba, y no fue bien acogida por los paleontólogos. Los biólogos moleculares dieron la sorpresa anunciando que la separación de los linajes era mucho más reciente, para lo cual presentaron evidencias que nada tenía que ver con fósiles. Se basaron simplemente en análisis de sangre de humanos y chimpancés actuales. La base de su método es que con el tiempo y a medida que se separan las especies, las proteínas de la sangre van cambiando debido a mutaciones naturales. Determinaron la tasa de mutaciones y calcularon el tiempo necesario para que se produjesen. En este caso estaban estableciendo un nuevo reloj basado en proteínas, o más bien en cambios regulares en las proteínas. Vincent M. Sarich realizó estas determinaciones en 1967. Su nueva determinación para la edad de la separación fue más tarde confirmada por hallazgos de nuevos fósiles. ¿Cuánto hace que se separaron los dos linajes según su método?

- a) 1 Ma
- b) 2.5 Ma
- c) 5 Ma
- d) 10 Ma

16. Las mitocondrias son estructuras especializadas que se encargan de proveer de energía a las células. Son algo así como una célula dentro de otra célula. Poseen su propio ADN independiente del ADN nuclear de las células. Cuando un espermatozoide y un óvulo se unen, ambos contribuyen igualmente al ADN nuclear de la nueva célula. Sin embargo, las mitocondrias (junto con su ADN) de la nueva célula provienen sólo del óvulo. Por lo tanto, estudiar el ADN de la mitocondria nos permite conocer los ancestros maternos de cualquier individuo. Por ejemplo, hijos e hijas de una misma madre tienen las mismas mitocondrias. Las hijas pasarán las mismas mitocondrias a sus hijos e hijas y así sucesivamente, siempre por el lado materno. Si toda la humanidad viene de una misma madre entonces todos tenemos las mismas mitocondrias. De hecho resulta que el ADN de las mitocondrias de todos los humanos es el mismo, excepto por mutaciones que se van acumulando con el tiempo. Este proceso de acumulación de diferencias se comporta como un reloj. A más diferencias más lejano es el parentesco, lo cual se puede traducir al tiempo en que se tuvo un ancestro común. Hace algunos años se compararon las mitocondrias (su ADN) de grupos humanos de diferentes partes de la Tierra. Se llegó a la conclusión de que todos venimos de una madre común que vivió en África hace mucho tiempo. ¿Hace cuánto tiempo?

- a) 6,007 años
- b) 18,000 años
- c) 36,000 años
- d) 150,000 años

17. Hace unas semanas (en la primera semana de noviembre de 2003) hubo un eclipse de Luna. ¿En qué fase de la Luna ocurrió el eclipse?
- Luna llena
  - Luna nueva
  - cuarto menguante
  - cuarto creciente
18. En un principio, cuando se propuso que un meteorito de gran tamaño había caído a la Tierra en la época de la extinción de los dinosaurios, no se tenía ninguna señal de donde podría haber caído. Lo que se tenía era la evidencia de que había caído, pero no dónde. Una posibilidad era que hubiese caído en el mar. La preocupación de los geofísicos era que de haber caído en el mar, la probabilidad era grande de que se lo hubiese tragado el manto de la Tierra, pues el piso del océano se recicla, muy lentamente pero se recicla. Se sabe que en las zonas de subducción se hunde en el manto y en las zonas de dispersión sale del manto. ¿Suponiendo una velocidad de subducción de 5 cm/año, en 65 millones de años qué longitud de piso del océano desaparece en el manto en una zona de subducción?
- 32.5 km
  - 325 km
  - 3,250 km
  - 32,500 km
19. ¿Si el meteorito hubiese caído a 500 km al oeste de la costa de Acapulco, podríamos haberlo encontrado actualmente?
- sí, por supuesto
  - no, imposible
  - probablemente sí
  - probablemente no
20. Una teoría alternativa que explica la extinción de los dinosaurios se basa en que en la misma época hubo en la India una gran actividad volcánica. Cantidades enormes de lava se derramaron en el continente en un periodo relativamente corto, con consecuencias similares en la atmósfera que las producidas por la caída de un meteorito. ¿Cómo se le conoce en geología a este evento volcánico?
- Meridian Traps
  - Extinction Traps
  - Arizona Grand Traps
  - Deccan Traps
21. En la revista *New Scientist* (Oct. 4, 2003) se reportan los resultados de encuestas llevadas a cabo en 65 países por la organización *World Values Survey*, para evaluar el grado de felicidad de sus poblaciones. Evalúan lo que denominan el GNH (gross national happiness), a la manera como se evalúa el GNP (gross national product) en economía. Los países que tienen mayores GNP per cápita son los más ricos de la Tierra, y los que tienen mayores GNH per cápita son los más felices de la Tierra. ¿Qué país obtuvo el primer lugar en GNH en 2003?
- Portugal
  - México
  - Canadá
  - Nigeria
22. ¿Y qué país obtuvo el segundo lugar?
- Portugal
  - México
  - Canadá
  - Nigeria
23. Desde hace mucho tiempo se reconoció la correlación entre el color de la piel de los humanos y la latitud donde residen, o más bien donde residieron sus ancestros, pues en los últimos 500 años ha habido migraciones relativamente rápidas alrededor del globo. De alguna forma el color de la piel representa una respuesta evolutiva para la supervivencia. Sin embargo, no estaba del todo claro a qué se estaba respondiendo. Quedaba más o menos claro que a la radiación ultravioleta, pero no se sabía exactamente qué procesos estaban en juego que fueran tan importantes para la supervivencia. El cáncer de piel era el principal sospechoso. Sin embargo, el cáncer de piel por lo general se desarrolla después de que se ha alcanzado la madurez sexual, por lo que su impacto en la supervivencia de las poblaciones no sería de fuerte impacto. Además: ¿Qué ventaja tendría tener la piel blanca en latitudes donde se recibe poca radiación solar? Se trataría de una característica neutral. En los últimos años se han realizado avances que apuntan a que en cada caso existen ventajas reproductivas. Si el color de la piel es oscuro se está protegiendo la destrucción de sustancias que se ha probado tienen relación directa con la reproducción. ¿De qué sustancia se trata?
- vitamina D
  - folatos
  - hormonas reproductivas
  - vitaminas en general
24. Por otra parte, en latitudes donde se recibe poca radiación solar, si se tiene piel oscura no se logra sintetizar otra sustancia que se ha descubierto que tiene relación directa con la reproducción. De esta manera tener piel blanca en altas latitudes resulta en una ventaja. ¿De qué sustancia se trata?
- vitamina D
  - folatos
  - hormonas reproductivas
  - vitaminas en general

25. Se ha estimado que el volumen de sedimentos que ha acumulado el Río Colorado en su delta es de 75,000 km cúbicos. Si el delta se aproxima por un prisma de 100x200xespesor (km) ¿Cuál es el espesor promedio del delta?

- a) 3.7 m
- b) 37 m
- c) 370 m
- d) 3,700 m

- a) corrientes marinas más rápidas
- b) alta presión
- c) polvo en el ambiente
- d) mayor evaporación

Recepción del manuscrito: 10 de diciembre, 2003

Aceptación del manuscrito: 20 de febrero, 2004

26. Considerando el espesor calculado en la pregunta anterior y el hecho que el Río Colorado tiene 4 millones de años desembocando en el Mar de Cortés ¿Cuál es el espesor promedio de sedimentación por año?

- a) 0.1 mm
- b) 0.3 mm
- c) 1.0 mm
- d) 3.0 mm

27. ¿Cada cuándo te cortas las uñas de las manos? La velocidad de las placas tectónicas terrestres es, en promedio, de 5 cm por año. Esta es más o menos la misma razón de crecimiento de las uñas de los humanos. ¿A cuanto equivale esta cantidad por semana?

- a) 0.01 mm
- b) 0.3 mm
- c) 1.0 mm
- d) 3.0 mm

28. ¿Cuánto tardaría un continente que se mueva continuamente a 5 cm/año en darle una vuelta a la Tierra?

- a) un Ma
- b) diez Ma
- c) cien Ma
- d) mil Ma

29. En 1993 se decretó en México casi un millón de hectáreas como zona protegida en el Alto Golfo de California para proteger a la vaquita marina. Esto equivale a un cuadrado de: ¿Cuántos km de lado?

- a) 100
- b) 70
- c) 10
- d) 1000

30. En el último evento de vientos de Santa Ana (oct-nov 2003) se confirmó una disminución de la temperatura del mar en las costas de Baja California, contrariamente a lo que podría esperarse, pues el aire está mucho más caliente que en condiciones normales. La disminución en un evento de Santa Ana fuerte puede llegar a un grado centígrado. El fenómeno puede explicarse porque existen factores que quienes no estamos familiarizados con el fenómeno no tomamos en cuenta. ¿De qué factores se trata?



## ADOLFO MOLINA-CRUZ



Intentar hacer la semblanza de una persona prolífica, no sólo en los aspectos académicos, sino primordialmente en su desempeño como ser humano, no es tarea fácil.

Adolfo Molina Cruz es, antes que nada, un compañero, un colega, un dedicado profesor: en suma, un ser comprometido con sus semejantes desde diversas palestras. Tal vez, por eso, resulta difícil describir una visión caleidoscópica de Adolfo...tal vez, cada cual, tenga su propia visión según como haya cruzado su camino con él.

De lo que no queda duda es que, en sus "ires" y "venires", ha "hecho camino" y ha dejado su personal huella en personas e instituciones.

El profesor Adolfo Molina-Cruz fue el primer profesional graduado en Oceanología en México por la Universidad Autónoma de Baja California, en mayo de 1968, y obtuvo los grados de maestría y doctorado en Oceanografía Geológica en la Universidad Estatal de Oregon en los años de 1975 y 1977, respectivamente.

Inició su vida laboral profesional en la Gerencia de Exploración de Petróleos Mexicanos, desempeñándose como paleosedimentólogo en el año de 1968.

Luego de obtener su doctorado ingresó al CICESE, en Ensenada, como Investigador Titular. Fue pionero en la investigación paleoceanográfica de ambientes del Pacífico y del Golfo de California, e impartió cursos de posgrado en Oceanografía Geológica.

En 1981 se incorporó como investigador del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de nuestra Máxima Casa de Estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, y actualmente es Investigador Titular "C" en la línea de investigación de Oceanografía Geológica, en el mismo Instituto.

En las últimas tres décadas su labor ha sido continua, constante y determinada en actividades de investigación, docencia y extensión cultural. Su contribución científica ha sido prolífica y se ve reflejada en los más de 50 artículos publicados sobre oceanografía, paleoceanografía, micropaleontología y sedimentología, en diversas

regiones del mundo, particularmente en el Golfo de California y en el Pacífico Subtropical Suroriental. Las más de 500 veces que han sido referidos sus artículos científicos constituyen una clara evidencia de lo trascendente de su trabajo.

El Dr. Molina Cruz ha sido invitado en diversas ocasiones para actuar como jurado de tesis doctorales en universidades prestigeadas de Estados Unidos, Noruega y España, entre otras.

Por lo que respecta a su labor en la formación de recursos humanos y en la consolidación de la línea de investigación de paleoceanografía y oceanografía geológica en la UNAM, no puede dejar de mencionarse su destacada actuación como profesor del curso de Oceanografía Geológica, desde hace más de 20 años, además de haber formado más de 20 maestros y doctores. Otra muestra de su apasionada dedicación en este campo es que los paleoceanógrafos formados en los últimos años en nuestro país, se han desarrollado bajo su dirección o bien bajo su asesoría.

Adolfo Molina pertenece al Sistema Nacional de Investigadores desde su creación y es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias desde 1985. En 1996 recibió el Reconocimiento al Merito Profesional de la Universidad Autónoma de Baja California. También ha realizado estancias de investigación en la Universidad de Salamanca y la Universidad de Kiel.

Imponerse una reseña completa de la intensa y nutrida actividad científica y docente del distinguido científico mexicano, corre el riesgo inevitable de las omisiones, por lo que resulta más ilustrativo incluir, en esta resumida crónica, una selección de textos escritos por quienes han compartido con él su trayectoria académica.

*"Adolfo is an outstanding scientist whom we have been pleased to work with over many years and have always greatly admired him as a person and his accomplishments at UNAM. Donn Gorsline and I both consider him a friend and supporter of our own research in the Gulf of California. We greatly appreciated his kind support and help over the years. All of us feel that his contributions to understanding the marine geology and*

*paleoceanography of the Gulf have paved the way for the rest of us. Adolfo has built a great legacy to Mexican paleoceanography in the students that he has taught and his many papers...*

Robert Douglas  
Univeristy of Southern California, LA, USA

*"... Hoy la oceanografía y la paleoceanografía en México no son lo que eran hace treinta años, los pequeños trabajos, las pequeñas o grandes batallas del día a día, algunas seguramente perdidas, pero después mirando hacia atrás con la perspectiva del tiempo, ves que mereció la pena."*

Francisco Javier Sierro-Sánchez  
Universidad de Salamanca, España

*Dear Adolfo,*

*Remember the beautiful days in Corvallis, in Kiel and at sea! Your contributions to paleoceanography are a legacy to all of us, and we are happy that paleoceanography and micropaleontology are flourishing in*

*Mexico, thank you! We are all with you in these days!*

*All the best,*

Jörn Thiede  
Alfred-Wegener-Institut für Polar und  
Meeresforschung  
Bremerhaven, Deutschland.

*... "el reconocimiento de su labor en México como pionero de la Paleoceanografía, como impulsor de nuevos investigadores, por su apoyo científico y sobre todo humano a muchos de nosotros que tratamos de seguir sus huellas y los caminos que el abrió."*

*.. Creo que no se puede entender la evolución de nuestro particular quehacer en México de no haber sido por su largo peregrinaje, en solitario, durante muchos años, al que sólo al final y muy parcialmente los demás hemos tratado de arrimar un hombro."*

Juan Carlos Herguera  
CICESE, Ensenada, México

*"En el ambiente que nos desarrollamos, tanto de docencia como de investigación, tenemos la oportunidad de conocer a muchas personas que de una u otra manera enriquecen nuestro conocimiento y nos dejan ver que la entrega a una disciplina genera frutos de buena calidad. De manera personal agradezco al Dr. Adolfo Molina por ser una de esas personas quien ha participado en mi formación académica ..."*

Janette M. Murillo de Nava  
CICIMAR, La Paz, México

*"Cuando la Licenciatura en Ciencias del Mar en la Universidad de Vigo estaba dando sus primeros pasos, Adolfo aceptó, como siempre de buen grado, mi invitación a impartir una conferencia. Sus enseñanzas fueron muy valoradas por los estudiantes y profesores que tuvimos el placer de escucharle. Pero como siempre, Adolfo no se limitó a transmitir parte de los muchos conocimientos que posee, sino que además tuvo unas palabras de ánimo hacia los alumnos, los cuales contemplaban con cierta zozobra su futuro profesional. Quiero pensar que, al menos algunos de ellos, se sintieron ratificados en el camino que habían emprendido y creyeron con más fuerza en un trabajo gracias al entusiasmo que él transmitía."*

Guillermo Francés Pedraz  
Universidad de Vigo, España

*... "Your illness is now something that you and we are aware of and we therefore today will honour you as: A friend! A Colleague! A reputed scientist! A teacher in oceanography! And finally: You are an honest man with good manners, a man whom I highly respect and sincerely love!"*

*Adolfo, my dear friend and colleague, we are celebrating you today, and I therefore hope you will have a good day, rich in memories. All the best greetings from your friend in Oslo! God bless you Adolfo.*

*A toast to the oceanographer and radiolarist*

*DR. ADOLFO MOLINA-CRUZ!!!*

Kjell R. Bjørklund,  
Geological Museum, Paleontology, Oslo, Norway

Compilación: Ligia Pérez-Cruz, Adela Monreal-Gómez & Luis Gustavo Álvarez.

Recepción del manuscrito: 19 de mayo, 2004

## DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 2003

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 estatus. La base de datos permite 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, lo invitamos a que verifique si sus datos están correctos y completos y, en caso de que exista algún error u omisión, nos lo haga saber vía correo electrónico ([ugm@cicese.mx](mailto:ugm@cicese.mx)) o por medio de nuestra página (<http://www.ugm.org.mx>). 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.

	<b>UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA</b> • <b>Membresía 2004</b> •
<b>Rolando Labacha</b> Miembro # 999	
<b>IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra Juriquilla, Qro., México 1 al 5 Noviembre de 2004</b>	<b>E-mail: <a href="mailto:ugm@cicese.mx">ugm@cicese.mx</a> Internet: <a href="http://www.ugm.org.mx">http://www.ugm.org.mx</a></b>



No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Nombre	Institución	Correo Electrónico
1	298	X							Aceves Quesada Fernando	UNAM	
2	405						X		Aguayo Ríos Alejandra	UNAM	ale@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
3	16	X	X	X			X		Aguirre Díaz Gerardo J.	UNAM	gjad@geociencias.unam.mx
4	360			X	X				Aguirre González Jorge	UNAM	joagg@pumas.iingen.unam.mx
5	457							X	Aguirre Sáenz Benito	UACH	baguirre@uach.mx
6	13	X	X		X	X	X	X	Alaniz Álvarez Susana A.	UNAM	alaniz@geociencias.unam.mx
7	444							X	Alarcon Ferreira Ana María	CENAPRED	mariana@cenapred.unam.mx
8	153		X		X				Alatorre Zamora Miguel Ángel	UDG	alatorre@quantum.ucting.udg.mx
9	15	X	X		X	X	X		Alatriste Vilchis David Rey	UNAM	david_alatriste@yahoo.com
10	288	X	X	X	X	X		X	Alva Valdivia Luis Manuel	UNAM	lalva@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
11	379					X	X		Alvarado Cano Rodney Radames	UAZ	elcano@elfoco.com
12	403						X	X	Álvarez Béjar Román	UNAM	rab@eibniz.iimas.unam.mx
13	4	X	X	X	X				Álvarez Borrego Josué	CICESE	josue@cicese.mx
14	3	X	X	X	X	X		X	Álvarez Borrego Saúl	CICESE	saul@cicese.mx
15	296	X							Álvarez Manilla Alfonso	IMT	amanilla@imt.mx
16	152	X			X				Álvarez Sánchez Luis Gustavo	CICESE	lalvarez@cicese.mx
17	154				X	X			Amador Buenrostro Alberto	CICESE	aamador@cicese.mx
18	8	X	X	X	X	X			Aragón Arreola Manuel de Jesús	CICESE	maragon@pangea.cicese.mx
19	157			X	X		X		Aranda Gómez Jorge Javier	UNAM	jjag@geociencias.unam.mx
20	14	X		X	X	X			Arellano Gómez Víctor Manuel	IIE	vag@axp2.iie.org.mx
21	156		X						Arellano Guadarrama José Fco.	CFE	
22	18				X			X	Argote Espinoza María Luisa	CICESE	argote@cicese.mx
23	17		X			X			Armenta Hernández María Aurora	UNAM	victoria@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
24	12			X					Arredondo Frago José	CFE	cfefin@mail.giga.com
25	372				X	X	X	X	Arreygüe Rocha Eleazar	UMICH	arrocha@zeus.umich.mx
26	384					X			Arteaga Flores Lorenzo	INEGI	
27	10			X					Arzate Flores Jorge Arturo	UNAM	arzatej@geociencias.unam.mx
28	351				X				Ávila Serrano Guillermo E.	UABC	gavila@bahia.ens.uabc.mx
29	160	X	X	X	X	X	X	X	Axen Gary	UCLA	gaxen@ess.ucla.edu
30	390					X			Backstrom Lars	UNAM	backstrom_lars@hotmail.com
31	161	X	X	X	X	X	X	X	Bandy William L.	UNAM	bandy@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
32	22	X	X	X	X	X	X	X	Barajas Díaz Pablo	ITESO	pablobd@colima.com
33	23					X	X		Barradas Miranda Víctor Luis	UNAM	vbarrada@miranda.ecologia.unam.mx
34	24	X		X	X	X		X	Barragán Reyes Rosa María	IIE	rmb@iie.org.mx
35	361				X				Bautista Belmonte Aarón	IPN	sjimenez@vmredipn.ipn.mx
36	317			X		X			Bautista Romero José Jesús	CIBNOR	jbautro@cibnor.mx
37	162		X						Beier Martín Emilio José	CICESE	ebeier@cicese.mx
38	25					X	X		Belmonte Jiménez Salvador	IPN	sbelmont@prodigy.net.mx
39	462								Benammi Mouloud	UNAM	mouloud
40	20	X	X						Bermúdez Angulo María Luisa	UNAM	maria@gea.iingen.unam.mx
41	208			X					Bermúdez Juárez María Blanca	BUAP	bbj@xanum.uam.mx
42	324		X						Bernal Franco Gladys	UABC	gbernal@bahia.ens.uabc.mx
43	29			X		X			Birkle Peter	IIE	birkle@iie.org.mx
44	28	X	X	X	X	X	X	X	Böhnel Norbert Harald	UNAM	harald@geociencias.unam.mx
45	467								Borboa Gómez Martín	ATLANTICA	m_borboa@yahoo.com
46	426						X		Bote Cab Gilmer Eduardo	ITLP	eduardobotec@hotmail.com
47	27		X						Brassee Ochoa Jesús	CICESE	jbrassee@geofisica.cicese.mx
48	21	X		X	X		X	X	Bravo Cabrera José Luis	UNAM	jbravo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
49	19	X		X	X			X	Brito Castillo Luis	CIBNOR	lbrito@cibnor.mx
50	26	X	X						Buendía Carrera Enrique	UNAM	
51	275	X	X	X	X	X		X	Bulgakov Sergey N.	UDG	sbulgano@udgserv.cencar.udg.mx
52	232	X	X						Burrola Sánchez María Sara	CIBNOR	sburrola@cibnor.mx
53	166		X	X					Caballero Miranda Cecilia	UNAM	maga@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
54	318			X				X	Cabral Cano Enrique	UNAM	ecabral@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
55	396						X		Calderón Macías Carlos	IMP	ccalderon@imp.mx
56	33		X	X	X	X			Calmus Thierry	UNAM	tcalmus@servidor.unam.mx
57	399						X		Camarillo Barranco Lucio		
58	143		X	X	X	X			Campa Uganda María Fernanda	UAEG	mfernanda@data.net.mx
59	347					X			Campos Emilano	UNAM	camposm@servidor.unam.mx
60	167	X	X		X	X			Campos Enriquez Oscar	UNAM	ocampos@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
61	214			X					Candela Pérez Julio	CICESE	jcandela@cicese.mx
62	258	X	X	X	X	X			Cañón Tapia Edgardo	CICESE	ecanon@pangea.cicese.mx
63	34	X	X	X	X	X		X	Carbajal Pérez Noel	IPICYT	noelc@ipicyt.edu.mx
64	243	X							Carbonell Ramón	CSIC	rcarbonell@ija.csic.es
65	36		X						Carcione José M.	OGS	
66	165	X				X		X	Cárdenas Soto Martín	UNAM	martinc@servidor.unam.mx
67	395						X		Carranza Castañeda Oscar	UNAM	oscar@geociencias.unam.mx
68	169	X			X				Carrasco Núñez Gerardo	UNAM	gerardoc@geociencias.unam.mx
69	168	X	X		X				Carreño Ana Luisa	UNAM	anacar@servidor.unam.mx
70	310			X					Carrillo García Verónica Karina	CENAM	vcarrill@cenam.mx
71	435							X	Castillo Roman Jose	CUPD	jocaroman@hotmail.com
72	412						X		Castillo Romano Cervando	IMTA	cervando@tlaloc.imta.mx
73	284	X	X	X					Castrejón González Israel	UAEG	
74	235	X		X	X				Castrejón Pineda Héctor Ricardo	UNAM	castrejo@sacbe.fi-a.unam.mx



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003 Continuación

No.	Miembro	Dirección	C.P.	Ciudad	Estado	País
1	298	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
2	405	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
3	16	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
4	360	Hueycalco 20, San Andrés Ahuayucán Xochimilco	16810	México	D.F.	México
5	457	Cd. Universitaria s/n		Chihuahua	Chih.	México
6	13	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
7	444	Av. Delfín Madrigal 665, Col. Pedregal de Santo Domingo	04360	México	D.F.	México
8	153	Prol. El Mediero 517, Mod. F-201, Col. San Gilberto	45150	Zapopan	Jal.	México
9	15	Temaca 6241, Col. Aragón Inguarán	07820	México	D.F.	México
10	288	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
11	379	Hda. El Cuidado 11, Fracc. Nuevo Bernárdez	98600	Guadalupe	Zac.	México
12	403	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
13	4	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
14	3	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
15	296	Circuito Jardín 356, 3, Col. Álamos 3ª Sección	76160	Querétaro	Qro.	México
16	152	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
17	154	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
18	8	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
19	157	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
20	14	Av. Reforma 113, Col. Palmira	62490	Temixco	Mor.	México
21	156	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero, Cerro Prieto	21100	Mexicali	B.C.	México
22	18	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
23	17	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
24	12	Alejandro Volta 655, Col. Electricistas	58290	Morelia	Mich.	México
25	372	Pino Humboldtzi 392, Fracc. Los Pinos	58080	Morelia	Mich.	México
26	384	Salto de los Salados 409, Fracc. Ojo Caliente	20190	Aguascalientes	Ags.	México
27	10	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
28	351	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
29	160	P.O. Box 951567, UCLA	90095-1567	Los Ángeles	California	EUA
30	390	Verdi 412, Col. León Moderno	37480	León	Gto.	México
31	161	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
32	22	Manuel M. Dieguez 539, , Zona Centro	44600	Tlaquepaque	Jal.	México
33	23	Apdo. Postal No. 70-275, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
34	24	Av. Reforma 113, Col. Palmira	62490	Temixco	Mor.	México
35	361	Meza de Anahuac 17-A, Col. Volcanes		Oaxaca	Oax.	México
36	317	Lic. Primo Verdad 206, Depto 7, Zona Centro		La Paz	B.C.S	México
37	162	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
38	25	Mesa de Anahuac 207-A, Col. Volcanes	68020	Oaxaca	Oax.	México
39	462	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
40	20	Calle 128A 2915, Depto. 403	70472	Sta. Fé de Bogota	Bogota	Colombia
41	208	Priv. 29 Ote. 1816, Col. Mirador	72540	Puebla	Pue.	México
42	324	Villa de San Miguel 36, Fracc. San Miguel	22760	Ensenada	B.C.	México
43	29	Apdo. Postal No. 1-475	62001	Cuernavaca	Mor.	México
44	28	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
45	467	VID 282 282, Nueva Santa Maria	02800	México	D.F.	México
46	426	Márquez de León 343, , Col. Centro	23000	La Paz	B.C.S	México
47	27	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
48	21	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
49	19	Km 2.35, Camino al Tular, Estero de Bacochibampo	85454	Guaymas	Son.	México
50	26	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
51	275	Av. Vallarta 2602, Sector Juárez	44100	Guadalajara	Jal.	México
52	232	Km 2.35, Camino al Tular, Estero de Bacochibampo	85465	Guaymas	Son.	México
53	166	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
54	318	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
55	396	Pino 8, Col. Lomas Quebradas	10000	México	D.F.	México
56	33	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centro	83000	Hermosillo	Son.	México
57	399	Anaxágoras 814, Col. Narvarte	03020	México	D.F.	México
58	143	Hda. Xajay 426, Fracc. Hda. Echegaray	53300	Naucalpan	EdoMex.	México
59	347	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
60	167	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
61	214	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
62	258	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
63	34	Apdo. Postal No. 3-74	78231	Tangamanga	S.L.P.	México
64	243	Lluis Solé i Sabaris s/n	8028	Barcelona	Barcelona	España
65	36	P.O. Box 2011	34016	Opicina	Trieste	Italia
66	165	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
67	395	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
68	169	Apdo. Postal No. 1-742, Zona Centro	76001	Querétaro	Qro.	México
69	168	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
70	310	Cerrada Heriberto Jara 18, Fracc. V. Querétaro	76000	Querétaro	Qro.	México
71	435	3 Sur 303 Altos, Centro Histórico	72000	Puebla	Pue.	México
72	412	Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec	62550	Jiutepec	Mor.	México
73	284	Ex-Hacienda de San Juan Bautista , Taxco El Viejo	40200	Taxco	Gro.	México
74	235	10 Oeste Manzana 33, Lote 6, Col. Isidro Fabela	14030	México	D.F.	México



## UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Nombre	Institución	Correo Electrónico
75	31	X	X	X	X	X	X	X	Castro Escamilla Raúl	CICESE	raul@sismo.cicese.mx
76	30	X		X					Castro Govea Renato	UNAM	
77	32		X						Castro Leyva Teresa	IMP	tcastro@agi-cdc.com.mx
78	437							X	Castro Valdes Ruben	UABC	rubenc@uabc.mx
79	6					X			Centeno García Elena	UNAM	
80	35		X		X	X			Cerca Martínez Luis Mariano	UNAM	mcerca@geociencias.unam.mx
81	37						X	X	Cervantes Duarte Rafael	IPN	rcervan@ipn.mx
82	459								Cervantes Pérez Juan	LIV	jcervantes@uv.mx
83	391					X			Cervantes Sánchez Alfredo	LIAT	alcervan@uamac.uat.mx
84	285	X	X						Charre Meza Adolfo Salomé	IMP	acharre@yahoo.com
85	41				X				Chávez Cabello Gabriel	UANL	gchavez@ccr.dsi.uanl.mx
86	409						X		Chávez González Mario	UNAM	chavez@servidor.unam.mx
87	43		X	X	X	X	X	X	Chávez Pérez Sergio		
88	158			X	X	X			Choumline Evguine	IPN	eshumili@vmredipn.ipn.mx
89	272	X							Cifuentes Nava Gerardo	UNAM	gercifue@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
90	336		X	X	X	X	X	X	Cisneros Stoianowski Gerardo	SILICON	gerardo@cray.com
91	364				X	X		X	Concha Dimas Aline	UN	aline@scs.unr.edu
92	341			X					Contreras Pérez Juan	CICESE	juanc@pangea.cicese.mx
93	394						X		Cordero Ángeles Edgar	UNAM	once25@yahoo.com
94	244	X	X	X		X			Córdoba Barba Diego	UCM	dcordoba@eucmos.sim.ucm.es
95	303		X	X					Corona Chávez Pedro	UMICH	pcorona@zeus.umich.mx
96	38	X							Corona Ruiz Martín	CFE	
97	248	X							Correa Mora Francisco	UNAM	pancho@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
98	333		X	X		X			Cortés Abel	UCOL	cortes@cgic.ucol.mx
99	427						X		Cosio Castro Héctor Guillermo		kraftwer@yahoo.com
100	452							X	Cossio Torres Tomás	UANL	
101	315			X	X				Cruz Atienza Víctor Manuel	FJBS	victor@ollin.igeofcu.unam.mx
102	39	X	X	X	X	X	X	X	Cruz Castillo Manuel	IMP	mcruzcc@imp.mx
103	450							X	Cruz Medina Isidro Roberto	ITSON	
104	371				X				Cruz Orozco Rodolfo	UABCS	rroca@balandra.uabcs.mx
105	163		X						Cuenca Julio César	UNAM	julio@gea.iingen.unam.mx
106	304		X						Cupul Magaña Amilcar Levi	UDG	amilcarc@pv.udg.mx
107	245	X	X	X					Dañobeitia Juan José	CSIC	jjdanobeitia@ija.csic.es
108	172	X				X			Davydova Belífskaya Valentina	UDG	vdavidov@udg.serv.cencar.udg.mx
109	45		X	X				X	De laCruz Reyna Servando	UNAM	sdelacruz@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
110	46				X				De León Gómez Héctor	UANL	hdeleon@ccr.dsi.uanl.mx
111	418					X			De Mets Charles Dennis	UIW	chuck@geology.wisc.edu
112	44	X	X	X	X	X		X	DeCserna Gömbös Zoltan	UNAM	
113	357			X	X				Del Río Jesús Antonio	UNAM	antonio@servidor.unam.mx
114	49	X	X	X	X	X	X	X	Delgado Argote Luis Alberto	CICESE	ldelgado@pangea.cicese.mx
115	47	X		X					Delgado Contreras Juan Antonio	CICESE	jdelgado@cicese.mx
116	170		X	X	X		X		Delgado Granados Hugo	UNAM	hugo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
117	305		X	X	X				Díaz Navarro Ricardo	IMP	rdiazn@imp.mx
118	440							X	Díaz Viera Martín Alberto	UNAM	mdiaz@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
119	205	X	X	X	X				Diego Orozco Arturo	IMP	adiago@imp.mx
120	50			X		X	X		Dominguez Reyes Tonatiuh	UCOL	tonatiuh@ucol.mx
121	468							X	Durand Manterola Héctor Javier	UNAM	
122	48						X		Durazo Arvizu Reginaldo	UABC	rdurazo@faro.ens.uabc.mx
123	171	X	X	X	X	X	X		Dworak Robinson Juan A.	SEP	jdworak@cicese.mx
124	252	X							Eliás Herrera Mariano	UNAM	elias@servidor.unam.mx
125	257				X	X		X	Escalona Alcázar Felipe de Jesús	GODEZAC	fescalona@hotmail.com
126	173			X					Escobar Sánchez Alejandra	UANL	
127	51	X	X	X	X				Esparza Hernández Francisco Javier	CICESE	fesparz@geofisica.cicese.mx
128	52	X	X	X	X	X	X		Espíndola Castro Juan Manuel	UNAM	jme@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
129	53	X	X	X	X			X	Espinosa Cardeña Juan Manuel	CICESE	jespinos@geofisica.cicese.mx
130	55	X			X				Fabriol Beauville Hubert	BRGM	h.fabriol@brgm.fr
131	464							X	Farfán Molina Luis M	CICESE	farfane@cicese.mx
132	174	X	X	X	X	X	X	X	Farreras Sanz Salvador	CICESE	sfarrera@cicese.mx
133	54	X	X		X	X	X	X	Ferrari Luca Pedraglio	UNAM	luca@geociencias.unam.mx
134	85	X	X	X	X	X		X	Filonov Anatoly E.	UDG	afilonov@udg.serv.cencar.udg.mx
135	59	X	X						Fletcher John Mackrain	CICESE	jfletche@pangea.cicese.mx
136	299	X							Flores Cruz Fernando		
137	362				X				Flores Estrella Hortencia	UNAM	flori@data.net.mx
138	175	X	X	X	X	X		X	Flores Luna Carlos Francisco	CICESE	cflores@geofisica.cicese.mx
139	375					X	X		Flores Maciel Roberto	UDG	romaciel@cucba.udg.mx
140	130		X			X	X	X	Flores Saldaña Ricardo	IIE	rsf@p.ile.org.mx
141	58	X	X	X	X	X	X	X	Frez Cándenas José	CICESE	jofrez@cicese.mx
142	300	X	X	X	X	X			Fuentes Vargaz Carlos	UNAM	carlos@geociencias.unam.mx
143	64	X	X	X	X	X			Galicia Pérez Marco Antonio	UCOL	galicia@volcan.ucol.mx
144	255	X	X						Gállegos Cruz Apolonio	IPN	
145	350				X	X		X	Garatuza Paján Jaime	ITSON	garatuza@yaqui.itson.mx
146	378					X			García Daniel	UANL	
147	62	X	X	X	X	X	X		García Abdieslem Juan	CICESE	jpgarcia@geofisica.cicese.mx
148	63	X	X	X	X	X	X	X	García Arthur Roxaía Eugenia	CICESE	arthur@cicese.mx



## UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003 Continuación

No.	Miembro	Dirección	C.P.	Ciudad	Estado	País
75	31	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
76	30	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
77	32	Apdo. Postal No. 224	24101	Cd. del Carmen	Camp.	México
78	437		22830	Ensenada	B.C.	México
79	6	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
80	35	Apdo. Postal No. 1-742, Zona Centro	76001	Querétaro	Qro.	México
81	37	Av. IPN s/n, Playa Palo de Santa Rita	23096	La Paz	B.C.S.	México
82	459	Av. Lazaro Cardenas 47, Hidalgo	91140	Xalapa	Ver.	México
83	391	Matamoros entre 8 y 9, Zona Centro	87000	Ciudad Victoria	Tamp.	México
84	285	Av. Universidad 12, Col. Petrolera	24180	Cd. del Carmen	Camp.	México
85	41	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. de Guadalupe	67700	Linares	N.L.	México
86	409	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
87	43	Shetland 348, Col. Cosmopolita	02670	México	D.F.	México
88	158	Apdo. Postal No. 592	23000	La Paz	B.C.S.	México
89	272	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
90	336	Av. Vasco de Quiroga 3000, Col. Santa Fé	01210	México	D.F.	México
91	364	Macklay School of Mines 172	89557-0138	Reno	Nevada	EUA
92	341	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
93	394	24 de Febrero 6, Col. Polvora, Primera Sección	01100	México	D.F.	México
94	244	Av. Complutense s/n	28040	Madrid	Madrid	España
95	303	Edificio U., Cd. Universitaria	58070	Morelia	Mich.	México
96	38	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero, Cerro Prieto	21100	Mexicali	B.C.	México
97	248	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
98	333	Av. 25 de Julio 965, Col. Villas San Sebastián	28045	Colima	Col.	México
99	427	U. Misioneros, Edificio 621, Depto. 301, Col. Turapan		La Paz	B.C.S.	México
100	452	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. de Guadalupe	67700	Linares	N.L.	México
101	315	5 de Mayo 117, Col. Tepepan	16020	México	D.F.	México
102	39	Av. Volcán Fernandina 92, Col. El Mirador	14449	México	D.F.	México
103	450	5 de Febrero 818 Sur, Zona Centro		Ciudad Obregón	Son.	México
104	371	Carret. Al Sur, Km 5.5	23080	La Paz	B.C.S.	México
105	163	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
106	304	Av. Universidad de Guadalajara 203, Deleg. Ixtapa	48280	Puerto Vallarta	Jal.	México
107	245	Lluís Solé i Sabaris s/n	8028	Barcelona	Barcelona	España
108	172	San Francisco 606-PH 3100, Col. del Valle	03100	México	D.F.	México
109	45	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
110	46	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. de Guadalupe	67700	Linares	N.L.	México
111	418	W. Dayton St. 1215	53706	Madison	Wisconsin	EUA
112	44	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
113	357	Apdo. Postal No. 34	62580	Temixco	Mor.	México
114	49	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
115	47	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
116	170	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
117	305	Hda. Ajuluapan 107, Fracc. Hda. Echegaray	53310	Naucalpan	EdoMex.	México
118	440	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
119	205	Eje Central Lázaro Cárdenas 152, Col. San Bartolo Atepehuacán	07730	México	D.F.	México
120	50	Av. Universidad 333		Colima	Col.	México
121	468	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
122	48	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
123	171	Km 4, Carret. A Varadero Nacional, Sector Playitas	85425	Guaymas	Son.	México
124	252	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
125	257	Bld. López Portillo 30, C. Zona Centro	98600	Guadalupe	Zac.	México
126	173	Col. Fundadores	25015	Saltillo	Coah.	México
127	51	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
128	52	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
129	53	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
130	55	Avenue de Luminy, B.P. 167 117	13276		Marseille cedex 9	Francia
131	464	Miraflores 334, La Paz	23050	México	D.F.	México
132	174	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
133	54	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
134	85	Río Autlan 2180, 34, Sector Atlas	44421	Guadalajara	Jal.	México
135	59	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
136	299	Antonia Nava s/n, Col. Carmen Serdán	04910	México	D.F.	México
137	362	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
138	175	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
139	375	Juárez 975, Sector Juárez		Guadalajara	Jal.	México
140	130	Av. Reforma 113, Col. Palmira	62490	Temixco	Mor.	México
141	58	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
142	300	Plaza del Carmen 69, Col. Plazas del Sol, 2a. Sección	76090	Querétaro	Qro.	México
143	64	Apdo. Postal No. 275, Zona Centro	28200	Manzanillo	Col.	México
144	255	Te 950, Col. Iztacalco	08400	México	D.F.	México
145	350	5 de Febrero 818 Sur, Zona Centro		Cd. Obregón	Son.	México
146	378	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. de Guadalupe	67700	Linares	N.L.	México
147	62	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
148	63	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Nombre	Institución	Correo Electrónico
149	183				X				García Córdoba Joaquín Alberto	CICESE	joaquin@cicese.mx
150	377					X	X		García Cueto Rafael	UABC	rcueto@iing.mx.uabc.mx
151	181	X	X	X	X	X	X		García García Fernando	UNAM	fjgg@atmosfera.unam.mx
152	233				X		X	X	García Gutiérrez Alfonso	IIE	aggarcia@iie.org.mx
153	5					X	X		García López Ramón Victorino	UAS	rgarcia@uas.uasnet.mx
154	423						X		García Puga José Luis	UDG	puga@pv.udg.mx
155	184				X	X	X		García y Barragán Juan Carlos	UNAM	jcarlosg@servidor.unam.mx
156	178		X	X	X	X			Garduño López René	UNAM	rene@atmosfera.unam.mx
157	61	X	X		X			X	Garduño Monroy Víctor Hugo	UMICH	vgmonroy@zeus.umich.mx
158	182	X	X		X				Garef Ziehl Federico	CICESE	fgreif@cicese.mx
159	280			X					Garza Rocha Daniel	UANL	dagarza@ccr.dsi.uanl.mx
160	334		X	X	X				Gavilanes Ruiz Juan Carlos	UCOL	gavilan@cgic.ucol.mx
161	72	X	X	X	X	X		X	Gaviño Rodríguez Juan Heberto	UCOL	gavino@volcan.ucol.mx
162	180		X	X	X	X	X		Gay García Carlos	UNAM	cgay@servidor.unam.mx
163	74	X	X	X	X	X	X	X	Glowacka Ewa	CICESE	glowacka@cicese.mx
164	176				X		X		Gómez González Juan Martín	UNAM	gomez@geociencias.unam.mx
165	369				X	X		X	Gómez López David Roberto	UV	dgomez@xal.megared.net.mx
166	73	X	X	X	X	X	X		Gómez Treviño Enrique	CICESE	egomez@geofisica.cicese.mx
167	67	X	X	X	X	X	X		Gómez Valdés José	CICESE	jgomez@cicese.mx
168	292	X	X	X	X	X	X		González Fernández Antonio	CICESE	mindundi@pangea.cicese.mx
169	68	X	X		X				González García José Javier	CICESE	javier@cicese.mx
170	354				X	X	X		González Ibarra Alfonso	IMP	agibarra@imp.mx
171	69					X		X	González León Carlos M.	UNAM	cmgleon@servidor.unam.mx
172	471								González Matos O'Leary Fernando	CENAI	oleary@cenas.ciges.inf.cu
173	71		X						González Morales Carlos Alberto	CICESE	cgonzalez@cicese.mx
174	60			X					González Morán Tomás	UNAM	tglez@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
175	400						X		González Navarro Juan Ignacio	CICESE	ignaci@cicese.mx
176	70						X	X	González Pomposo Guillermo	BUAP	gugonzal@siu.buap.mx
177	366				X				González Yajimovich Oscar	UABC	
178	307		X						Gorsline Donn S.	USC	gorsline@earth.usc.edu
179	189	X	X						Grajales Nishimura Manuel	IMP	grajales@geologia.unam.mx
180	250	X	X			X	X	X	Green Ruiz María de Jesús	ODU	mxgreen@odu.edu
181	415					X		X	Grijalva Noriega Francisco Javier	UNISON	grijalva@marina.geologia.uson.mx
182	436							X	Grimalsky Volodymyr	INAOE	vgrim@inaoep.mx
183	66	X	X						Guerrero García José C.	UNAM	josec@servidor.unam.mx
184	466								Guerrero Grajeda Jose	UNAM	
185	65			X					Guerrero Guadarrama José Luis	CFE	geoexplo@mich1.telnet.net.mx
186	407						X		Guevara O. Enrique	CENAPRED	ego@cenapred.unam.mx
187	177					X			Gutiérrez de Velasco Guillermo	CICESE	ggutierr@cicese.mx
188	179				X				Guzmán Speziale Marco	UNAM	marco@geociencias.unam.mx
189	461								Gzebennikov Alexandre	UAP	agzebe@felm.buap.mx
190	76	X							Helenes Escamilla Javier	CICESE	jhelenes@pangea.cicese.mx
191	75		X	X	X	X		X	Herguera García Juan Carlos	CICESE	herguera@cicese.mx
192	251	X	X	X	X	X	X		Hernández Bernal María del Sol	UNAM	msol@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
193	259	X							Hernández Guerrero Joel	PEMEX	zyanya@hotmail.com
194	247	X							Hernández Treviño Teodoro	UNAM	thi@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
195	456							X	Hernández Walls Rafael	UABC	rwalls@uabc.mx
196	343					X			Herrera Aztegui Luis Eduardo	UNAM	electron@altavista.com
197	306		X						Herrera Charles Roberto	IPN	charles@citedi.mx
198	186					X			Herrera Revilla Ismael	UNAM	iherrera@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
199	188		X	X	X			X	Hinojosa Corona Alejandro	CICESE	alhinc@pangea.cicese.mx
200	187			X	X	X			Huerta López Carlos Isidro	CICESE	huerta@cicese.mx
201	289	X							Hughes Simon	UNAM	shuhes@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
202	77	X	X	X	X	X			Huidobro González Adolfo	UNAM	lermo@inti.iingen.unam.mx
203	78		X						Huizar Álvarez Rafael	UNAM	huizar@servidor.unam.mx
204	432							X	Hurtado Artunduaga Angel David	UNAM	adhurtado@yahoo.com
205	331		X	X	X	X	X		Hutton Wallis	UNAM	wallis@geology.wisc.edu
206	316			X					Iglesias Mendoza Arturo	FJBS	amg@tornado.com.mx
207	332		X						Israde Alcántara Isabel	UMICH	aisrade@zeus.umich.mx
208	80		X	X					Jacques Ayala César	UNAM	jacques@servidor.unam.mx
209	79		X						Jáuregui Ostos Ernesto	UNAM	ejos@atmosfera.unam.mx
210	340			X					Jiménez Sergio	UABC	
211	82	X							Jiménez Illescas Ángel R.	IPN	ajimenez@ipn9021.ipn.mx
212	81	X							Jiménez Jiménez Zenón	UNAM	zenon@ollin.igeofcu.unam.mx
213	442						X		Jiménez Romano Gerardo	CENAPRED	termica@cenapred.unam.mx
214	349				X	X			Jödicke Hartmut	UMUNSTER	jodike@earth.uni.munster.de
215	411					X			Juárez Aguilar Luis	IMP	ljuarez@imp.mx
216	190		X	X					Juárez Sánchez Faustino	UNAM	tino@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
217	90			X					Keller Torres Jaime	UNAM	keller@servidor.unam.mx
218	387					X			Kepile John Duncan	UNAM	duncan@servidor.unam.mx
219	138			X		X			Kishiyaga Svetlana S.	INAOE	sveltana@tonali.inaoep.mx
220	83	X	X	X	X	X		X	Kozlov Vladimir	UNAM	vladimir@ollin.igeofcu.unam.mx
221	438							X	Kotsarenko Anatoly	UNAM	kotsarenko@geociencias.unam.mx
222	84	X							Kouzoub Nikolai	UANL	nkouzoub@ccr.dsi.uanl.mx



## UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003 Continuación

No.	Miembro	Dirección	C.P.	Ciudad	Estado	País
149	183	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
150	377	Bldv. Benito Juárez s/n, Col. Insurgentes Este	21280	Mexicali	B.C.	México
151	181	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
152	233	Av. Reforma 113, Col. Palmira	62490	Temixco	Mor.	México
153	5	Galileo 1175, Col. Villa Universidad	80010	Culiacán	Sin.	México
154	423	Apdo. Postal No. 96-B	48280	Puerto Vallarta	Jal.	México
155	184	Luis Donaldo Colosio y Madrid s/n, Campus UNISON	83000	Hermosillo	Son.	México
156	178	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
157	61	Av. Rey Tariacuri 374, D, Col. Villabella	58090	Morelia	Mich.	México
158	182	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
159	280	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. de Guadalupe	67700	Linares	N.L.	México
160	334	Av. 25 de Julio 965, Col. Villas San Sebastián	28045	Colima	Col.	México
161	72	Apdo. Postal No. 275, Zona Centro	28200	Manzanillo	Col.	México
162	180	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
163	74	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
164	176	Apdo. Postal No. 1-742, Zona Centro	76001	Querétaro	Qro.	México
165	369	Mendez Alcalde 3, Col. Salud	91070	Xalapa	Ver.	México
166	73	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
167	67	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
168	292	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
169	68	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
170	354	Magdalena 410, Depto. 303, Col. Del Valle	03100	México	D.F.	México
171	69	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centro	83000	Hermosillo	Son.	México
172	471	Calle 17 61 e/4 y 6, Reparto Vista Alegre	90400	Santiago de Cuba	Santiago	Cuba
173	71	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
174	60	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
175	400	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
176	70	Bldv. Valsequillo y Circuito CU s/n, Cd. Universitaria		Puebla	Pue.	México
177	366	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
178	307	S. Vermont Ave. KAP-246 3620	90089-2538	Los Ángeles	California	EUA
179	189	Tokio 921, 202-B, Col. Portales	03300	México	D.F.	México
180	250	Elkhorn Ave. 4600	23529	Norfolk	Virginia	EUA
181	415	Alejandro García 522, Col. Jardines	83113	Hermosillo	Son.	México
182	436	Luis Enrique Erro 1, Col. Santa María Tonantzintla	72000	Puebla	Pue.	México
183	66	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
184	466	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
185	65	Alejandro Volta 655, Col. Electricistas	58290	Morelia	Mich.	México
186	407	Av. Delfín Madrigal 665, Col. Pedregal de Santo Domingo	04360	México	D.F.	México
187	177	Miraflores entre Mulegú y La Paz 334, Fracc. BellaVista	23050	La Paz	B.C.S	México
188	179	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
189	461	19 sur 3504-11, Reforma Agua Azul	72430	Puebla	Pue.	México
190	76	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
191	75	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
192	251	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
193	259	Av. Sitio Grande 2000, Edif. 3, Piso 1, Fracc. Carrizal	86035	Villahermosa	Tab.	México
194	247	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
195	456	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México
196	343	Cerro Chinaco 121, Col. Campestre Churubusco	04200	México	D.F.	México
197	306	Av. Del Parque 1310, Col. Mesa de Otay	25510	Tijuana	B.C.	México
198	186	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
199	188	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
200	187	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
201	289	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
202	77	Av. México 120, Col. Del Carmen	04100	México	D.F.	México
203	78	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
204	432	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
205	331	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
206	316	Siracusa 130, Edif. 5 B-22, Col. Lomas Estrella	09890	México	D.F.	México
207	332	Edificio U., Cd. Universitaria	58070	Morelia	Mich.	México
208	80	De la Rivera 21	83288	Hermosillo	Son.	México
209	79	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
210	340	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
211	82	Colegio Militar 192, Col. Esterito	23020	La Paz	B.C.S	México
212	81	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
213	442	1a. Cda. de Acanto, Manz. 73, Lote 21, Col. Ampl. Miguel Hidalgo	14250	México	D.F.	México
214	349	Corrensstr 24, D-48149	48149	Munster		Alemania
215	411	Talcolutla Edificio 17, Depto. 12, Fracc. Las Brisas	24178	Cd. del Carmen	Camp.	México
216	190	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
217	90	Fuente de la Juventud 64, Fracc. Tecamachalco	53950	Naucalpan	EdoMex.	México
218	387	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
219	138	Apdo. Postal No. 51	72000	Puebla	Pue.	México
220	83	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
221	438	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
222	84	Pedro Noriega Sur 569	67700	Linares	N.L.	México



## UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Nombre	Institución	Correo Electrónico
223	283	X		X	X	X			Kuraica Ogle	KINEMATRICS	sales@kmi.com
224	454							X	Ladrón de Guevara María A.	SEP	
225	40			X					Lara José Rubén	CICESE	rlara@cicese.mx
226	261	X					X		Lares Reyes María Lucila	CICESE	llares@cicese.mx
227	87	X	X	X		X		X	Lavín Peregrina Miguel Fernando	CICESE	mlavin@cicese.mx
228	192	X	X						Lázaro Mancilla Octavio	CICESE	olazarom@geofisica.cicese.mx
229	439							X	Leal Lupercio Juan Carlos	IMADES	jleal@cideson.mx
230	216	X	X	X	X	X		X	Ledesma Vázquez Jorge	UABC	ledesma@bahia.ens.uabc.mx
231	193	X		X	X		X	X	Lermo Samaniego Javier Francisco	UNAM	lermo@intl.iingen.unam.mx
232	385					X	X		Lesser Luis E.	ASU	lesser@asu.edu
233	443							X	Leyva Contreras Amando	UNAM	
234	262	X	X	X					Lira Herrera Héctor	CFE	
235	376					X	X	X	Lizarraga Celaya Carlos	UNISON	carlos@fisica.uson.mx
236	338		X	X					Lluch Cota Daniel Bernardo	CIBNOR	dblluch@cibnor.mx
237	339		X						Lluch Cota Salvador Emilio	CIBNOR	sluch@cibnor.mx
238	155		X					X	Lobato Sánchez René	IMTA	rlobato@tlaloc.imta.mx
239	414						X		López Dorcel Rubén	UASLP	rlopez@uaslp.mx
240	301			X				X	López Loera Héctor	UNAM	lopezdes@col1.telnet.net.mx
241	89	X			X				López Mariscal Juan Manuel	CICESE	malopez@cicese.mx
242	445							X	Lopez Martínez Cesar Honorio	CENAPRED	
243	308			X					López Martínez Juana	CIBNOR	jlopez@cibnor.mx
244	88	X	X	X	X	X			López Martínez Margarita	CICESE	marlopez@pangea.cicese.mx
245	380					X	X		López Pineda Leobardo	CESUJES	odranoel@yahoo.com
246	191	X							Lozada Zumaeta Manuel	IMP	mlozada@imp.mx
247	269	X	X			X			Machain Castillo María Luisa	UNAM	machain@ola.icml.unam.mx
248	91					X			Macías Vázquez José Luis	UNAM	macias@tonatihu.igeofcu.unam.mx
249	282	X							Magaña Rueda Víctor Orlando	UNAM	victormr@servidor.unam.mx
250	236			X	X	X			Makarov Vyacheslav G.	IPN	smakarov@redipn.ipn.mx
251	428						X		Malagón Montalvo Arturo	UDG	malagon_arturo@hotmail.com
252	429						X		Maldonado Sánchez Guadalupe	UNAM	magmaldonado@hotmail.com
253	368				X		X		Malshewsky Peter G.	UNIJENA	mali@geo.uni.jena.de
254	448							X	Marie Baur Juan Luis	REPSOL YPF	mariej@repsolypf.com
255	102	X					X		Marinone Moschetto S. Guido L.	CICESE	marinone@cicese.mx
256	93	X	X	X	X	X	X	X	Márquez Azúa Bertha	UDG	bmarquez@udgserv.cencar.udg.mx
257	381					X			Márquez García Antonio Zoilo	UAM	azmg@xanum.uam.mx
258	297	X	X						Márquez González Álvaro	UCM	alvaromg@eucmax.sim.ucm.es
259	164			X					Marshall Kyle Jeffrey	FANDM	i_marshall@fandm.edu
260	293	X	X	X	X	X		X	Martín Atienza Beatriz	CICESE	batienza@cicese.mx
261	2	X	X	X	X		X		Martín Barajas Arturo	CICESE	amartin@pangea.cicese.mx
262	348				X				Martínez DíazdeLeón Asdrúbal	UABC	asdrubal@faro.ens.uabc.mx
263	194	X	X	X	X	X	X		Martínez García Mario	CIBNOR	mmartine@cibnor.mx
264	9					X			Martínez Gutiérrez Genaro	UABCS	martingg@uabcs.mx
265	373					X			Martínez Hernández Enrique	UNAM	emar@servidor.unam.mx
266	408						X		Martínez Noriega César	UABCS	martinez@uabcs.mx
267	422						X		Martínez Retana Silvia	UNISON	
268	404						X		Martínez Reyes Juventino	UNAM	
269	92	X						X	Martínez Serrano Raymundo G.	UNAM	rms@tonatihu.igeofcu.unam.mx
270	273	X				X			Martínez Zatarain Alejandro	UDG	amartine@udgserv.cencar.udg.mx
271	96					X			Martiny Kramer Bárbara	UNAM	martiny@servidor.unam.mx
272	367				X				Mascareño Gastelum Ramón A.	UAS	alejandro_trami@hotmail.com
273	287	X	X	X	X	X		X	Matthes Miguel	APASCO	
274	313			X					Mazariegos Alfaro Rubén Alberto	PANAM	rubenm@panam.edu
275	200	X							Mejía Trejo Adán	UABC	amejia@bahia.ens.uabc.mx
276	97	X	X	X	X				Méndez Delgado Sóstenes	UANL	somendez@ccr.dsi.uanl.mx
277	198			X		X			Mendieta Jiménez Francisco Javier	CICESE	jmendiet@cicese.mx
278	11					X			Mengelle López Jorge Jaime	IPN	se_vinculacion@hotmail.com
279	274		X						Meulener Peña Ángel R.	UDG	ameulene@udgserv.cencar.udg.mx
280	57	X							Michaud Francois	UPMC	micho@ccrv.obs-vlfr.fr
281	94						X		Mikumo Kamura Takeshi	UNAM	mikumoto@ollin.igeofcu.unam.mx
282	323			X					Milan Valdés Marcos	IPN	milan@mexico.com
283	202						X		Miranda Ubaldo	IIE	umiranda@iie.org.mx
284	98					X			Mitre Salazar Luis Miguel	UNAM	lmitre@geociencias.unam.mx
285	388					X	X		Molina Garza Roberto	UNAM	rmolina@geociencias.unam.mx
286	99	X	X		X		X	X	Montesinos Silva Genaro	UGTO	genaros@dulcinea.ugto.com
287	419						X		Montijo González Alejandra	UNISON	amontijo@geologia.uson.mx
288	196		X	X		X	X	X	Monzón César Octavio	UDG	monzon@cucei.udg.mx
289	195						X	X	Moraila V. Carlos Ramón	UAS	cmoraila@uas.uasnet.mx
290	203			X					Morales Blake Alejandro	UCOL	mblake@volcan.ucol.mx
291	197	X	X			X			Moran Zenteno Dante Jaime	UNAM	dante@tonatihu.igeofcu.unam.mx
292	101	X	X	X	X	X			Morandi Soana María Teresa	ULA	maria@ciens.ula.ve
293	455							X	Moreles Vázquez Miguel Ángel	CICESE	moreles@cicese.mx
294	472								Moreno Toiran Bladimir	CENAISS	bladimir@sssn.ciges.inf.cu
295	270	X	X		X	X		X	Mortera Gutiérrez Carlos A.	UNAM	carlosm@ollin.igeofcu.unam.mx
296	406						X		Mouloud Bennami	UNAM	



## UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003 Continuación

No.	Miembro	Dirección	C.P.	Ciudad	Estado	País
223	283	Vista Avenue 222	91107	Pasadena	California	EUAA
224	454					
225	40	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
226	261	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
227	87	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
228	192	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
229	439	Reyes y Aguascalientes s/n, Col. San Benito	83190	Hermosillo	Son.	México
230	216	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
231	193	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
232	385	Arizona State University P.O. Box 875306	85287-5306	Tempe	Arizona	EUAA
233	443			México	D.F.	México
234	262	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero, Cerro Prieto	21100	Mexicali	B.C.	México
235	376	José M. Salvatierra 33, Col. Los Arcos	83250	Hermosillo	Son.	México
236	338	Apdo. Postal No. 128	23000	La Paz	B.C.S	México
237	339	Km 0.5, Carret. Al Conchalito	23000	La Paz	B.C.S	México
238	155	Paseo Cuauhnhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec	62550	Jiutepec	Mor.	México
239	414	Av. Dr. Manuel Nava 5, Zona Universitaria	78240	San Luis Potosí	S.L.P.	México
240	301	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
241	89	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
242	445	Av. Delfin Madrigal 665, Col. Pedregal de Santo Domingo	04630	México	D.F.	México
243	308	Retorno Mondorica 2056, Col. Infonavit	23070	La Paz	B.C.S	México
244	88	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
245	380	Ley Federal del Trabajo y Perimetral s/n, Col. Apolo	83100	Hermosillo	Son.	México
246	191	Eje Central Lázaro Cárdenas 152, Col. San Bartolo Atepehuacán	07730	México	D.F.	México
247	269	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
248	91	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
249	282	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
250	236	Av. IPN s/n, Playa Palo de Santa Rita	23096	La Paz	B.C.S	México
251	428	La Paz 63, Casa 51, Atemajac del Valle		Zapopan	Jal.	México
252	429	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
253	368	Burgweg 11	7749	Jena	Sin Estado	Alemania
254	448	Jaime Balmes 8, 701	11510	México	D.F.	México
255	102	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
256	93	Maestros y Mariano Bárcena s/n	44260	Guadalajara	Jal.	México
257	381	Av. Purísima y Michoacán s/n, Col. Vicentina	09340	México	D.F.	México
258	297	Av. Complutense s/n	28040	Madrid	Madrid	España
259	164	W. Chestnut St. 625	17604	Lancaster	Pennsylvania	EUAA
260	293	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
261	2	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
262	348	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
263	194	Km 1, Carret. San Juan de la Costa, Col. El Comitán	23000	La Paz	B.C.S	México
264	9	Carret. Al Sur, Km 5.5	23080	La Paz	B.C.S	México
265	373	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
266	408	Km 5.5, Carret. Al Sur, Zona Universitaria	23080	La Paz	B.C.S	México
267	422	Bldv. Transversal y Rosales s/n, Zona Centro	83000	Hermosillo	Son.	México
268	404	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
269	92	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
270	273	Av. Vallarta 2602, Sector Juárez	44100	Guadalajara	Jal.	México
271	96	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
272	367	Las Lichis 1839, Fracc. La Campiña	80060	Culiacán	Sin.	México
273	287	Campos Eliseos 345, Piso 16, Col. Polanco	11550	México	D.F.	México
274	313	Pacific Ave. 810	78539	Edinburg	Texas	EUAA
275	200	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
276	97	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. de Guadalupe	67700	Linares	N.L.	México
277	198	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
278	11	Av. Ticomán 600, Col. San José Ticomán	7340	México	D.F.	México
279	274	Av. Las Praderas 320, Prados Vallarta	45020	Zapopan	Jal.	México
280	57	La Darse B-P 48	6230	Villefranche sur Mer	Paris	Francia
281	94	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
282	323	Acueducto 63, Col. Acueducto de Guadalupe	01120	México	D.F.	México
283	202	Av. Reforma 113, Col. Palmira	62490	Temixco	Mor.	México
284	98	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
285	388	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
286	99	Apdo. Postal No. 311, Zona Centro	36500	Irapuato	Gto.	México
287	419	Bldv. Transversal y Rosales s/n, Zona Centro	83000	Hermosillo	Son.	México
288	196	Marcelino García Barragán y Olímpica 1421	44421	Guadalajara	Jal.	México
289	195	Mutualismo 1277, Fracc. Los Pinos	80120	Culiacán	Sin.	México
290	203	Villa Florencia 54, Fracc. Soleares	28869	Manzanillo	Col.	México
291	197	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
292	101		05101	Mérida	Mérida	Venezuela
293	455	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
294	472	Calle 17 61 e/4 y 6, Reparto Vista Alegre	90400	Santiago de Cuba	Santiago	Cuba
295	270	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
296	406	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México



## UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Nombre	Institución	Correo Electrónico
297	265	X							Moya Juan Carlos	UC	moya@creep.colorado.edu
298	95	X	X	X					Munguía Orozco Luis	CICESE	lmunguia@cicese.mx
299	302			X	X	X			Muñoz Diosdado Alejandro	IPN	amunoz@acei.upibi.ipn.mx
300	328					X			Murillo Nava Janette	IPN	
301	199	X	X		X	X		X	Murrieta Hernández José Luis	UV	josei@dino.coacade.uv.mx
302	374					X			Nájera Garza Jesús		jng1207@hotmail.com
303	103		X		X		X	X	Natividad Baizabal Miguel Ángel	UV	navidad@dino.coacade.uv.mx
304	410						X		Nava de la Riva Julio César	GODEZAC	
305	104	X	X	X	X	X	X	X	Nava Pichardo Alejandro Fidencio	CICESE	fnava@cicese.mx
306	290	X	X		X			X	Nava Sánchez Enrique H.	IPN	enava@redipn.ipn.mx
307	266			X					Nevárez Martínez Manuel Otilio	INP	nevarez@altavista.net
308	416					X			Nieto Obregón Jorge	UNAM	nieto@servidor.unam.mx
309	105	X	X		X	X	X		Nieto Samaniego Ángel Francisco	UNAM	afns@geociencias.unam.mx
310	312		X	X		X		X	Norzagaray Campos Mariano	IPN	nmunoz@debtel.com.mx
311	106	X	X	X	X	X	X	X	Núñez Cornú Francisco Javier	UDG	fcornu@vallarta.cuc.udg.mx
312	370				X	X			Núñez Peralta Marco Antonio	UAM	manp@xanum.uam.mx
313	108					X	X	X	Obeso Nieblas Maclovio	IPN	mniebla@redipn.ipn.mx
314	107	X	X	X		X	X		Ocampo Torres Francisco Javier	CICESE	ocampo@cicese.mx
315	204	X		X	X	X			Ochoa Dela Torre José Luis	CICESE	jochoa@cicese.mx
316	206	X	X			X		X	Oda Noda Bertha	UNAM	oda@atmosfera.unam.mx
317	356				X	X			Oesterreich Masuch Dirk	UANL	dmasuch@ccr.dsi.uanl.mx
318	327		X	X					Oleshko Lutkova Klaudia	UNAM	olechko@servidor.unam.mx
319	420						X		Olivos Ortiz Aramis	UCOL	
320	465								Oropeza Rosales Fernando	IMTA	foropeza@haloc.imta.mx
321	353					X			Oropeza Villalobos Beatriz	UNAM	
322	249	X	X	X	X		X		Orozco Esquivel María Teresa	UNAM	lorozco@geociencias.unam.mx
323	286	X	X	X					Orta Francisco	APASCO	
324	417						X		Ortega Guerrero Beatriz	UNAM	bortega@geofisica.unam.mx
325	281			X					Ortega Guerrero Marcos Adrián	UNAM	maog@geociencias.unam.mx
326	210			X		X		X	Ortega Rivera María Amabel	UNAM	amabel@geociencias.unam.mx
327	326		X	X		X		X	Ortiz Alemán Carlos	FJBS	carlosa@servidor.unam.mx
328	126						X		Oskin Michael	CALTECH	
329	359				X	X		X	Ostroumov Mikhail	UMICH	ostroum@zeus.umich.mx
330	111	X	X	X	X	X	X	X	Pacheco Alvarado Francisco Javier	UNAM	javier@ollin.igeofcu.unam.mx
331	242	X							Padilla Arredondo Gustavo	CIBNOR	gpadilla@cibnor.mx
332	237	X		X		X			Pal Verma Jaiswal Mahendra	IIE	mahendra@iie.org.mx
333	109		X						Palma Guzmán Sergio Hugo	CFE	
334	110		X						Palma Pérez Oswaldo	CFE	
335	398						X		Paniagua Quiroga Jesús Darío	UV	
336	115	X	X	X	X				Pavía López Edgar Gerardo	CICESE	epavia@cicese.mx
337	118		X						Payero Dejesús Juan S.	LIASD	jpayero@tricom.net
338	116	X	X	X	X				Paz Moreno Francisco Abraham	UNISON	paz@marina.geologia.uson.mx
339	42	X			X				Pedrin Aviles Sergio	CIBNOR	spedrin@cibnor.mx
340	159			X	X	X			Peláez Salvador Roberto	PEMEX	pelaez_fi_unam@yahoo.com
341	446							X	Peña Alonso Tomás	ITCM	topeax@hotmail.com
342	320		X						Peraza Vizcarra Ramón	LIAS	
343	114	X			X	X		X	Pereyra Díaz Domitilo	UV	dpereyra@speedy.coacade.uv.mx
344	463							X	Pérez Campos Xyoli	UNAM	
345	207		X	X	X	X	X		Pérez de Tejada Héctor	UNAM	hector@ifunam.ifsicaen.unam.mx
346	209		X		X	X		X	Pérez Enríquez Román	UNAM	roman@geociencias.unam.mx
347	425						X		Pérez Flores Marco Antonio	CICESE	mperez@geofisica.cicese.mx
348	254			X					Pérez García Ismael	UNAM	ismael@servidor.unam.mx
349	112		X	X					Pérez Rocha Luis Eduardo	FJBS	perezrocha63@hotmail.com
350	352				X	X			Pérez Sesma José Antonio A.	UV	pereyra@dino.coacade.uv.mx
351	113	X	X	X	X	X			Pérez Venzor José Antonio	UABCS	japerez@calafia.uabcs.mx
352	421						X		Pervago Evgueni	IMP	
353	146	X	X		X				Peterson Villalobos Héctor	LIBRA	libra@telnor.net
354	460								Plata Rosas Javier	UABC	lplata@yahoo.com
355	117				X				Pola Simuta Cosme	UANL	cpola@ccr.dsi.uanl.mx
356	402						X	X	Posada Sánchez A.E.	BUAP	
357	291	X							Prieto Mendoza Jesús José	UABCS	jprieto@calafia.uabcs.mx
358	397					X	X		Quintero Núñez Margarito	UABC	
359	358	X	X		X				Ramírez Aguilar Isabel	CICESE	iramirez@cicese.mx
360	453							X	Ramírez Cruz Luis Cuauhtémoc	IMP	
361	294	X	X	X	X			X	Ramírez Hernández Jorge	UABC	jramirez@iing.mx.uabc.mx
362	277		X	X	X				Ramírez Herrera María Teresa	CSULB	ramirez@csulb.edu
363	220	X	X	X	X	X			Ramírez Ruíz Juan José	UCOL	ramirez@cgic.ucol.mx
364	447							X	Ramírez Sánchez Elisa Leonor	CICESE	eramirez@cicese.mx
365	121	X	X	X	X				Ramírez Trejo Ana Rosa		
366	122	X							Ramírez Vázquez Carlos Ariel	UCOL	carlosr@cgic.ucol.mx
367	434							X	Ramos H. Silvia	UCAC	silviamos@terra.com.mx
368	120			X					Ramos Jiménez Esteban	CENAPRED	erj@cenapred.unam.mx
369	309		X						Ramos Leal José Alfredo	IPN	
370	7					X			Ramos Martínez Jaime	IMP	jmartin@imp.mx



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003 Continuación

No.	Miembro	Dirección	C.P.	Ciudad	Estado	País
297	265	30th, A1-24 1300	80303	Boulder	Colorado	EUA
298	95	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
299	302	Valle del Po 16, Col. Valle de Aragón	55280	Ecatepec	EdoMex.	México
300	328	Av. IPN s/n, Playa Palo de Santa Rita	23096	La Paz	B.C.S	México
301	199	Zona Universitaria s/n, Cd. Universitaria	91090	Xalapa	Ver.	México
302	374	Ventura Salazar 334, 2, Zona Centro	98000	Zacatecas	Zac.	México
303	103	Apdo. Postal No. 278, Zona Centro	91000	Xalapa	Ver.	México
304	410	Rebote de Barbosa 605, Zona Centro	98000	Zacatecas	Zac.	México
305	104	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
306	290	Apdo. Postal No. 592	23000	La Paz	B.C.S	México
307	266	Bld. Las Plazas 75, Fracc. Las Plazas	85430	Guaymas	Son.	México
308	416	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
309	105	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
310	312	Av. Ticomán 600, Col. San José Ticomán		México	D.F.	México
311	106	Apdo. Postal No. 96-B	48280	Puerto Vallarta	Jal.	México
312	370	Apdo. Postal No. 55-534	09340	México	D.F.	México
313	108	Av. IPN s/n, Playa Palo de Santa Rita	23096	La Paz	B.C.S	México
314	107	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
315	204	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
316	206	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
317	356	Km 8, Carret. Linares-Cerro Prieto, Col. Hda. de Guadalupe	67700	Linares	N.L.	México
318	327	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
319	420	Av. 25 de Julio 965, Col. Villas San Sebastián	28045	Colima	Col.	México
320	465	Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec	62550	Jiutepec	Mor.	México
321	353	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
322	249	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
323	286	Campos Eliseos 345, Piso 16, Col. Polanco	11550	México	D.F.	México
324	417	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
325	281	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
326	210	Apdo. Postal No. 1-742, Zona Centro	76001	Querétaro	Qro.	México
327	326	Carret. Al Ajusco 203, Col. Héroes de Padierna	14200	México	D.F.	México
328	126	N. Poema Place 201 11507	91311	Chatsworth	California	EUA
329	359	Edificio U., Cd. Universitaria	58070	Morelia	Mich.	México
330	111	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
331	242	Km 2.35, Camino al Tular, Estero de Bacochibampo	85465	Guaymas	Son.	México
332	237	Av. Reforma 113, Col. Palmira	62490	Temixco	Mor.	México
333	109	Lic. Ángel Compers 65, Col. Dr. Miguel Silva	58120	Morelia	Mich.	México
334	110	El Greco 5181, Col. Real Vallarta	45020	Zapopan	Jal.	México
335	398	Loma del Estadio s/n, Cd. Universitaria	91090	Xalapa	Ver.	México
336	115	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
337	118	Ciudad Universitaria		Santo Domingo	Santo Domingo	Rep. Dominicana
338	116	Apdo. Postal No. 847, Zona Centro	83000	Hermosillo	Son.	México
339	42	Km 2.35, Camino al Tular, Estero de Bacochibampo	85465	Guaymas	Son.	México
340	159	Manz. 72, Lote 1, Fracc. José M. Morelos, 5a. Sección	55070	Ecatepec	EdoMex.	México
341	446	Calle Sexta 902, Col. Jardín 20 de Noviembre		Cd. Madero	Tamp.	México
342	320			Mazatlán	Sin.	México
343	114	Zona Universitaria s/n, Cd. Universitaria	91090	Xalapa	Ver.	México
344	463	D MZ XIII 10, Educación, Coyoacán	04400	México	D.F.	México
345	207	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
346	209	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
347	425	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
348	254	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
349	112	Santa María 214, Col. Malinalco		Azcapotzalco	EdoMex.	México
350	352	Zona Universitaria s/n, Cd. Universitaria	91090	Xalapa	Ver.	México
351	113	Km 5.5, Carret. Al Sur, Zona Universitaria	23000	La Paz	B.C.S	México
352	421	Eje Central Lázaro Cárdenas 152, Col. San Bartolo Atepehuacán	07730	México	D.F.	México
353	146	Priv. Ixtlachuatil 100, Col. La Sierra	22170	Tijuana	B.C.	México
354	460	Edificio 6C Depto. 11 Vallarta 500, Vallarta	48315	Puerto Vallarta	Jal.	México
355	117	16 de Septiembre 606 Poniente	67770	Linares	N.L.	México
356	402	Bld. Valsequillo y Circuito CU s/n, Cd. Universitaria		Puebla	Pue.	México
357	291	Retorno Mango 1855, Col. Infonavit	23070	La Paz	B.C.S	México
358	397	Av. Gran Lago de los Osos 964, Col. Jardines del Lago, 1ª Sección	21330	Mexicali	B.C.	México
359	358	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
360	453			México	D.F.	México
361	294	P.O. Box 3439	92232	Calxico	California	EUA
362	277	Bellflower Boulevard 1250	90840	Long Beach	California	EUA
363	220	Av. 25 de Julio 965, Col. Villas San Sebastián	28045	Colima	Col.	México
364	447	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
365	121	Apdo. Postal No. 343	45920	Ajijic	Jal.	México
366	122	Av. 25 de Julio 965, Col. Villas San Sebastián	28045	Colima	Col.	México
367	434	Rio de Cantela 221, Fracc. Paraíso II	29019	Tuxtla Gutierrez	Chis.	México
368	120	Av. Delfin Madrigal 665, Col. Pedregal de Santo Domingo	04360	México	D.F.	México
369	309	Av. Hornos 1003, Col. Ampliación Indeco	71230	Xoxocotlan	Oax.	México
370	7	Eje Central Lázaro Cárdenas 152, Col. San Bartolo Atepehuacán	07730	México	D.F.	México



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Nombre	Institución	Correo Electrónico
371	119	X	X	X	X	X	X	X	Randall Roberts John	UGTO	randall@redes.imt.com.mx
372	123	X		X	X	X		X	Rebollar Bustamante Cecilio Javier	CICESE	rebollar@cicese.mx
373	449							X	Reyes Cortes Ignacio A.	UACH	
374	124	X	X	X	X	X	X		Reyes Dávila Gabriel Ángel	UCOL	gabrielr@cgic.ucol.mx
375	344				X				Reyes Rodríguez de la Gala Jorge	CICESE	jreyes@cicese.mx
376	346				X				Reyes Trujeque Javier	UACAMP	
377	260		X						Reyes Zamora César Alfonso	CICESE	reyesz@cicese.mx
378	219					X			Rivera Rodríguez Jesús	UNAM	jrivera@servidor.unam.mx
379	329		X						Rocha Fernández José Luis	UV	abraxas@speedy.coacade.uv.mx
380	217				X	X	X	X	Rodríguez Castañeda José Luis	UNAM	jlrrod@servidor.unam.mx
381	215	X							Rodríguez Castillo Ramiro	UNAM	rrdz@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
382	256		X	X			X		Rodríguez González Miguel	UNAM	mrod@gea.iingen.unam.mx
383	127		X	X					Rodríguez Ramírez Joel	CICESE	joel@geofisica.cicese.mx
384	433							X	Rodríguez Torres Rafael	UNISON	
385	314		X						Rodríguez Zuñiga José Luis	FJBS	sanz@mpsnet.com.mx
386	218					X	X	X	Roldán Quintana Jaime	UNAM	jaimer@servidor.unam.mx
387	413						X		Romero de la Cruz Oscar Mario	UNAM	oromero@geologia.unam.mx
388	221	X	X			X			Romero Espejel Héctor	CICESE	hromero@pangea.cicese.mx
389	246	X							Romero Pascual Mercedes	UCM	romero@eucmos.sim.ucm.es
390	125	X	X	X	X	X	X	X	Romo Jones José Manuel	CICESE	jromo@geofisica.cicese.mx
391	213	X		X			X		Ronquillo Jarrillo Gerardo	IMP	gerardo@orion.expl.imp.mx
392	268	X							Rosales Álvarez Julio	CFE	
393	267	X							Rosales Grano Pedro	SEP	
394	253	X		X	X	X	X	X	Rosas Helguera José	UDG	jrosas@quantum.ucting.udg.mx
395	322	X		X	X		X	X	Royo Ochoa Miguel	UACH	mroyo@uach.mx
396	278	X							Rubio Culebras Eduardo	CSIC	erubio@ija.csic.es
397	401						X	X	Rueda Gaxiola Jaime	IPN	
398	140	X	X	X	X	X	X	X	Sabina Ciscar Federico	UNAM	fjs@uxmym1.iimas.unam.mx
499	383					X			Sakai Ricardo K.	SUNY	sakai@asrc.cestm.albany.edu
400	212	X							Saldívar Medina Eric	UMICH	saldivar@zeus.umich.mx
401	264			X					Salinas Prieto José Antonio	IMTA	jsalinas@tlaloc.imta.mx
402	392					X			Sánchez Carrillo Salvador	ITSON	sscarril@itson.mx
403	325		X				X	X	Sánchez Gómez Rubén	UDG	rsanchez@ccip.udg.mx
404	128	X	X						Sánchez Monclú Alfredo	IMP	alfredo_sanchez@hotmail.com
405	223				X				Sánchez Pérez Juan	CFE	jsanchez@cfе.gob.mx
406	129		X		X		X	X	Sánchez Zamora Osvaldo	UNAM	osvaldo@ollin.igeofcu.unam.mx
407	139	X				X			Santamaría Saldaña Dora Elva	CFE	sismo00@cfе.gob.mx
408	227	X		X		X			Sarmiento López Citlali	IMP	csarmien@imp.mx
409	201			X					Sawada Munehisu	CENAPRED	sawada@cenapred.unam.mx
410	131	X	X	X	X			X	Schaaf Peter	UNAM	pschaaf@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
411	389					X			Schiller Friedrich	UNIJENA	mali@geo.uni-jena.de
412	382					X			Seckerh Zenkovich Sergey	UDG	seker@ccip.udg.mx
413	469								Sheinbaum Pardo Julio	CICESE	
414	337		X						Shultz David M.	NSSL	schultz@nssl.noaa.gov
415	134		X	X	X	X	X		Silva García José Teodoro	IPN	tsilva@redipn.ipn.mx
416	1	X	X	X	X	X			Singh Shri Krishna	UNAM	krishna@ollin.igeofcu.unam.mx
417	133		X	X					Skiba Yuri Nikolaevich	UNAM	skiba@servidor.unam.mx
418	224		X			X			Soler Arechalde Ana María	UNAM	anesoler@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
419	424						X	X	Solis Pichardo Gabriela	UNAM	
420	135				X				Sosa Uscanga Ignacio	UV	
421	363				X				Sotelo Parra Anselmo	GEM	
422	431						X	X	Spelz Madero Ronald	CICESE	rspelz67@msn.com
423	365				X				Staines Urías Francisca	UABC	
424	136	X	X	X	X	X			Steinich Birgit	UNAM	birgit@geociencias.unam.mx
425	226	X	X	X	X	X	X	X	Stock Joanne M.	CALTECH	jstock@gps.caltech.edu
426	276	X			X				Suárez Arriaga Mario César	UNAM	msuarez@zeus.ccu.umich.mx
427	132	X	X	X	X	X	X	X	Suárez Plascencia Carlos	UDG	csuarez@udg.serv.cencar.udg.mx
428	225	X							Suárez Reynoso Gerardo	UNAM	gerardo@ollin.igeofcu.unam.mx
429	137	X			X	X	X		Suárez Vidal Francisco	CICESE	fsuarez@pangea.cicese.mx
430	222	X							Suter Cargnelutti Max	UNAM	sutermax@aol.com
431	430						X		Szynkaruk Ewa	UNAM	ews@uaemex.mx
432	231			X					Talavera Mendoza Oscar	UAEG	
433	319		X						Tapia Armenta Juan	IPN	jltapia@citedi.mx
434	145	X		X	X				Taran Yuri	UNAM	taran@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
435	141				X	X	X		Tejeda Martínez Adalberto	UV	atejeda@uv.mx
436	330			X					Téllés Duarte Miguel Ángel	UABC	
437	142	X	X	X	X	X		X	Tereshchenko Irina E.	UDG	itereshc@ccip.udg.mx
438	230	X	X	X	X		X		Tolson Jones Gustavo	UNAM	tolson@servidor.unam.mx
439	144				X	X	X	X	Torres Hernández José Ramón	UASLP	
440	263	X	X	X					Torres Orozco Ernesto	UCOL	etorres@cgic.ucol.mx
441	228	X	X			X			Trasviña Castro Armando	CICESE	trasvi@cicese.mx
442	386				X	X			Ulacco Humberto	UASL	
443	271	X	X			X	X		Urrutia Fucugauchi Jaime	UNAM	juf@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
444	355				X				Vai Rossana	IMP	



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003 Continuación

No.	Miembro	Dirección	C.P.	Ciudad	Estado	País
371	119	Mineral de la Valenciana 2, Col. Marfil	36250	Guanajuato	Gto.	México
372	123	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
373	449	Escorza Esq. Con Venustiano Carranza 900		Chihuahua	Chih.	México
374	124	Av. 25 de Julio 965, Col. Villas San Sebastián	28045	Colima	Col.	México
375	344	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
376	346	Agustín Melgar s/n		Campeche	Camp.	México
377	260	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
378	219	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
379	329	Altamirano 99, Zona Centro	91000	Xalapa	Ver.	México
380	217	Misión de la Caborica 14, Col. Bachoco	83148	Hermosillo	Son.	México
381	215	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
382	256	Río Bamba 674, Col. Lindavista	70472	México	D.F.	México
383	127	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
384	433	Ingenieros 22, Fracc. Status	83210	Hermosillo	Son.	México
385	314	Carret. Al Ajusco 203, Col. Héroes de Padierna	14200	México	D.F.	México
386	218	Quinta Mayor 133, Col. Las Quintas	83240	Hermosillo	Son.	México
387	413	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centro	83000	Hermosillo	Son.	México
388	221	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
389	246	Av. Complutense s/n	28040	Madrid	Madrid	España
390	125	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
391	213	Eje Central Lázaro Cárdenas 152, Col. San Bartolo Atepehuacán	07730	México	D.F.	México
392	268	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero, Cerro Prieto	21100	Mexicali	B.C.	México
393	267	Km 4, Carret. A Varadero Nacional, Sector Playitas	85480	Guaymas	Son.	México
394	253	Apdo. Postal No. 4-045, Sector Reforma	44840	Guadalajara	Jal.	México
395	322	Priv. Altamirano 3511, Col. Santo Niño	31320	Chihuahua	Chih.	México
396	278	Lluís Solé i Sabaris s/n	8028	Barcelona	Barcelona	España
397	401	Golondrina 53, Col. M. del Bosque	54500	Atizapán	EdoMex.	México
398	140	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
499	383	Fuller Road 251	12203	Albany	New York	EUA
400	212	Ganadería La Laguna 38, Col. Jardines del Toreo		Morelia	Mich.	México
401	264	Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec	62550	Jiutepec	Mor.	México
402	392	5 de Febrero 818 Sur, Zona Centro		Cd. Obregón	Son.	México
403	325	Calzada del Obrero 1503, Col. Federalismo	44350	Guadalajara	Jal.	México
404	128	Apdo. Postal No. 224	24101	Cd. del Carmen	Camp.	México
405	223	Oklahoma 85, Piso 4, Col. Napoles	03810	México	D.F.	México
406	129	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
407	139	Zaragoza 17, Col. Tulyahualco	16700	México	D.F.	México
408	227	Calle 42 28, Col. Tacubaya		Cd. dei Carmen	Camp.	México
409	201	Av. Delfín Madrigal 665, Col. Pedregal de Santo Domingo	04360	México	D.F.	México
410	131	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
411	389	D-07740,		Jena	Sin Estado	Alemania
412	382	Marcelino García Barragán y Olímpica 1421	44421	Guadalajara	Jal.	México
413	469	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
414	337	Halley Circle 1313	73069	Norman	Oklahoma	EUA
415	134	Justo Sierra 28		Jiquilpan	Mich.	México
416	1	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
417	133	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
418	224	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
419	424	Cerro Dos Conejos 108, Col. Romero de Terreros	04310	México	D.F.	México
420	135	Loma del Estadio s/n, Cd. Universitaria	91000	Xalapa	Ver.	México
421	363	8 Norte Manz. 262, Lote 11, Col. Los Robles	62500	Jiutepec	Mor.	México
422	431	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
423	365	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
424	136	Campus Juriquilla s/n, Dom. Conocido	76230	Juriquilla	Qro.	México
425	226	Shakespeare Drive 2824	91108	San Marino	California	EUA
426	276	Patzimba 438, Col. Vistabella	58090	Morelia	Mich.	México
427	132	Kilimanjaro 1727, Sector Independencia	44240	Guadalajara	Jal.	México
428	225	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
429	137	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
430	222	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centro	83000	Hermosillo	Son.	México
431	430	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
432	231	Ex-Hacienda de San Juan Bautista, Taxco El Viejo	40200	Taxco	Gro.	México
433	319	Av. Del Parque 1310, Col. Mesa de Otay	22510	Tijuana	B.C.	México
434	145	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
435	141	Zona Universitaria s/n, Cd. Universitaria	91090	Xalapa	Ver.	México
436	330	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
437	142	Río Autlán 2180, 34, Sector Atlas	44421	Guadalajara	Jal.	México
438	230	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
439	144	Av. Dr. Manuel Nava 5, Zona Universitaria	78240	San Luis Potosí	S.L.P.	México
440	263	Constitución 37, Col. Morelos	28217	Manzanillo	Col.	México
441	228	Miraflores entre Mulegé y La Paz 334, Fracc. BellaVista	23050	La Paz	B.C.S	México
442	386	Chacabuco 917, 5700		San Luis	San Luis	Argentina
443	271	Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
444	355	Eje Central Lázaro Cárdenas 152, Col. San Bartolo Atepehuacán	07730	México	D.F.	México



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Nombre	Institución	Correo Electrónico
445	241			X		X		X	Valdés González Carlos	UNAM	carlos@ollin.igeofcu.unam.mx
446	393					X			Valencia Moreno Martín Andres	UNAM	
447	86	X	X	X	X	X	X	X	Valenzuela Wong Raúl	UNAM	raul@ollin.igeofcu.unam.mx
448	229			X					Valle Levinson Arnoldo	ODU	arnoldo@ccpo.odu.edu
449	147	X	X	X	X	X			Vázquez González Rogelio	CICESE	rvazquez@geofisica.cicese.mx
450	311		X	X					Vázquez Jaimes María Elena	ENVIRON	evazquez@environcorp.com
451	335		X						Vega Granillo Ricardo	UNISON	rickvega@geologia.uson.mx
452	238	X							Velasco Clímato Néctor	IMP	nvelasco@imp.mx
453	239			X					Venegas Salgado Saúl	CFE	cfeinf@mail.giga.com
454	342				X				Vera Sánchez Jorge Ramón	PEMEX	
455	100	X			X	X		X	Victoria Morales Alfredo	UNAM	victoria@servidor.unam.mx
456	234	X	X	X	X	X	X	X	Vidal Villegas Antonio	CICESE	vidalv@cicese.mx
457	240	X	X					X	Villanueva Urrutia Elba Elsa	UNAM	eevu@atmosfera.unam.mx
458	279	X				X	X		Villegas García César José	SCINTREX	cvillega@intercable.net
459	148	X							Villicaña Cruz Francisco Javier	UNAM	
460	345			X	X		X	X	Watts Christopher	IMADES	
461	451							X	Weber Bodo	CICESE	bweber@cicese.mx
462	149	X	X	X	X	X	X	X	Wong Ortega Víctor Manuel	CICESE	vwong@cicese.mx
463	185	X	X	X	X	X			Yussim Guarneros Sergio	UNAM	yussim@servidor.unam.mx
464	151	X	X		X	X		X	Zárate DelValle Pedro F.	UDG	pzarate@quantum.ucting.udg.mx
465	321		X						Zárate Vázquez María	UNAM	mariaz@servidor.unam.mx
466	56		X						Zavala Jorge	UNAM	igs@servidor.unam.mx
467	295						X		Zavala Sanson Luis	CICESE	lzavala@cicese.mx
468	150	X	X	X	X		X	X	Zobin Vyacheslav M.	UCOL	vzobin@cgic.ucol.mx
469	211						X		Zuñiga Davila-Madrid F. Ramón	UNAM	ramon@geociencias.unam.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2003 Continuación

No.	Miembro	Dirección	C.P.	Ciudad	Estado	País
445	241	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
446	393	Apdo. Postal No. 1039, Zona Centro	83000	Hermosillo	Son.	México
447	86	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
448	229	52nd St. 768,	23529	Norfolk	Virginia	EUA
449	147	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
450	311	Wishire Boulevard, Suite 4950 707	90017	Los Ángeles	California	EUA
451	335	Bldv. Transversal y Rosales s/n, Zona Centro	83000	Hermosillo	Son.	México
452	238	Calle 42 28, Col. Tacubaya		Cd. del Carmen	Camp.	México
453	239	Alejandro Volta 655, Col. Electricistas	58290	Morelia	Mich.	México
454	342	Isidoro Olvera 26, Col. Presidente Ejidal	00440	México	D.F.	México
455	100	Luis Martínez del Campo 39, Col. Romero de Terreros	04310	México	D.F.	México
456	234	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
457	240	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
458	279	Sierra Nevada 207, Col. Villas del Valle	66288	Garza García	N.L.	México
459	148	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
460	345	Reyes y Aguascalientes s/n, Col. San Benito	83190	Hermosillo	Son.	México
461	451	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
462	149	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
463	185	Atotonilco 88, Col. San Felipe de Jesús	07510	México	D.F.	México
464	151	Isla Sombrero 2917, Col. Jardines de la Cruz	44950	Guadalajara	Jal.	México
465	321	Circuito Exterior, Cd. Universitaria , Col. Coyoacán	04510	México	D.F.	México
466	56	Parque del Conde 12, Col. San José Insurgentes	03900	México	D.F.	México
467	295	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada	22860	Ensenada	B.C.	México
468	150	Av. 25 de Julio 965, Col. Villas San Sebastián	28045	Colima	Col.	México
469	211	Tanganitos I	36000	Guanajuato	Gto.	México





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 <sup>+2</sup> .....	\$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(646)175-0500 Ext. 23001  
Fax: 01(646)174-4880  
<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](mailto:coord@anahuac.igeofcu.unam.mx)

<http://nundehui.igeofcu.unam.mx/posgrado.html>



M.C. José Sampedro García  
Instituto de Ingeniería, UABC  
sampedro@iing.mx1.uabc.mx

Dra. Rosa María Barragán Reyes  
Depto. de Geotermia, IIE  
rmb@iie.org.mx

Dr. Mahendra Pal Verma  
Depto. de Geotermia, IIE  
mahendra@iie.org.mx

Dr. Alfonso García Gutiérrez  
Depto. de Geotermia, IIE  
aggarcia@iie.org.mx

Ing. Fidel Cedillo Rodríguez  
Gerencia Proy. Geotermoeléctricos,  
CFE  
mmjh0529@cfе.gob.mx

M.C. Alfonso Aragón Aguilar  
Depto. de Geotermia, IIE  
aaragon@iie.org.mx

## 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.

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





## MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA



EL DEPARTAMENTO DE FÍSICA DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS DE LA U. DE G., OFRECE CURSOS DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA, CON ESPECIALIDAD EN:

### *FÍSICA DEL OCEANO Y DE LA ATMÓSFERA*

La maestría y el doctorado están dirigidos a egresados de las Licenciaturas en: Oceanografía, Meteorología, Física, Matemáticas o carreras afines al posgrado a juicio del comité consultivo. El programa de maestría está integrado al padrón de posgrados de excelencia del CONACYT, por lo que existe oportunidad de obtener beca por parte de éste, o del PROMEP.

Informes al Tel/Fax: (3)619 82 92 y 619 80 54. Dra. Irina Tereshchenko  
CUCEI, Módulo V

E-mail: [itereshc@ccip.udg.mx](mailto:itereshc@ccip.udg.mx)

Página WEB: <http://fisica.cucei.udg.mx>



## 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 Cuauahuac #8532, Progreso, Morelos, México. C.P. 62550.

## POLÍTICA EDITORIAL

GEOS es el boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana, contiene artículos de investigación originales así como artículos de divulgación y notas cortas sobre aspectos relevantes para la difusión de la actividad científica, tecnológica y docente en las Ciencias de la Tierra, así como noticias de interés para los miembros de la UGM; se publican tres números en el año tanto en forma impresa como electrónica.

Los artículos de investigación publicados en GEOS deben ser **originales** son **arbitrados** por al menos dos expertos en el tema; mientras que los trabajos de divulgación son arbitrados por un especialista en el tema. Los editores se reservan el derecho decidir sobre la publicación de notas o reportes.

Son particularmente bienvenidas todas aquellas contribuciones que coadyuven a la difusión y a la enseñanza de las Ciencias de la Tierra.

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

Cualquier cambio a la política editorial de GEOS se publicará en el primer número de cada volumen.

### INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Publicar en GEOS es gratuito, todos los manuscritos deberán enviarse en forma electrónica a cualquiera de los editores principales:

Luis Alberto Delgado Argote (CICESE)  
[ldelgado@cicese.mx](mailto:ldelgado@cicese.mx)

José Manuel Romo Jones (UGM)  
[jromo@cicese.mx](mailto:jromo@cicese.mx)

#### PREPARACIÓN DE TEXTO:

Podemos procesar manuscritos en formato **WORD**, texto **ASCII** o **LaTeX**. Se recomienda que los manuscritos no excedan 12 páginas en el formato de la revista (una página contiene aproximadamente 900 palabras).

#### PREPARACIÓN DE FIGURAS E ILUSTRACIONES:

Las ilustraciones y figuras se pueden enviar en cualquiera de los siguientes formatos: **TIF, EPS, PS, DXF, DWG, PDF, JPG** o **WMF**; y **deben enviarse en archivos individuales y separados del texto.**

La publicación de **figuras a color** en la versión impresa de **GEOS** no es posible por ahora, sin embargo la versión electrónica puede contener ilustraciones a todo color, se recomienda a los autores preparar sus figuras pensando en ambas ediciones.

#### SECCIONES

Con excepción de las notas, todas las contribuciones deberán incluir: título, resumen (en español y en inglés), introducción, una sección de métodos, una sección de resultados, una sección de discusión y/o conclusiones y una sección de referencias bibliográficas.

### RESUMEN

El resumen no deberá exceder 350 palabras. Al prepararlo haga énfasis en los objetivos de la investigación, los resultados más importantes y las conclusiones alcanzadas. En el resumen no deben aparecer citas bibliográficas.

### INTRODUCCIÓN

La introducción deberá destacar la relevancia del problema e incluir una revisión adecuada de publicaciones 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, destacar la contribución del trabajo y motivar la lectura del artículo completo.

### METODOLOGÍA

La metodología empleada en el trabajo deberá ser descrita con suficiente detalle para que otros miembros de la comunidad puedan comprenderla, pero al mismo tiempo, debe ser sencilla para que un lector inexperto pueda comprender las ideas fundamentales. Los desarrollos demasiado detallados, pero necesarios, deben diferirse a una sección apéndice.

### RESULTADOS

Usualmente, los resultados de la aplicación de cualquier metodología pueden presentarse en forma de tablas o figuras. Evite redundancias mediante una adecuada selección de sus resultados.



Los pies de figura deberán ser lo suficientemente explicativos para resaltar la importancia de lo que se ilustra sin necesidad de acudir al texto.

## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

En esta sección se deben discutir las implicaciones de los resultados, su concordancia o divergencia con hipótesis anteriores, construir nuevas hipótesis derivadas de ellos, discutir sus aplicaciones prácticas y posibles limitaciones.

## REFERENCIAS

Todas las referencias deberán estar agrupadas en orden alfabético por apellido del primer autor. Si un autor es citado más de una vez el mismo año, utilice el sufijo, a, b, etc. para distinguir el trabajo. Aquellos manuscritos que no estén en publicados (aceptados o en prensa) no deberán incluirse en las referencias. Los artículos de divulgación podrán agregar una sección de referencias recomendadas.

## FORMATO PARA CITAS

Para cada autor o co-autor, escriba con mayúscula únicamente la primera letra del apellido 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*, p. 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 pp.

## 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<sup>3</sup>

presión en bar

## 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 negrillas. Numere en forma consecutiva y entre paréntesis todas las ecuaciones que aparezcan en el texto.

$$g(r) = g_0 \int \frac{r(r_0)}{|r - r_0|^2} dr_0^3$$

AUTOR (ES): \_\_\_\_\_

TITULO: \_\_\_\_\_

	SI	NO	PARCIALMENTE	
1.- ¿Contiene el trabajo datos o ideas que ameriten su publicación en <b>GEOS</b> ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.- ¿Como lo clasificaría? 1) Investigación, 2) Divulgación, 3) Nota 4) Reporte	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
3.- ¿Son válidas las observaciones y conclusiones?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.- ¿Son pertinentes y comprensibles el título y el resumen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.- ¿Son necesarias y adecuadas las tablas y figuras presentadas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.- ¿Son buenas la organización y presentación del trabajo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.- ¿Es correcto el lenguaje científico?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sugerencias al (los) autor (es):				
a) Indicadas en hoja aparte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
b) Anotadas sobre el manuscrito	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Recomendación al Editor:				
a) El trabajo es aceptable en su forma actual	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
b) El trabajo es aceptable con correcciones menores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
c) El trabajo es aceptable con correcciones mayores (no requiere nuevo arbitraje)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
d) El trabajo puede ser aceptable después de ser corregido y arbitrado de nuevo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
e) El trabajo NO es aceptable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
f) Comentarios confidenciales al editor en hoja aparte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
g) Comentarios a los autores 1) en hoja aparte, 2) en el manuscrito, 3) en ambos, 4) sin comentarios.	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4
h) ¿Desea ser identificado?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

\_\_\_\_\_  
NOMBRE Y FIRMA



Recordamos a todos los miembros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.  
que la cuota para el 2004 es de \$400.00 para investigadores  
y \$300.00 para estudiantes.

página internet: [www.ugm.org.mx](http://www.ugm.org.mx)

**Favor de hacer llegar su cuota a:**

Ivonne Pedrín Morales  
División de Ciencias de la Tierra,  
CICESE  
Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada,  
Ensenada, 22860, B.C., México  
Correo electrónico: [ipedrin@cicese.mx](mailto:ipedrin@cicese.mx)

Araceli Chamán  
Depto. de Posgrado, Instituto de Geofísica,  
UNAM  
Cd. Universitaria, Delegación Coyoacán,  
México, 04510, D.F., México  
Correo electrónico: [achaman@igeofcu.unam.mx](mailto:achaman@igeofcu.unam.mx)

Con un cordial saludo

**Luis A. Delgado Argote y José M. Romo Jones**  
Editores

---

### Costo anual de anuncios en GEOS

<b>Instituciones:</b>	<b>Comerciales y Gubernamentales</b>	<b>Académicas</b>
<b>Página completa</b>	<b>\$4,000.00</b>	<b>\$2,000.00</b>
<b>Media página</b>	<b>\$2,000.00</b>	<b>\$1,000.00</b>

---

## GEOS

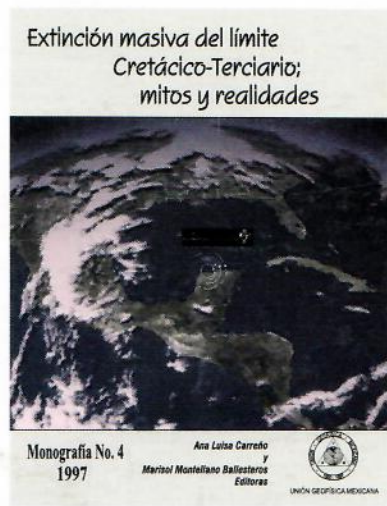
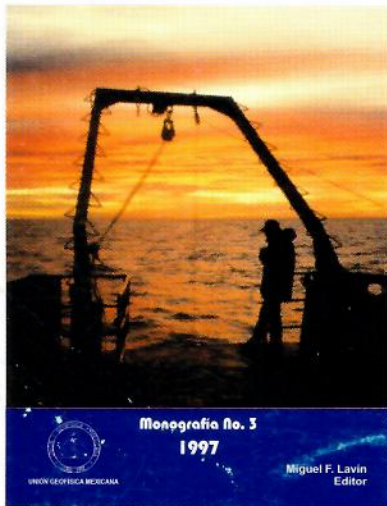
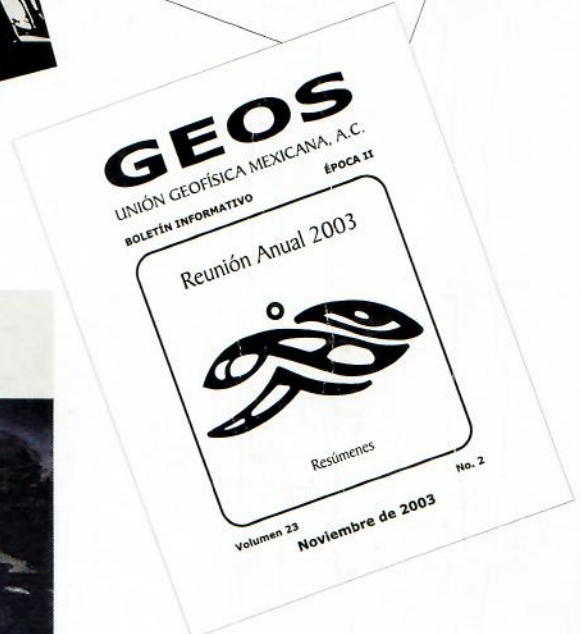
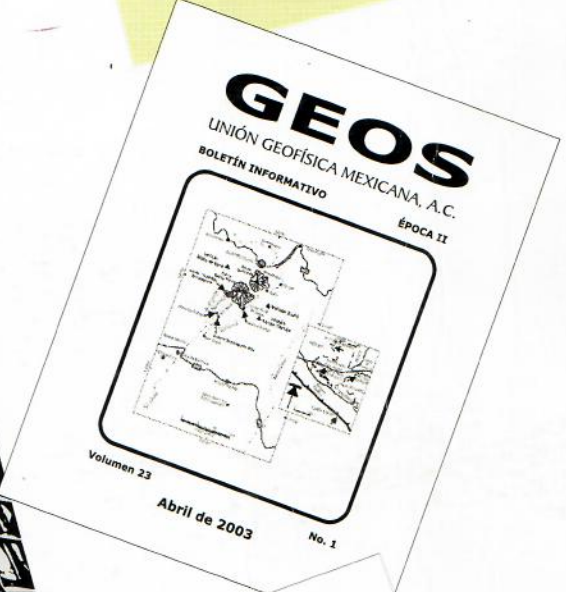
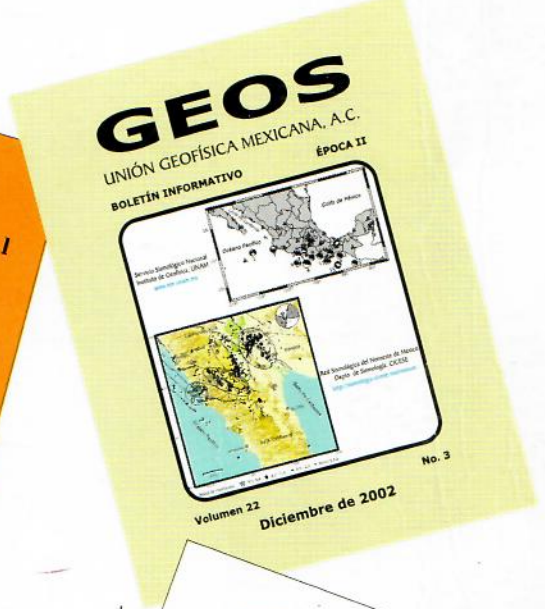
Revista a la venta con:

Ivonne Pedrín Morales  
División de Ciencias de la Tierra  
Tel: 01(646)174-5050  
Ext: 26004  
Correo electrónico: [ipedrin@cicese.mx](mailto:ipedrin@cicese.mx)

Costo del ejemplar \$60.00

Araceli Chamán  
Depto. de Posgrado  
Instituto de Geofísica  
Tel: (01)5622-4130 y 5622-4137  
Correo electrónico: [achaman@igeofcu.unam.mx](mailto:achaman@igeofcu.unam.mx)





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