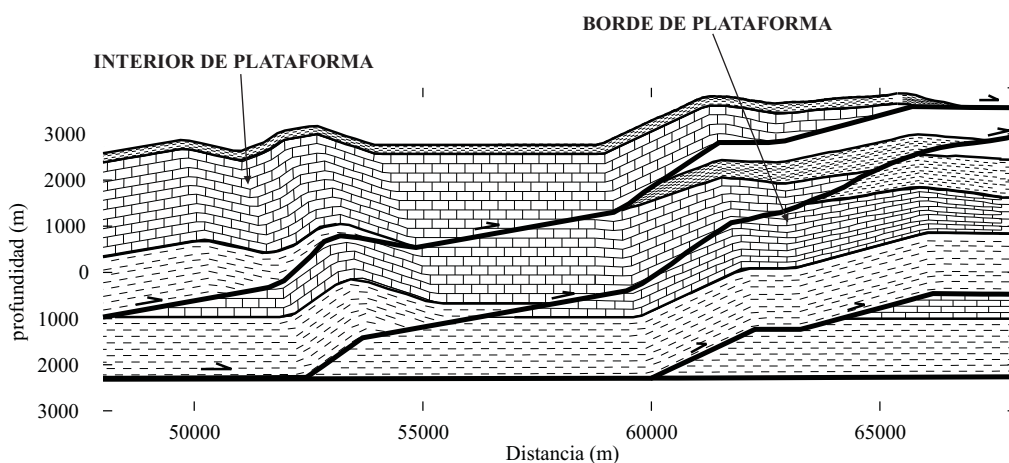


GEOS

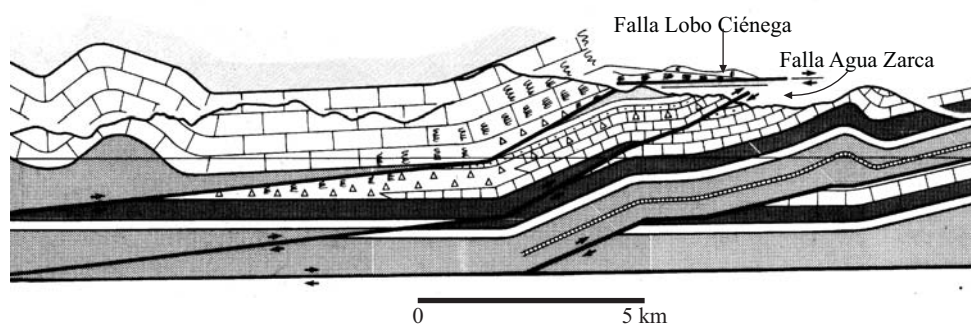
UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

BOLETÍN INFORMATIVO

ÉPOCA II



PLATAFORMA CARBONATADA VALLES-SAN LUIS POTOSÍ



Volumen 21

No. 2

Agosto de 2001

GEOS

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

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

**UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.
Mesa Directiva 2000-2001**

Dr. Fernando García García
Presidente

Dr. Juan García Abdeslem
Vicepresidente

Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi
Secretario General

Dr. Luca Ferrari Pedraglio
Tesorero

Dr. Enrique Gómez Treviño
Secretario de Investigación

Dr. Luis Alberto Delgado Argote
Secretario de Difusión

Dr. Gustavo Tolson Jones
Secretario de Educación

Dr. Julián Adem Chain
Presidente Honorario

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

GEOS, publica artículos y notas de investigación, divulgación, reportes, comentarios, noticias, opiniones, anuncios y aspectos relevantes para la vinculación y difusión de la actividad científica y docente de las Ciencias de la Tierra. Los artículos de investigación son arbitrados por duplicado, mientras que los de divulgación son arbitrados por un especialista.

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

Toda correspondencia dirigirla a:

Luis A. Delgado Argote
Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra
Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, 22860, B.C., México
Tel. 01(646)174-5050, Ext. 26060
Fax: 01(646)175-0559
E-mail: ldelgado@cicese.mx

Luis A. Delgado Argote
E-mail: ldelgado@cicese.mx

y

Juan García Abdeslem

E-mail: jgarcia@cicese.mx

Editores

COMITE EDITORIAL

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

Victor Manuel Frías Camacho
María Cristina Álvarez Astorga
APOYO TÉCNICO EDITORIAL

354

ÍNDICE

EDITORIAL	81
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
HISTOGRAMAS REPARTIDOS PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS ESTADÍSTICAS ESCASAS II: COTAS RÍGIDAS, ROSAS Y MAPAS	82
<i>F. Alejandro Nava</i>	
FBF, UN PAQUETE DE CÓMPUTO PARA CONSTRUIR SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS	88
<i>Juan Contreras-Pérez</i>	
RESULTADOS PRELIMINARES DE UN PERFIL GEOFÍSICO A TRAVÉS DE LA REGIÓN CENTRAL DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO	96
<i>José M. Romo, Juan García Abdeslem, Enrique Gómez Treviño, Francisco Esparza y Carlos Flores Luna</i>	
ANÁLISIS DE RIESGO DE INUNDACIÓN POR TSUNAMIS EN PUNTARENAS, COSTA RICA	108
<i>M. Ortiz, M. Fernández-Arce y W. Rojas</i>	
ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN	
APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL EN LA REGIÓN DE PUERTECITOS-SAN LUIS GONZAGA, B.C.	114
<i>José L. García-Puga y Hinojosa-Corona, A.</i>	
REPORTE	
SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO	125
<i>GRUPO RESNOM</i>	
NOTICIAS DE LA UGM	
DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 2001	127
REUNIÓN ANUAL 2001 DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.	138
COMUNICACIONES	
INSTRUCCIONES PARA AUTORES	144
FORMA DE ARBITRAJE	146



EDITORIAL

Ciencias en la educación básica

Recientemente, en octubre de este año, se dio a conocer la negación de la SEP de difundir los resultados de una evaluación mundial en la que México fue reprobado en temas sobre matemáticas y ciencias. Tuvo que pasar un sexenio para que se supiera que el país logró cuatro últimos y dos penúltimos poco honrosos lugares en esos temas (no se especifican) en niveles de primaria y secundaria. La evaluación la promovió la IEA en 1995 (Asociación Internacional para la Evaluación del Logro Educativo) e incluyó a 40 países. Independientemente de las razones poco objetivas que se dieron para no divulgar los resultados, la evaluación explica en parte el por qué la baja matrícula en áreas relacionadas con las ciencias y la pobre educación científica de la población joven. La experiencia de siete olimpiadas de Ciencias de la Tierra organizadas por la UGM para estudiantes de bachillerato, nos permite ver que, en buena parte, la educación científica de los participantes proviene del ambiente familiar y de programas de divulgación científica en la televisión. Aunque es muy probable que la atención a tales programas se debe a que los estudiantes tienen bases para entender sus contenidos, es necesario saber si los programas de estudio a nivel básico fomentan la formulación de preguntas acerca de la naturaleza que nos rodea.

Afortunadamente, el actual titular de la SEP considera que ese tipo de evaluaciones permitirá identificar áreas en las que se deben aplicar políticas de mejoramiento de la calidad de la enseñanza, por lo que, por el bien del desarrollo educativo del país, esperemos que los diagnósticos derivados de las evaluaciones permitan diseñar programas que fomenten el interés por las ciencias naturales. Una cultura científica adquirida a temprana edad permitiría que los programas nacionales de conservación del medio ambiente, de uso racional de los recursos naturales y de prevención de desastres debidos a fenómenos naturales, entre otros, sean comprendidos y aplicados con mayor facilidad.

HISTOGRAMAS REPARTIDOS PARA EL ANÁLISIS DE MUESTRAS ESTADÍSTICAS ESCASAS II: COTAS RÍGIDAS, ROSAS Y MAPAS

F. Alejandro Nava

Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

A.P. 2732, Ensenada, 22800, B.C., México

E-mail: fnava@cicese.mx

RESUMEN

Se presenta la extensión del método de histogramas repartidos para el análisis de muestras escasas (Nava, 1998), a histogramas con cotas rígidas, histogramas de rosa e histogramas en 2D como son los mapas que presentan valores de la distribución de alguna observable en celdas (o clases) de 2D. Como para los histogramas convencionales, el método reduce la dependencia de los histogramas en el tamaño y la localización de las celdas; también se encuentra, empíricamente, que los histogramas producidos por este método pueden, en general, aproximar la distribución madre de procesos naturales mejor que los histogramas comunes.

INTRODUCCIÓN

La motivación y las bases del método de histogramas repartidos han sido expuestos en Nava (1998), pero aquí se resumirán brevemente de manera que este artículo pueda entenderse sin necesidad de consultar el anterior.

El problema en cuestión es tratar de identificar o estimar la distribución estadística $p(v)$ (*distribución madre*) de una población V que tiene M elementos (M puede ser infinito), a partir de una muestra $\{v_j\}$, donde cada v_j es un dato (producto de la observación) identificado por el índice $j=1,2,\dots,N$ y N es el número total de datos. Conocer la distribución $p(v)$ permite hacer inferencias probabilísticas respecto a la ocurrencia de eventos de V .

Las muestras se analizan muy a menudo mediante histogramas que consisten en la representación del número n_i de elementos de la muestra cuyos valores están contenidos dentro de un intervalo que abarca de $v_0 + i \Delta v$ a $v_0 + (i+1) \Delta v$, donde Δv es el tamaño de los intervalos de clase, o *celdas*, v_0 es un valor de referencia que indica el comienzo de la i ésima celda, e i es un entero que toma los valores necesarios para que las celdas cubran (por lo menos) toda la extensión de los N valores observados. Conforme crece el tamaño de la muestra y la razón $N/M \rightarrow 1$ el histograma se aproxima cada vez mejor a la distribución de la población. Una muestra abundante permite el uso de Δv pequeña y el histograma se aproxima a la distribución.

Desafortunadamente, no siempre es posible conseguir una muestra abundante y cuando la muestra es escasa la forma del histograma depende críticamente de la elección del tamaño y la posición de los intervalos y no se parecerá necesariamente a la distribución madre.

En Nava (1998) se propuso una variante del conocido método de convolucionar una distribución con una función de error (e.g. Silvermann, 1986; Fisher, 1989). El método consiste en repartir cada muestra (no, como se hace comúnmente, repartir el número de muestras en cada celda una vez hecho el histograma), considerada con área unitaria, sobre una extensión centrada en el valor medido y de acuerdo con alguna distribución de reparto dada, de manera que la contribución de la muestra a la celda en que cae su valor y a las celdas cercanas a ésta depende del área de la distribución de reparto que cae dentro de cada celda. En el artículo citado, se mostró que la dependencia de los histogramas repartidos en el punto de referencia y la dimensión de las celdas (siempre que éstas sean angostas con respecto a la función de repartición) es casi nula y se encontró empíricamente que los histogramas repartidos representan mejor a la distribución madre que los histogramas usuales.

COTAS RÍGIDAS

Es obvio que la convolución de los impulsos que representan a los datos con una distribución de error razonable (esto es, no impulsiva) aumenta la extensión que cubren dichos datos. Por ejemplo, si los datos están representados por las líneas discontinuas verticales de la figura 1, que cubren la extensión de $V_{min} = 5^\circ$ a $V_{max} = 90^\circ$, y consideramos $\Delta v = 1^\circ$ y una función de error normal con desviación estándar $\sigma = 2^\circ$, entonces, tras la convolución, tendremos celdas con valores distintos de cero (para cinco cifras decimales de aproximación) entre $V_n = -18^\circ$ a $V_x = 113^\circ$ (línea delgada Figura 1). Este resultado sería perfectamente aceptable si estuviéramos trabajando con datos de, digamos, azimuths o temperaturas; pero es absurdo si se trata, como en este ejemplo, de datos de echados de falla (e.g. Frez et al., 1999), cuyos valores aceptables son, por definición, de $V_1 = 0^\circ$ a $V_2 = 90^\circ$. Esto es, si tenemos una incertidumbre en una medición cercana a una cota rígida el error posible no puede

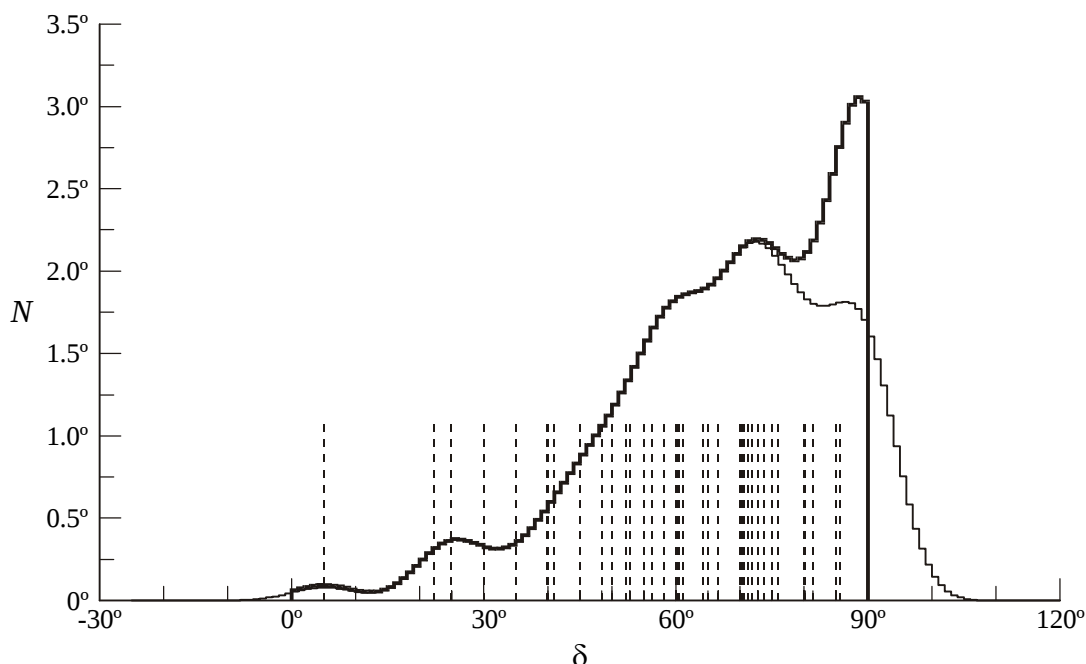


Figura 1. Histograma repartido de los datos de echado δ , representados por líneas discontinuas verticales, que cubren de $V_{min} = 5^\circ$ a $V_{max} = 90^\circ$. Para $\Delta v = 1^\circ$ y función de error normal con $\sigma = 2^\circ$, el histograma (línea delgada) abarca de $V_n = -18^\circ$ a $V_x = 113^\circ$. La línea gruesa muestra el efecto de considerar 0° y 90° como cotas rígidas.

distribuirse a través de la cota y es necesario tomar esto en cuenta al “repartir” los datos sobre las celdas. Naturalmente, si para cada valor se conoce la función de error apropiada que lo distribuya sin rebasar la cota rígida, función que será en general distinta para cada valor cercano a la cota, entonces se puede aplicar directamente la función apropiada a cada valor (lo cual puede ser complicado desde el punto de vista computacional). Pongamos como ejemplo el caso de mediciones de echados cercanos a los 90° por geólogos: si alguien hiciera un estudio estadístico para conocer la función de error y ésta fuera aplicable a las mediciones de cualquier geólogo, entonces se podría aplicar ampliamente esta función al estudio de fallas. Desafortunadamente, ésta y muchas otras funciones no son conocidas y sin embargo es necesario tomar en cuenta de alguna manera la incertidumbre en ellas.

Consideramos aquí dos métodos para tratar el caso de barreras rígidas mediante aplicación de la misma función de error utilizada para los demás datos. El primer método consiste en considerar un plegamiento (semejante al *faltung* que ocurre alrededor de la frecuencia de Nyquist en el análisis de Fourier) de la distribución de error alrededor de la cota rígida, según se ilustra en la figura 2a, donde la flecha indica la posición de un dato, la línea delgada es la repartición original con la parte que sobrepasa a la cota plegada y la línea gruesa es la resultante del plegamiento. Este tratamiento sesga los posibles errores, dando mayor probabilidad a valores entre el valor medido y la cota que al propio valor medido, lo cual no parece razonable.

El método elegido en este trabajo consiste simplemente en truncar la repartición en la cota rígida y renormalizar la repartición truncada a área unitaria, de manera que los valores no permitidos se redistribuyen proporcionalmente a la distribución ori-

ginal. Este tratamiento se ilustra en la figura 2b, donde la línea delgada es la distribución original y la línea gruesa es la distribución truncada y renormalizada. El resultado de la aplicación de este método al análisis de los datos del ejemplo se muestra como línea gruesa en la figura 1.

ROSAS

El histograma de rosa es una herramienta bien conocida para el análisis de datos con extensiones cíclicas (e.g. Fisher, 1989, 1993), como, por ejemplo, orientaciones de trazos de falla, azimuths de orientaciones de magnetismo en las rocas, horas del día, etc., donde las cotas inferior y superior coinciden en una única cota que no es rígida. Los histogramas de rosa presentan los mismos problemas que los histogramas comunes (no cíclicos), por lo que puede aplicárseles la técnica de repartición.

El único problema surge cuando hay datos cercanos a las cotas, de manera que dichos datos son repartidos entre celdas que sobrepasan las cotas. Por ejemplo, en el histograma de rosa con extensión de 0° a 360° de la figura 3, se muestra la repartición de dos datos indicados por flechas: uno con valor 165° que se reparte entre 142° y 188° sin problema alguno; otro con valor 5° que se reparte entre -18° y 28° , y las celdas del intervalo -18° a 0° (sombreadas) corresponden naturalmente a las de 342° a 360° . De la misma manera, la repartición de datos con valores levemente inferiores a 360° podrá afectar celdas para valores cercanos a 0° , pero asignar la repartición a las celdas apropiadas es sólo cuestión de teneduría de libros y no es problema en realidad.

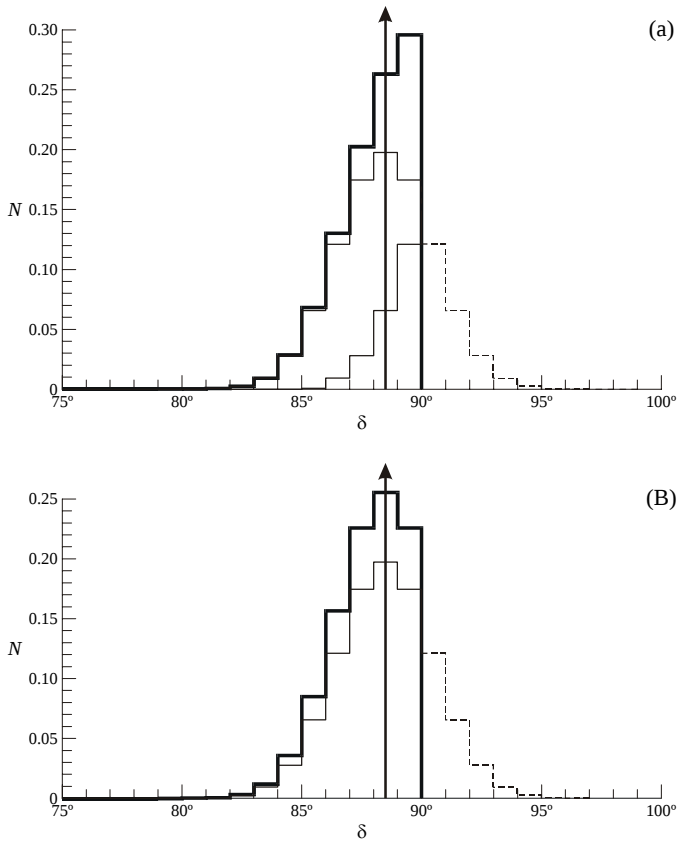


Figura 2. Dos diferentes maneras de hacer la repartición de un dato, indicado por una flecha y repartido originalmente según la línea delgada, en presencia de una cota rígida en $\delta=90^\circ$. La parte de la repartición original que sobrepasa la cota se indica por la línea punteada. En (a) esta sobrante es plegada sobre ésta y el resultado del plegamiento se muestra como la línea gruesa. En (b) la sobrante es truncada y el restante ha sido normalizado a área unitaria según muestra la línea gruesa.

Podemos considerar dos tipos de valor cíclico, a los que llamaremos uni- y bidireccional. El tipo unidireccional corresponde a datos cuyos valores están definidos unívocamente dentro de la extensión considerada; por ejemplo: azimuts de orientaciones magnéticas (0° a 360°), hora de ocurrencia dentro de un día (0 a 24 hrs), etc. El histograma de rosa unidireccional se ilustra en la figura 4 que muestra la distribución, sobre cada día, de los tiempos de origen t_0 de deslizamientos verticales en el extremo sur de la falla Imperial (Nava y Glowacka, 1999). Los datos son indicados por líneas discontinuas. Las celdas tienen $\Delta t = 0.05$ días y el largo de cada una corresponde al número repartido (mediante una gaussiana con $\sigma = 4\Delta t$) de eventos en ella, según la escala radial N , de manera que el área total contenida por el histograma es el número total de eventos.

El tipo bidireccional corresponde a datos cuyos valores tienen una ambivalencia de medio ciclo. Como ejemplo tenemos a las direcciones de falla expresadas como azimuts en la extensión de 0° a 360° ; como no se asocia un sentido determinado a las fallas, azimuts de 45° y de 225° describen al mismo rumbo NE. Como ilustración del ejemplo presentaremos los azimuts de plano de falla, obtenidos de los mecanismos focales, para

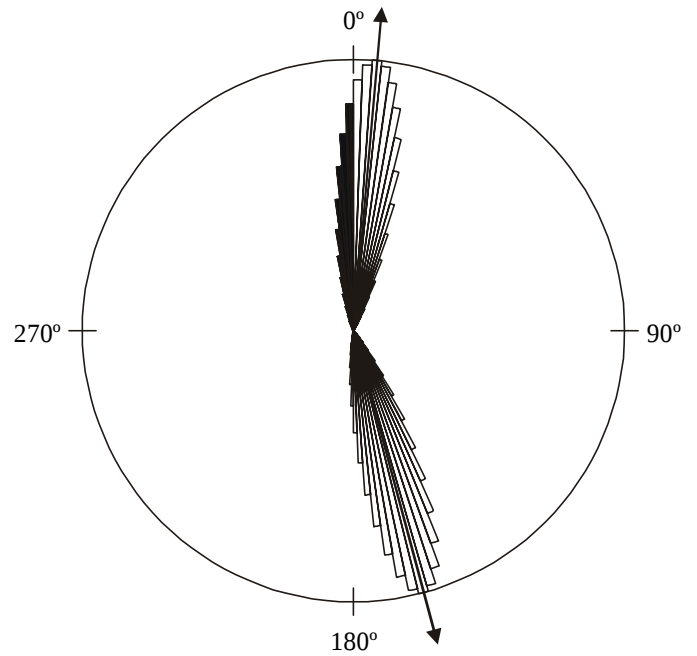


Figura 3. Repartición de dos datos indicados por flechas. El dato con valor 5° se reparte entre -18° y 28° , y las celdas del intervalo -18° a 0° (sombreadas) corresponden naturalmente a las de 342° a 360° .

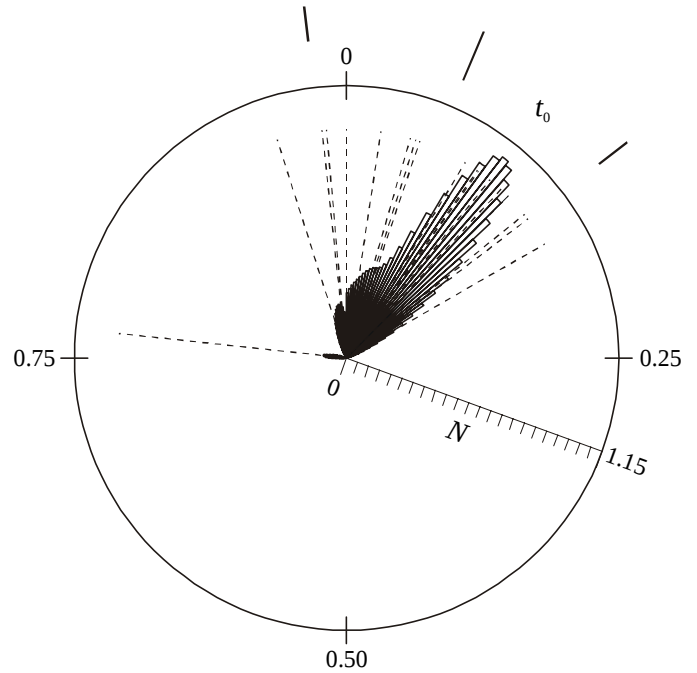


Figura 4. Histograma de rosa unidireccional que muestra la distribución, sobre cada día, de tiempos de origen t_0 ; los datos son indicados por líneas discontinuas, las celdas tienen $\Delta t = 0.05$ d y el largo de cada una corresponde al número repartido (mediante una gaussiana con $\sigma = 4\Delta t$) de eventos en ella según la escala radial N . El área total dentro de la curva corresponde al número de eventos. La raya mas gruesa extránea al círculo y con dirección radial indica el valor $\langle t_0 \rangle$ y las dos rayas a sus lados indican $\langle t_0 \rangle \pm S_{t_0}$.

sismos en el valle de Ojos Negros en el norte de Baja California (Frez *et al.*, 1999). Naturalmente, el tipo bidireccional puede reducirse al unidireccional mediante la reducción de la extensión a la mitad restando medio ciclo a los datos que superan este valor; en el ejemplo los azimuths son reducidos a la extensión de 0° a 180° , como se muestra en la figura 5. Sin embargo, es más fácil interpretar o visualizar la información del histograma si está expresada sobre la extensión natural de los datos; en el caso de azimuths del ejemplo el histograma de 0° a 360° puede sobreponerse o integrarse a mapas. Por lo tanto, los histogramas bidireccionales pueden presentarse sobre medio círculo, según se ilustra en la figura 6a para los mismos datos de la figura 5, o, mejor aún, con la información de medio círculo reflejada sobre la otra mitad (figura 6b), aunque en este caso el área total dentro de la curva es el doble del número de eventos.

En las figuras 5 y 6 se ha graficado, con línea gruesa, sólo la frontera externa de las celdas (sin las rayas que las separan), pues así se evita que, para celdas angostas, la concentración de rayas cerca del origen oscurezca los detalles de la distribución.

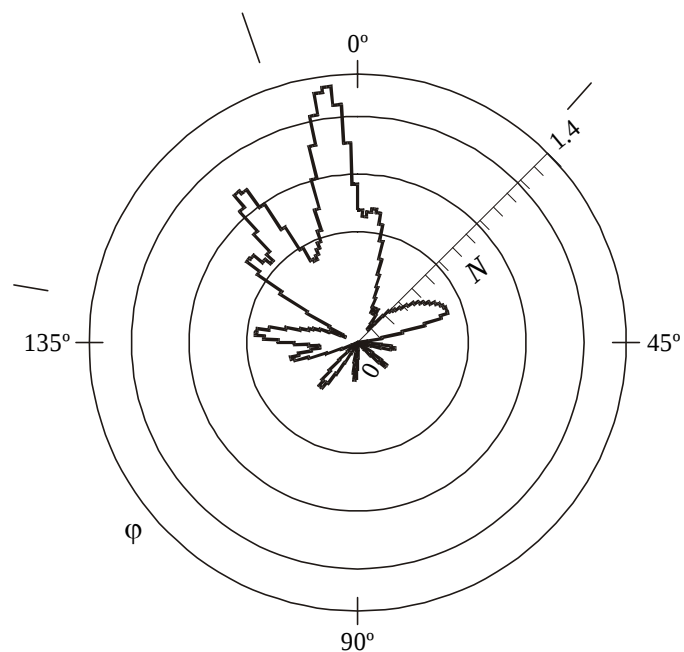


Figura 5. Histograma repartido de azimuths ϕ de plano de falla, distribuidos unidireccionalmente de 0° a 180° . Las rayas radiales extrínsecas al círculo indican $\langle\phi\rangle$ (centro) y $\langle\phi\rangle \pm S_\phi$.

Un aspecto en que difieren los histogramas de rosa de los no-cíclicos es el del valor medio, desviación standard y otros momentos de la distribución. Para cualquier tipo de distribución los parámetros mencionados están perfectamente definidos en un histograma no-cíclico, pero en el caso de una distribución uniforme, o aproximadamente uniforme, o multimodal con modos situados en puntos del ciclo lejanos entre sí, estos parámetros pueden no tener sentido pues sus valores dependen de la elección del origen, que es arbitraria. Por ejemplo, supóngase una distribución uniforme de azimuths, medida de 0°

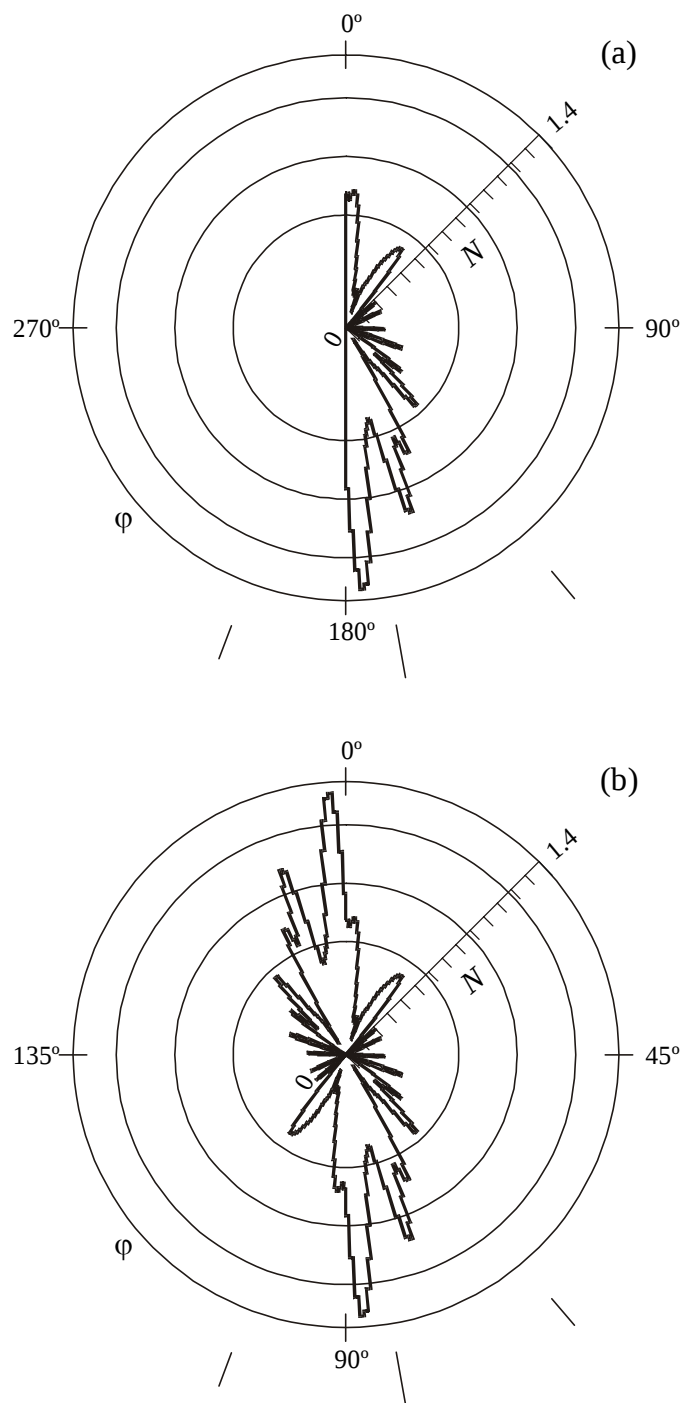


Figura 6. Histograma repartido de azimuths ϕ de plano de falla, distribuidos bidireccionalmente de 0° a 360° . En (a) el histograma se grafica de 0° a 180° . En (b) el histograma se refleja alrededor del origen, de manera que el área total bajo la curva es 2 veces el número de eventos. Rayas radiales como en la figura 5.

a 360° cuya media es, inmediatamente, 180° ; si medimos los azimuths de 45° a 405° , la media es 225° y obtendremos medias distintas para cada elección de origen.

Sin embargo, para distribuciones unimodales o, al menos, mayormente concentradas sobre una extensión que cubre una parte relativamente pequeña del ciclo, sí tiene sentido hablar de

valor medio y de desviación estándar. Por ejemplo, la distribución de tiempos origen t_0 de la figura 4 contiene eventos sólo en la extensión de 0.767d a 1.000d y de 0.000d a 0.167d y tiene un claro máximo $t_0^{\max} = 0.108d$; en este caso es perfectamente válido preguntarse cuál es el valor promedio de los tiempos origen.

Si la extensión de los valores observados no abarca el origen, la media, la desviación estándar, etc., pueden ser calculadas directamente; pero si, como en la figura 4, la extensión sí abarca el origen, entonces es necesario tener cuidado de corregir por el brinco que significa el paso por el origen. Una manera de hacer esto es utilizar el valor $t_0^{\max}$ como referencia y, al evaluar los parámetros, cada vez que $|t_0^{\max} - t_{0i}| > \frac{1}{2}T$, donde t_{0i} es el valor del i ésimo dato y T es el valor de un ciclo, en vez de t_{0i} utilizar $t_{0i} + T \operatorname{sgn}(t_0^{\max} - t_{0i})$. En la figura 4 la raya más gruesa con dirección radial extránea al círculo indica el valor medio $\langle t_0 \rangle = 0.063d$ y las dos rayas a sus lados indican $\langle t_0 \rangle \pm S_{t_0}$, donde $S_{t_0} \langle t_0 \rangle = 0.083d$ es la desviación estándar. En las figuras 5 y 6 rayas similares indican los valores de $\langle \phi \rangle$ y $\langle \phi \rangle \pm S_\phi$.

MAPAS

Para muestras cuyos valores cubren una superficie en 2D, un histograma considera celdas rectangulares de tamaño $\Delta x \Delta y$ y el número n_{ij} de elementos de la muestra cuyos valores están contenidos dentro de la celda h_{ij} cuyos lados son los intervalos $x_0 + i \Delta x$ a $x_0 + (i+1) \Delta x$ y $y_0 + j \Delta y$ a $y_0 + (j+1) \Delta y$. Por cada evento que cae dentro de una celda dada, un histograma convencional incrementa por 1 el número de elementos en esa celda y no hace cambio alguno en los contenidos de las demás celdas. En cambio, para cada evento, un histograma repartido incrementa el contenido de todas las celdas por el volumen que queda dentro de cada celda bajo alguna distribución bidimensional de error o incertidumbre (unitaria), alrededor del evento. De particular utilidad es la función gaussiana bidimensional:

$$g(x - x_k, y - y_k) = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y 2\pi} e^{-\frac{(x-x_k)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-y_k)^2}{2\sigma_y^2}}, \quad (1)$$

con desviaciones estándar σ_x y σ_y , en general distintas, centrada sobre el k ésimo evento localizado en (x_k, y_k) . Esta distribución puede ser fácilmente rotada en caso de que la orientación de la incertidumbre en los datos no corresponda con los ejes X y Y .

La figura 7 ilustra el efecto de distribuir los eventos en 2D mediante una gaussiana simétrica con $\sigma_x = \Delta x/4 = \sigma_y = \Delta y/4$. En la parte superior a la izquierda se muestra el caso en que el evento cae en el centro de una celda; la gaussiana (cuya escala se ha exagerado) queda contenida (para el nivel de precisión utilizado) dentro de la celda y ésta tiene amplitud unitaria. En la parte superior a la derecha, se ilustra cómo se reparte un evento que cae en el centro de la frontera entre dos celdas; la mitad de la gaussiana es contenida en cada celda de manera que ambas tienen amplitud 0.5. Al frente a la derecha se muestra la repartición de un evento localizado en la frontera entre cuatro

celdas, que resulta en el valor de 0.25 para cada una. Al frente a la izquierda se muestra un evento ocurrido cerca de una frontera y cómo se reparte de manera desigual entre las celdas adyacentes. En un histograma usual los eventos de los tres últimos casos habrían sido asignados completamente a una celda u otra y, para eventos situados en fronteras, la celda habría sido escogida según algún criterio usualmente arbitrario. Lo anterior ilustra una de las razones por las que, al menos para muestras escasas, es más razonable repartir que simplemente asignar ocurrencias. Naturalmente, si la distribución de reparto es más ancha que las celdas, entonces un evento estará siempre repartido entre varias celdas.

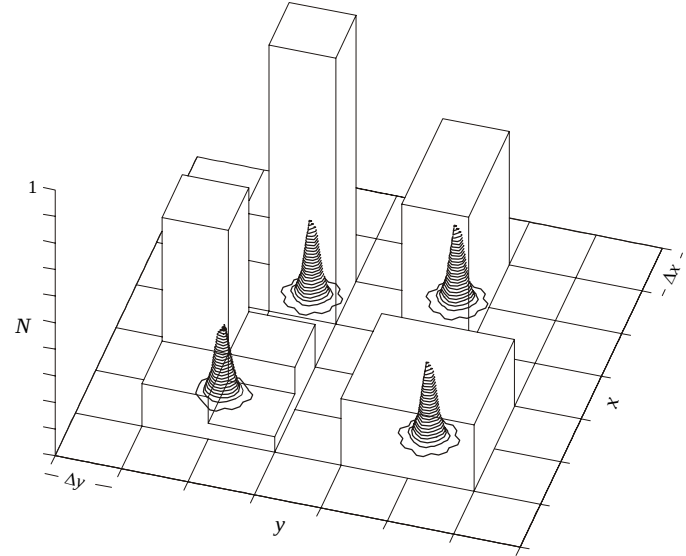


Figura 7. Ejemplos del efecto de la posición de un evento con respecto a las celdas en 2D sobre su distribución mediante una gaussiana simétrica con $\sigma_x = \Delta x/4 = \sigma_y = \Delta y/4$.

En Nava (1998) se discutieron los fuertes efectos que sobre un histograma convencional pueden tener diferentes valores del origen de las variables y del ancho de clases; los mismos efectos resultan para histogramas en 2D y, como en el caso unidimensional pueden ser en gran parte corregidos mediante la repartición de los datos. En particular, el uso de celdas muy pequeñas con relación a la extensión y/o incertidumbre en los datos hace que el histograma repartido sea esencialmente independiente de la elección del origen de coordenadas y del tamaño exacto de las celdas.

La figura 8 ilustra el histograma repartido de los sismos con $M \geq 4$ ocurridos en el norte de Baja California de 01/07/1973 a 29/05/1998, en el área que abarca de 114.8°W a 116.5°W y de 31.5°N a 32.7°N, con $\Delta x = \Delta y = 0.02^\circ$ y $\sigma_x = \sigma_y = 0.04^\circ$; sobre la figura se muestra la frontera internacional y algunas de las principales fallas de la región. Si se compara esta figura con la figura 4 de Frez y Frías-Camacho (1998) que ilustra la energía sísmica liberada en la región, puede verse que un simple histograma repartido (con ventana de magnitud que incluye solamente sismos relativamente grandes) puede dar una muy buena idea de la distribución de la sismicidad significativa en la

región. Naturalmente, si se hubiera asignado pesos a los sismos según su energía (o, más bien, según el logaritmo de ésta) el resultado hubiera sido muy parecido al de la obra citada, aunque no exactamente igual, porque en ésta se obtuvo primero un histograma normal y se repartió después.

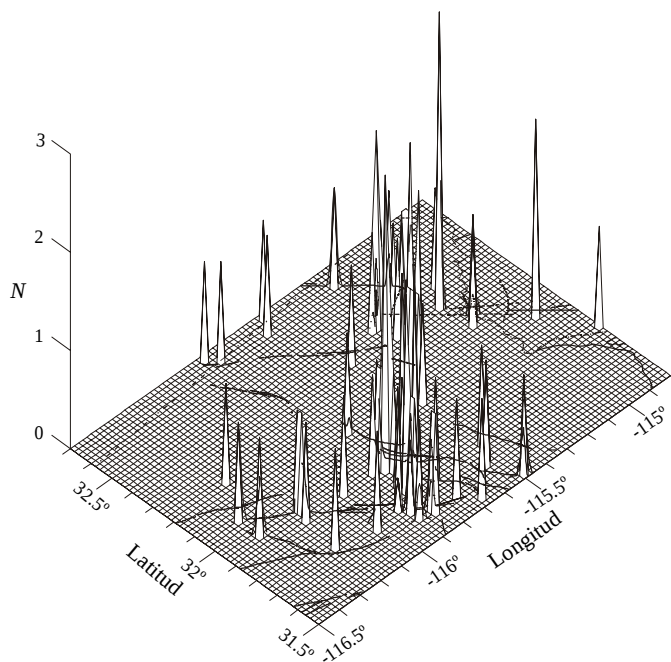


Figura 8. Histograma repartido en 2D de los sismos del norte de Baja California con $M \geq 4$ 01/07/1973 a 29/05/1998, de 114.8°W a 116.5°W y de 31.5°N a 32.7°N , con $\Delta x = \Delta y = 0.02^{\circ}$ y $\sigma_x = \sigma_y = 0.04^{\circ}$; sobre la figura se muestra la frontera internacional y algunas de las principales fallas de la región.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

La técnica de histogramas repartidos es perfectamente aplicable a distribuciones con cotas rígidas, a histogramas de rosa para el análisis de variables cíclicas y para histogramas en 2D. Como en los otros casos discutidos en Nava (1998) los histogramas repartidos son menos dependientes del tamaño y la localización de las celdas y casi independientes de estos parámetros cuando las celdas son bastante menores que la desviación estándar de la distribución de reparto.

Se encuentra empíricamente que para muestras escasas los histogramas repartidos se ajustan mejor a las distribuciones madre que los histogramas comunes. Por lo tanto, estimar o identificar una distribución madre desconocida a partir de una muestra escasa puede facilitarse mediante el uso de histogramas repartidos.

Tres programas, escritos en BASIC para PC, que elaboran los histogramas descritos en este artículo y en Nava (1998), se encuentran a disposición de los interesados (fnava@cicese.mx).

AGRADECIMIENTOS

Muchas gracias a José Frez por el uso de su catálogo Baja73PR, a los editores de GEOS por su apoyo y entusiasmo y a los árbitros que fueron un factor para la mejoración del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Fisher, N., 1989, Smoothing a sample of circular data. *J. Struc. Geol.*, 11, p. 775-778.
- Fisher, N., 1993, Statistical analysis of circular data. Cambridge Univ. Press, UK, 277 pp.
- Frez, J. y Frías-Camacho, V., 1998, Distribución de energía sísmica en la región fronteriza de ambas Californias. *GEOS*, Vol. 18, No. 3, p. 189-196.
- Frez, J., González, J., Acosta, J., Nava, F., Méndez, I., Carlos, J., García-Arthur, R. and Alvarez, M., 1999, A detailed microseismicity study and current tectonics in the Peninsular Ranges of northern Baja California, Mexico: The Ojos Negros valley. *Bulletin of the Seismological Society of America*, (sometido).
- Nava, F., 1998, Histogramas repartidos para el análisis de muestras estadísticas escasas. *GEOS*, Vol. 18, No. 3, p. 174-179.
- Nava, F. and Glowacka, E., 1999, Fault-slip triggering, healing, and viscoelastic afterworking in sediments in the Mexicali-Imperial valley. *Pageoph* 1, p. 615-629.
- Silverman, B., 1986, Density estimation for statistics and data analysis. Chapman & Hall, UK, 326 pp.

FBF, UN PAQUETE DE CÓMPUTO PARA CONSTRUIR SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS

Juan Contreras-Pérez
Depto. de Geología, CICESE
Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C., México
E-mail: juanc@cicese.mx

RESUMEN

El paquete de cómputo FBF permite simular, en dos dimensiones, deformaciones geológicas producto de fallamiento tanto normal como inverso. El algoritmo usado por FBF conserva masa y por lo tanto puede ser utilizado para construir secciones estructurales balanceadas. El paquete consiste en una serie de programas modulares que corren en modo texto cuyo código fuente es independiente de la plataforma de cómputo. Contiene un pre-procesador (fbfmesh), un procesador (fbfault), y un post-procesador (fbfplot). El pre-procesador genera mallas de puntos materiales que representan el estado inicial, sin deformar, de formaciones geológicas. El procesador realiza una simulación directa para calcular el estado deformado dislocado de los puntos materiales inducido por fallamiento. Finalmente, el post-procesador toma la salida de procesador fbffault y los pone en un formato conveniente para ser graficados.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se describe una serie de programas de cómputo, de diseño modular e independientes de la plataforma de cómputo, denominados FBF (fault-bend fold) que utilizan la metodología desarrollada por Contreras y Suter (1990) para modelar secuencias de deformación por fallamiento en dos dimensiones. Estos autores desarrollaron un autómata celular para obtener la deformación originada por el transporte de un medio sobre una falla de geometría conocida. De esta manera, con este autómata se pueden efectuar simulaciones de deformación de régimen frágil y es especialmente aplicable para aquellas áreas donde la carpeta sedimentaria se ha desacoplado del basamento tectónico a lo largo de una superficie de cizallamiento. Aún más, con este modelo es posible generar secciones estructurales balanceadas, ya que las reglas de deformación empleadas por el autómata conserva el área.

La descripción algorítmica, así como la implementación computacional del autómata celular se encuentran descritas en Contreras (1991), donde se utilizó el lenguaje de programación Pascal que fué uno de los primeros lenguajes de computación estructurados. En éste, el código fuente sufre de varias limitaciones; la principal de ellas es el hecho de que no es transportable, ya que contiene llamadas a subrutinas comerciales de graficado que sólo fueron desarrolladas para el sistema operativo MS-DOS. También hay que considerar que la codificación en Pascal ha caído en desuso y ha sido sustituida por lenguajes más compactos con compiladores más eficientes tal como C++. Por lo tanto, la actualización del código fuente era necesaria.

Los nuevos programas, descritos en este artículo, no tienen esos problemas, ya que se han eliminado las subrutinas de graficado y la codificación se ha hecho con apego al estándar ANSI del lenguaje de programación C++. Esto los hace efectivamente transportables e independientes del sistema operativo y equipo de cómputo.

En la primera parte de este trabajo se presenta una descripción de las metodologías geométricas empleadas en el balanceo de secciones, así como una descripción del algoritmo utilizado por FBF. Después se da una descripción detallada del uso de los programas, y finalmente se presentan y discuten una serie de secciones sintéticas generadas con FBF.

METODOLOGÍAS DE BALANCEO DE SECCIONES Y EL ALGORITMO UTILIZADO POR FBF

Las técnicas de balanceo de secciones estructurales fueron desarrolladas para constreñir y minimizar la incertidumbre durante la reconstrucción de la geometría del subsuelo o partes erosionadas. Esto es de gran importancia en la geología económica, como en el caso de la exploración por hidrocarburos, donde es necesario tener un buen control de la estructura de las rocas almacenadoras. El balanceo de secciones está basado en el principio de conservación de masa. Es decir, durante la deformación, la masa de las rocas debe permanecer constante. De manera equivalente, una sección estructural debe cumplir con las siguientes condiciones para que esté balanceada: (i) que la reconstrucción propuesta del subsuelo sea retrodeformable y (ii) que la orientación de la sección sea paralela al transporte tectónico (de otra manera habría un flujo de masa a través del plano de la sección). Las técnicas de balanceo de secciones son especialmente útiles cuando la deformación es somera y de régimen frágil, ya que es común que bajo este régimen las rocas

sedimentarias se desacoplen del basamento y se deformen a lo largo de una superficie de despegue (o corrimiento basal) formando una falla de bajo ángulo. Esto hace que la deformación esté concentrada por arriba del despegue basal, facilitando la interpretación estructural como se verá mas adelante.

Ya que la sección está contenida en un plano, se pueden utilizar metodologías de reconstrucción que conserven área (v.g. Chamberlain, 1910). Para este caso se supone que las rocas son incompresibles y por lo tanto el área de las rocas contenida en el plano de la sección debe permanecer constante. Con base en la Figura 1, se puede establecer la siguiente relación entre el área deformada A_d , el transporte tectónico u y la profundidad al despegue basal h_b :

$$A_d = u \times h_b. \quad (1)$$

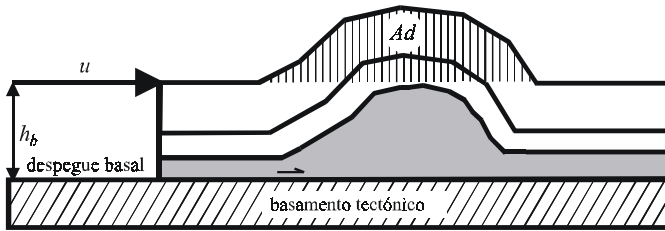


Figura 1. La deformación frágil somera se caracteriza por un desprendimiento de la carpeta sedimentaria del basamento tectónico a lo largo de un corrimiento basal. En estos casos es posible definir una relación sencilla entre el transporte tectónico u , la profundidad al despegue basal h_b y el área acortada A_d (según Chamberlain, 1910).

Esta expresión sencilla es sumamente útil en la construcción de secciones estructurales, ya que con ella se puede estimar el espesor de la cubierta sedimentaria que ha sido involucrado en la deformación. Con esta información se puede simular cómo los pliegues pierden amplitud con la profundidad hasta el despegue basal. Otras aplicaciones de la relación (1) son las siguientes: si la profundidad al despegue es conocida por información de pozos o sísmológica, es posible obtener el transporte tectónico u a lo largo de cabalgaduras. Si el transporte tectónico u y la profundidad del despegue h_b son conocidas, entonces se puede obtener la geometría de las fallas y/o su echado, ya que el área del relieve estructural debe ser la misma que el producto $u \times h_b$ (Suter, 1981).

Otras metodologías frecuentemente utilizadas son aquellas donde se supone que la longitud de las unidades sedimentarias permanece constante, es decir, se considera que durante la deformación no hay dilatación ni extensión de capas (Woodward et al., 1985). Un ejemplo de este tipo de deformación es el plegamiento que se observa en una gruesa de papel al aplicarse fuerzas compresivas sobre sus lados. Claramente, la longitud de cada una de las hojas de la gruesa no cambia aún si éstas se desgarran. Aquí destaca la metodología propuesta por Suppe y Namson (1979) y Suppe (1983) la cual es aplicable a cinturo-

nes de pliegues y cabalgaduras donde predominan pliegues-rampa (fault-bend folds) y pliegues de propagación de rampas (fault-propagation folds). En estas estructuras se presentan dos mecanismos de deformación que actúan de manera simultánea (Figura 2): fallamiento inverso en el núcleo de la estructura y plegamiento en los niveles estructurales superiores. El método de Suppe (op cit.) consiste en aplicar una serie de relaciones trigonométricas entre el ángulo del frente del pliegue-rampa (γ) y el echado de la falla (θ) de tal manera que se garantiza que la longitud de las capas sea la misma, tanto en el estado deformado como sin deformar. Sin embargo, cuando el frente del pliegue acorlado de pliegues de propagación de rampas se vuelve recumbente, se genera una gran distorsión en esta área (ya que no está presente un despegue superior que acomode el desplazamiento tectónico), y por lo tanto, en esta situación es necesario relajar la restricción de la conservación de longitud en el flanco frontal del pliegue; en el resto de la estructura se considera que la longitud de capas es preservada.

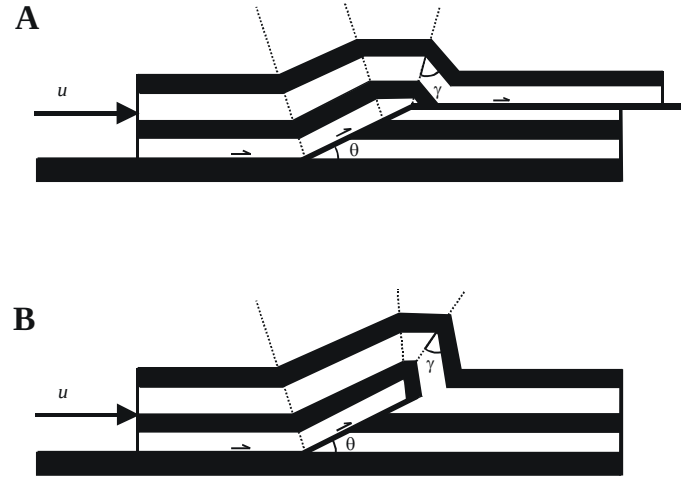


Figura 2. (A) Diagrama que muestra la geometría idealizada de pliegues-rampa y (B) pliegues de propagación de rampas (según Suppe, 1985).

Una estrategia diferente, que es la utilizada en este trabajo, es especificar una función de deformación basada en leyes empíricas derivadas de observaciones geológicas. De esta manera, Contreras y Suter (1990) y Contreras (1991) desarrollaron un modelo cinemático bidimensional para obtener el estado deformado de un medio inducido por desplazamientos grandes finitos a lo largo de una superficie de falla. El quid de la metodología consiste en aproximar la geometría de una falla por medio de segmentos rectos y desplazar el medio sobreyacente de forma paralela a la superficie de la falla. Los planos axiales entre dos segmentos de falla consecutivos limitan regiones de vectores de dislocación constante. El estado deformado está dado simplemente por la ecuación:

$$\begin{bmatrix} p'_x \\ p'_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_x + u \cos \theta \\ p_y + u \sin \theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

Donde p es la posición inicial de la partícula material, p' es la posición deformada, u es la magnitud del transporte tectónico a lo largo de la falla y θ es el echado del segmento de falla subyacente. En otras áreas de ciencias físicas este planteamiento se conoce como autómatas celulares (Toffoli, 1984). Los modelos numéricos generados de esta manera tienen geometrías similares a los observados en la naturaleza (Contreras y Suter, 1997). Estas simulaciones también están en acuerdo con los modelos que se basan en relaciones geométricas entre la falla y la longitud de las capas (Suppe, 1983; Mitra, 1986, Cruickshank *et al.*, 1989). Además, este modelo tiene la ventaja importante de que genera secciones balanceadas sin invocar ninguna suposición acerca de la función de deformación (v.g. conservación de área o de longitud de capa).

USO DE LOS PROGRAMAS

FBF se encuentra disponible tanto en paquetes ejecutables para sistemas Windows 9x, Linux y así como un paquete con el código fuente. FBF puede ser descargado de la página web del CICESE en el URL: <http://www.cicese.mx/~juanc/fbf/fbf.html>. Hay que tomar en cuenta que FBF ha sido desarrollado en Linux por lo que este ambiente, u otros sistemas operativos UNIX, son los más adecuados para correrlos. El autor también está dispuesto a proporcionar copias impresas del código fuente. Este consta de unas 2000 líneas y está codificado en lenguaje de programación C++. Ya que estos programas corren en modo texto, sólo se requieren las bibliotecas usuales de C++. FBF fue desarrollado usando el compilador C++ ANSI g++ v. 2.95.2, pero cualquier otro compilador C++ ANSI deberá ser capaz de generar los ejecutables sin ningún problema. Los programas que conforman FBF son gratuitos y son distribuidos bajo una licencia GPL (GNU General Public Licence). Esto significa que pueden ser copiados y redistribuidos libremente; para mayor información véase los términos de la licencia GLP en <http://www.gnu.org>

A continuación se describen los programas que constituyen a FBF: el pre-procesador `fbfmesh`, el procesador `fbfold` y el post-procesador `fbfplot`. El diseño de estos programas está inspirado en GMT (Generic Mapping Tools) y en GRI (Graphing language), programas que toman como entrada un archivo de datos y generan un archivo de salida. Siguiendo la filosofía de GMT y GRI, como se verá más adelante, los programas de FBF no son programas interactivos ni utilizan el ratón, ya que todo el proceso es controlado a través de los parámetros del archivo de entrada. Debe remarcarse que uno debe ser cuidadoso al editar el archivo de entrada para así obtener los resultados deseados (ver ejemplos en los Apéndices A y B). Los archivos de entrada son archivos de texto normal y contienen una lista de parámetros con sus respectivos valores. Estos parámetros son especificados de la siguiente manera:

<nombre del parámetro> = <valor>

Donde <valor> puede ser un número entero, flotante o una cadena de caracteres.

Las convenciones utilizadas son las siguientes: valores en x se incrementan hacia la derecha, valores en y se incrementan hacia arriba y los ángulos se incrementan en el sentido opuesto al de las manecillas del reloj. Las cadenas de caracteres no deben contener espacios en blanco. También se pueden introducir comentarios en los archivos de entrada y así clarificar su contenido; estos tienen que iniciar con el carácter “#” y no deben de sobrepasar ochenta caracteres por línea.

PROGRAMA FBFMESH

El primer paso para generar un modelo estructural del subsuelo con FBF consiste en definir la geometría de la unidades geológicas en su estado previo a la deformación actualmente observada. El pre-procesador `fbfmesh` facilita esto ayudando a generar dicho estado. `Fbfmesh` construye mallas de puntos equi-espaciados a partir de información contenida en un archivo de entrada. Debe recalarse que `fbfmesh` no es un mallador sofisticado y sólo puede generar celosías bidimensionales con topología sencillas, v.g., mallas rectangulares y mallas que se acunán gradualmente a lo largo del eje de las ordenadas. Estas son aproximaciones aceptables, ya que la mayoría de las unidades estratigráficas tienen geometrías tabulares o se adelgazan lateralmente de manera gradual. Por supuesto que es posible reproducir geometrías iniciales más complicadas combinando varias de estas primitivas.

El pre-procesador `fbfmesh` primero lee y analiza una serie de parámetros almacenados en un archivo de entrada, después calcula la posición de los puntos de la malla basado en esta información y finalmente almacena la malla en un archivo de salida. Los parámetros leídos del archivo de entrada se muestran en la Figura 3 y son los siguientes:

rows, cols: número de renglones y columnas de que consta la malla de puntos materiales. Se pueden definir mallas con un máximo de 100 renglones por 500 columnas.

dx, dy: separación horizontal y vertical entre nodos de la malla.

x0, y0: las coordenadas del nodo inferior izquierdo de la malla.

taperanglesup, taperangleinf: los ángulos que definen el acunamiento en la dirección horizontal de los puntos de la malla.

outputmesh: una cadena de caracteres que almacena el nombre del archivo de salida.

De manera adicional, se puede especificar el parámetro “regionname”, una cadena de caracteres con el nombre del modelo o región, e.g., el nombre de una formación o unidad litológica. En el Apéndice A se muestra, a manera de ejemplo, el texto de un archivo de entrada para `fbfmesh` y la manera de invocar a este programa.

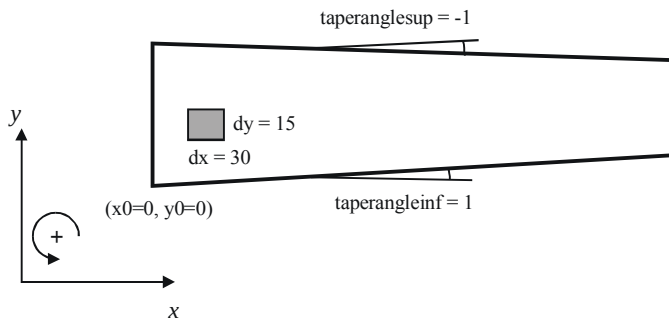


Figura 3. Diagrama con los parámetros de entrada para el pre-procesador fbmesh. Ver texto y Apéndice A para más detalles.

PROGRAMA FBFOLD

El programa fbfold calcula la deformación finita de un medio inducida por su movimiento a lo largo de una superficie de falla. Este programa está basado en el algoritmo de Contreras y Suter (1990) y Contreras (1991). El archivo de entrada para este programa especifica los archivos con mallas a deformar (archivos de salida de fbmesh o del mismo fbfold), la geometría de la falla, el transporte tectónico a lo largo de la falla, y los archivos de salida donde almacenar las mallas deformadas. Fbfold simplemente desplaza los nodos de las mallas de manera paralela a la superficie de la falla iterando la ecuación (2) utilizando desplazamientos muy pequeños (un decimo del parámetro dx) hasta que el desplazamiento acumulativo es igual al desplazamiento tectónico prescrito. La geometría de la falla es especificada con segmentos de rectas (Figura 4); utilizando varios segmentos es posible definir geometrías complicadas como se verá en ejemplos posteriores. Cada segmento recto de la falla es definido por su longitud y echado. Para especificar completamente la geometría de la falla es necesario especificar el punto donde se inicia la falla; es recomendable que este punto no esté contenido en la malla o mallas a deformar, ya que de lo contrario aparecerán vacíos en la(s) malla(s). Con fbfold se puede modelar la deformación de hasta 50 fallas; más de esta cantidad generará un desborde de memoria en el arreglo que almacena la geometría de las fallas. Los parámetros leídos del archivo de entrada son los siguientes:

faultname: una cadena de caracteres opcional con el nombre de la falla

nsegments: el número de segmentos que definen la geometría de la falla. Es posible definir fallas que consten de hasta 500 segmentos.

x0, y0: el punto donde se inicia la falla

segmentlength, segmentdip: estos parámetros especifican la longitud y echado de cada uno de los segmentos rectos que definen a la falla.

utotal: magnitud del transporte tectónico.

inputmesh: nombre del archivo con la malla de entrada a ser deformada.

outputmesh: nombre del archivo de salida donde se almacena la malla deformada.

Opcionalmente se pueden especificar los parámetros “inputoldfaults” y “outputoldfaults”. Su uso requiere de una explicación más detallada. Es claro que la deformación inducida por varias fallas puede ser modelada usando iteradamente fbfold sobre las mallas deformadas generadas por este mismo programa (hasta 50 fallas). Conforme son introducidas nuevas fallas, las fallas antiguas se tornan inactivas y por lo tanto son susceptibles de ser deformadas por la falla actualmente activa. Fbfold almacena estas fallas inactivas en archivos separados y estos dos parámetros indican el nombre del archivo donde se deberán almacenar (outputoldfaults) y el nombre del archivo de donde deberán ser leídas (inputoldfaults). En el apéndice B se muestra un ejemplo de cómo utilizar estos parámetros para formar los archivos de entrada y de como invocar fbfold.

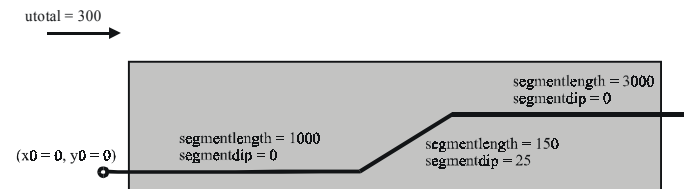


Figura 4. Diagrama con los parámetros de entrada del procesador fbfold que definen la geometría de la traza de la falla. Aquí se muestra una falla inversa con geometría desgue-rampa-desgue. Ver Apéndice B y texto para más detalles.

PROGRAMA FBFOLD

Para visualizar los modelos estructurales generados por fbfold primero hay que poner los archivos con las mallas y fallas deformadas en un formato conveniente para ser graficadas. Fbplot no despliega ninguna gráfica; sólo toma los archivos de salida de fbfold y crea una serie de archivos con extensiones .tmp de estructura columnar que contienen las coordenadas de los nodos de las mallas deformadas. Para efectuar el graficado de los modelos estructurales se recomienda el uso de gnuplot, un programa robusto para el desplegado bi y tridimensional de datos. Otras ventajas de gnuplot son: es un programa libre y gratuito, ha sido portado a varias plataformas y sistemas operativos, es fácil de aprender, y más importante aún, puede generar archivos postscript con gráficas vectoriales de alta resolución de los modelos estructurales. Los archivos postscript pueden ser importados, a su vez, por la mayoría de los paquetes comerciales de diseño gráfico e industrial. Fbplot también puede generar un script para gnuplot, lo que facilita más el graficado. El apéndice B muestra un ejemplo de como utilizar fbplot.

EJEMPLOS DE MODELOS ESTRUCTURALES GENERADOS POR FBF

UN EJEMPLO CON PLIEGUES-RAMPA

La Figura 5 muestra una comparación entre una sección sintética generada por FBF y una sección estructural de la parte

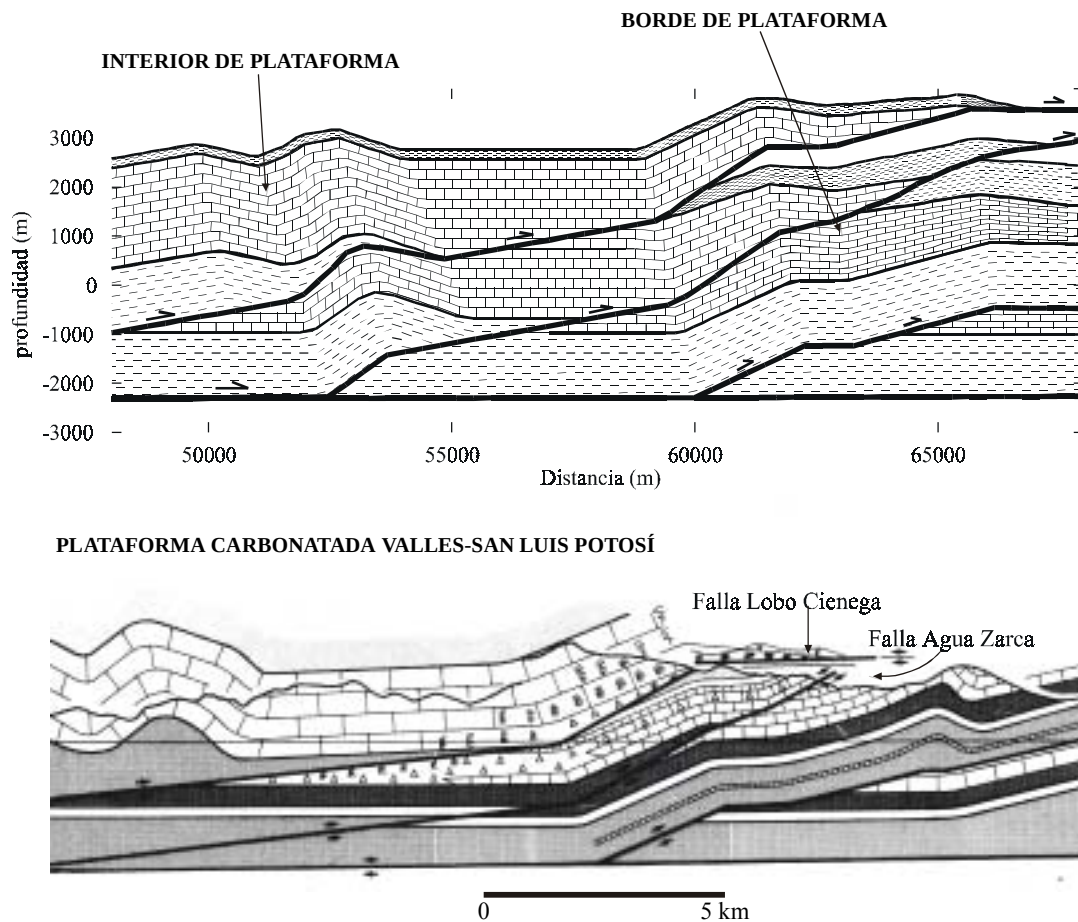


Figura 5. Comparación entre una sección estructural de la parte central de la Sierra Madre Oriental (figura inferior, después de Suter 1987) y una sección sintética para la misma área generada con FBF (figura superior) .

central del cinturón de pliegues y cabalgaduras de la Sierra Madre Oriental propuesta por Suter (1987). En la construcción de la sección sintética se utilizaron 5 mallas para aproximar la geometría del banco de carbonatos Valles-San Luis Potosí (Formación El Abra), las rocas de facies de cuenca asociada (Formación Tamaulipas) y unidades cretácicas tardías. Hay que notar que para aproximar la geometría de las facies de borde de plataforma se utilizó una malla en forma de cuña con una pendiente superior a 15°. En esta sección sintética se utilizaron tres fallas inversas con geometrías escalonadas (geometría de despegue-rampa-despegue). En general existe un buen acuerdo entre la sección propuesta por Suter (1987) y la sección sintética, especialmente en la parte superficial que es donde se tiene mayor control estructural. Existe diferencias a profundidad entre ambas secciones, pero esto se debe a que se utilizaron diferentes suposiciones para obtener las reconstrucciones. Este es el caso del pliegue disarmónico sobre la cabalgadura Lobo Ciénega propuesto por Suter (1987), que se modeló como un escalón en la cabalgadura de Agua Zarca (Figura 5).

UN EJEMPLO CON FALLAS NORMALES LÍSTRICAS

Ya que FBF y en general el autómatas celular presentado por Contreras y Suter (1990) no distingue entre tipos de fallas, es posible modelar fallamiento normal. Hay que tomar en cuenta

que FBF esta orientado a áreas donde la cubierta sedimentaria se encuentra desacoplada del basamento tectónico. En zonas donde fallas penetran hasta la corteza profunda (fallas con longitudes mayores de 40 km) existen otros procesos que no pueden ser modelados por FBF como son isostasia, flexión y adelgazamiento de la corteza. La figura 6 muestra una sección sintética con tres fallas normales lístricas que se unen a profundidad formando un despegue de bajo ángulo. Este es, por ejemplo, el estilo de fallamiento observado en la Cuenca de Burgos en el noreste de México.

UN EJEMPLO CON FALLAMIENTO INVERSO Y SEDIMENTACIÓN

FBF también puede ser utilizado para modelar otros procesos geológicos. Tal es el caso de la evolución de cuencas sedimentarias clásticas donde se presenta deformación frágil sinsedimentaria. Este proceso se puede modelar en dos dimensiones por medio de la ecuación diferencial parcial (Hardy *et al.*, 1996):

$$\frac{\partial}{\partial t}(h + u_y) = \kappa \frac{\partial^2}{\partial x^2} h + s, \quad (3)$$

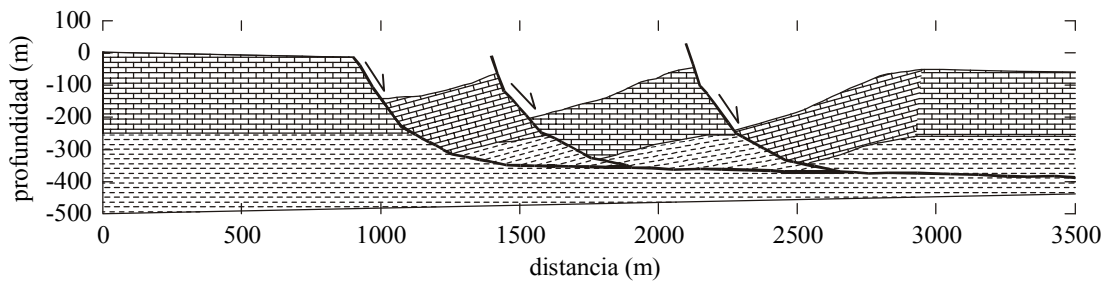


Figura 6. Simulación numérica con fallas listricas generado con FBF.

donde h es la elevación topográfica de la cuenca, u_y es la componente vertical del transporte tectónico producto de la deformación frágil, el término diferencial de la derecha representa erosión o sedimentación local (según sea el signo de la curvatura de la topografía), κ es la resistencia de la roca a ser erosionada y s es una sedimentación de fondo producida por fuentes sedimentarias distantes. La figura 7 muestra un experimento numérico basado en la ecuación (3) que ilustra el efecto de deformación compresional en la sedimentación. En esta figura también se muestra una línea sísmica del cinturón de pliegues y cabalgaduras de Perdido localizado en la parte central del Golfo de México (Trudgill *et al.*, 1999). Las relaciones sedimentarias observadas en la sección sísmica y las generadas en el experimento numérico muestran buen acuerdo. Especialmente el acunamiento de reflectores y el patrón de sobrelape (onlap) hacia el núcleo del pliegue acofrado. Este tipo de simulaciones pueden ser realizadas con la ayuda de FBF gracias a que éste realiza una simulación directa de la deformación frágil y plegamiento asociado. Esto no sería posible si FBF estuviera únicamente enfocado a reconstruir la geometría del subsuelo como lo hacen programas de diseño gráfico o CAD.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han descrito una serie de programas para modelar la deformación finita por desplazamientos grandes asociada a fallamiento. Estos programas son útiles para simular la deformación de áreas donde la carpeta sedimentaria se encuentra desprendida del basamento tectónico a lo largo de una zona de cizalla. El modelo de deformación consiste en un autómata celular que desplaza los nodos de una malla, que representa el medio sin deformar, de forma paralela a la traza de la falla. Con estos programas es posible construir secciones estructurales balanceadas. Dado que el autómata celular no distingue entre tipos de fallas es posible modelar la deformación tanto de áreas bajo acortamiento como extensión. Aún más, la salida de estos programas puede ser utilizada para modelar procesos geológicos más complejos como la evolución de cuencas sedimentarias.

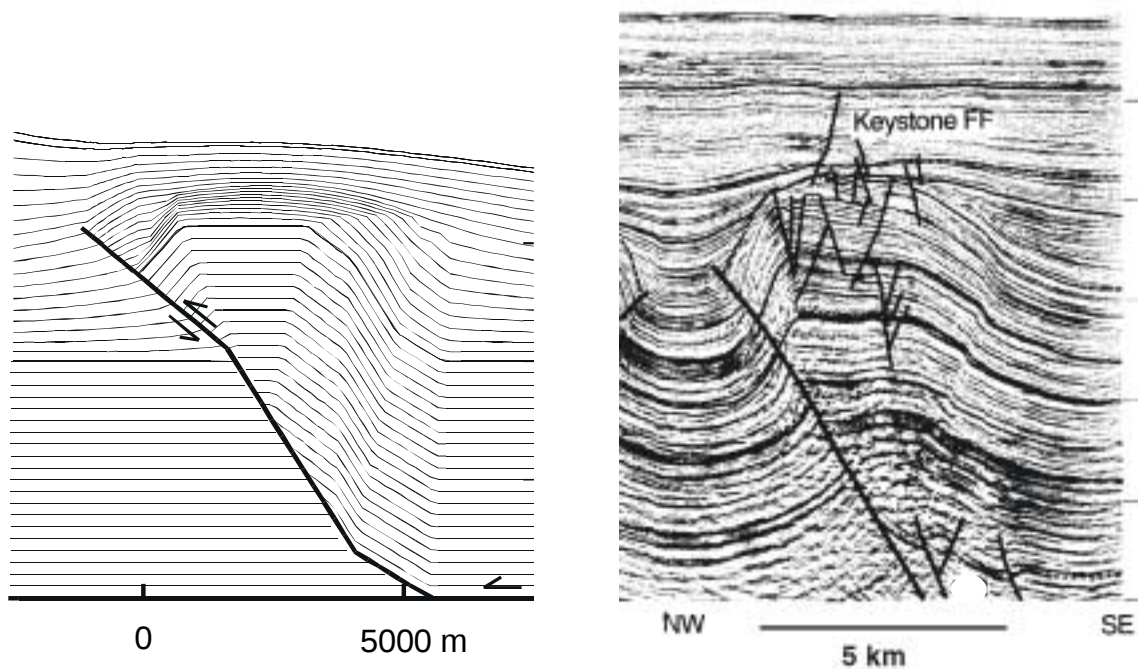


Figura 7. Comparación entre un experimento numérico con deformación y sedimentación simultáneas y una de las estructuras del cinturón plegado de Perdido en el Golfo de México iluminada mediante sísmica de reflexión (Trudgil *et al.*, 1999).

APÉNDICE A

El siguiente texto ilustra cómo se forman los archivos de entrada para fbfmesh con los parámetros descritos en este artículo y en la Figura 3.

```
#=====
# Archivo ejemplo para generar el estado inicial sin deformar.
# Las unidades están en el SI
#=====
# Nombre de la región
regionname = capa_1
# Los siguientes parámetros definen el tamaño de la malla
cols = 200
rows = 15
# Los siguientes parámetros definen las coordenadas del
# nodo (0,0)
x0 = 0.0
y0 = 0.0
# Los siguientes parámetros establecen la separación horizontal
# y vertical entre nodos adyacentes de la malla
dx = 3.0
dy = 15.0
# Los siguientes parámetros especifican una malla con forma
de cuña
taperanglesup = -1
taperangleinf = 1
# Este es el archivo de salida donde se almacena la malla
outputmesh = capa_inicial.mesh
```

El ejemplo anterior genera una malla de 15 renglones por 200 columnas con celdas rectangulares de 15 m de largo por 5 m de alto. La malla se acuña gradualmente en la dirección del eje x con una pendiente de -1° y 1° en su cima y base, respectivamente. El resultado es almacenado en el archivo de salida “capa_inicial.mesh”. Para generar la malla en el estado sin deformar es necesario pasar a fbfmesh, desde la línea de comandos, el nombre del archivo que contiene los parámetros de entrada, e.g.,

```
fbfmesh <archivo de entrada>
```

APÉNDICE B

El siguiente texto ilustra como formar los archivos de entrada para fbfold con los parámetros descritos en este artículo y en la Figura 4.

```
#=====
# Archivo ejemplo para definir la geometría de una falla.
# Unidades en SI
#=====
# Nombre de la falla
faultname = falla_1
# Numero de segmentos de la falla
nsegments = 3
# Punto donde inicia la falla
x0 = 0.0
y0 = 0.0
# Estos parámetros definen la geometría de la falla
# 1er segmento, un despegue basal
segmentlength = 1000.0
segmentdip = 0.0
##
# 2do segmento, una rampa
segmentlength = 150.0
segmentdip = 25.0
##
# 3er segmento, un despegue superior
segmentlength = 3000
segmentdip = 0
##
# Desplazamiento a lo largo de la falla
utotal = 300.0
# Archivo con la malla en el estado sin deformar
inputmesh = capa_inicial.mesh
# Archivo de salida con la malla deformada
```

outputmesh = capa_deformada.mesh

Archivo de salida con fallas inactivas

outputoldfaults = fallasinactivas.dat

Para calcular el estado deformado es necesario pasar a fbfbfold, desde la línea de comandos, el nombre del archivo que contiene los parámetros de entrada, e.g.,

fbfbfold <archivo de entrada>

Para poder graficar el estado deformado calculado por fbfbfold, primero hay que poner las mallas deformadas en un formato conveniente a través del uso de fbfbplot. Uno debe invocar a fbfbplot de la siguiente manera

fbfbplot -m <lista de archivos con las mallas deformadas> -f <archivo con fallas inactivas> -o <archivo de salida con script para gnuplot>

Donde <archivo de salida con script para gnuplot> es un archivo con instrucciones para el programa de graficado gnuplot. Para obtener la gráfica del estado deformado del ejemplo anterior hay que teclear la siguientes instrucciones

%fbfbplot -m capa_deformada.mesh -f fallas_inactivas.dat -o grafica.plt

%gnuplot grafica.plt

REFERENCIAS

- Chamberlain, R.T., 1910, The Appalachian folds of Central Pennsylvania: *Journal of Geology*, 18, p. 21-30.
- Contreras J. and Suter M., 1990, Kinematic modeling of cross-sectional sequences by computer simulation: *Journal of Geophysical Research*, 95, p. 21913-21929.
- Contreras J., 1991, Kinematic modeling of cross-sectional sequences by computer simulation: coding and implementation of the model: *Computer & Geosciences*, 17, p. 1197-1217, 1991.
- Contreras J. and Suter M., 1997, A kinematic model for the formation of duplex systems with a perfectly planar roof thrust: *Journal of Structural Geology*, 19, p. 269-278.
- Cruikshank, K.M., Neavel, K.E. and Zhao, G., 1989, Computer simulation of growth of duplex structures, *Tectonophysics*, 164, p. 1-12.
- Hardy S., Poblet J., McClay K. and Waltham D., 1996, Mathematical modelling of growth strata associated with fault-related fold structures: en Buchanan P.G. y Nieuwland D.A., Modern development in structural interpretation, validation and modeling, *Geological Society Special Publication*, No. 99, p. 265-282.
- Mitra, S., 1986, Duplex structures and imbricate thrust systems: geometry, structural position, and hydrocarbon potential: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 70, p. 1087-1112.
- Suppe, J. and Namson J., 1979, Fault-bend origin of frontal folds of the western Taiwan fold and-thrust belt: *Petroleum Geology of Taiwan*, 16, p. 1-18.
- Suppe J., 1983, Geometry and kinematics of fault-bend folding: *American Journal of Science*, 283, p. 684-721.
- Suppe J., 1985, Principles of structural geology: *Prentice-Hall*, 537 pp.
- Suter, M., 1981, Strukturelles Querprofil durch den nordwestlichen Faltenjura, Mt-Terri-Randüberschiebung-Freiberge: *Eclogae Geol. Helvetiae*, 74 p. 255-275.
- Suter, M., 1987, Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, 98, p. 249-264.
- Toffoli, T., 1984, Cellular automata as an alternative to differential equations in modeling physics: *Physica*, p. 117-127.
- Trudgill, B.C., Rowan, M.G., Fiduk, J.C. Weimer, P, Gale, P.E., Korn B.E., Phair, R.L., Gafford, W.T., Roberts G. and Dobbs, S.W., 1999, The Perdido Fold Belt, Northwestern Deep Gulf of Mexico, Part 1: Structural Geometry, Evolution and Regional Implications, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 83, No. 1, p. 88-96.
- Woodward, N.B., Boyer S.E. and Suppe, J., 1985, An outline of balanced cross-sections, 2nd edition: University of Tennessee, Department of Geological Sciences, *Studies in Geology* 11, 2nd edition 170 pp.

RESULTADOS PRELIMINARES DE UN PERFIL GEOFÍSICO A TRAVÉS DE LA REGIÓN CENTRAL DE LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

José M. Romo, Juan García Abdeslem, Enrique Gómez Treviño, Francisco Esparza y Carlos Flores Luna
 Depto. de Geofísica Aplicada, CICESE

RESUMEN

La peculiar relación tectónica entre la Península de Baja California y un segmento de la frontera entre las placas del Pacífico y Norteamericana, en el noroeste de México, es un tema que atrae el interés de muchos investigadores. Para validar cualquier hipótesis acerca del proceso tectónico que ha tenido y tiene lugar en esta región, es necesario estimar las propiedades físicas de la litósfera peninsular. Con este propósito realizamos un estudio geofísico diseñado para investigar la conductividad eléctrica y la densidad de masa en una sección a través de la región central de la Península de Baja California. El estudio consistió de mediciones magnetotélúricas y gravimétricas a lo largo de un perfil de aproximadamente 200 km de longitud, desde la costa con el océano Pacífico hasta la costa oeste del Golfo de California. En este trabajo presentamos resultados preliminares que se desprenden de las mediciones magnetotélúricas y gravimétricas. Ambos conjuntos de datos fueron interpretados usando modelos numéricos bidimensionales. El modelo magnetotélúrico muestra dos zonas relativamente conductoras con probable interés tectónico. La primera de ellas es una zona conductora casi vertical que se ubica a 15 o 20 km al oriente de la costa del Pacífico y que se extiende desde la superficie hasta más de 100 km de profundidad. La segunda zona de interés es el conductor inclinado que se extiende profundizándose hacia el Este y que alcanza profundidades de 100 km bajo la costa oriental de la Península. Este conductor apoya la hipótesis de que bajo la corteza continental del Baja California permanecen restos de la micro-placa Guadalupe que cesó su movimiento de subducción hace aproximadamente 12 Ma. Un modelo de densidades que ajusta los datos observados revela que la corteza continental en el área de estudio tiene un espesor máximo de alrededor de 33 km y es compatible con la idea de que bajo ella se encuentran restos de litósfera oceánica.

INTRODUCCIÓN

El Golfo de California, situado en el Noroeste de México, debe su origen a un proceso de ruptura y extensión oblicua que actualmente está ocurriendo en un segmento de la frontera entre las placas del Pacífico y Norteamericana. Este hecho ofrece la posibilidad de estudiar un sistema tectónico continental de tipo trans-tensional en sus primeras etapas de desarrollo. El conocimiento actual indica que la península de Baja California originalmente formaba parte de la placa Norteamericana y fue “capturada” por la placa del Pacífico hace alrededor de 12 Ma. A partir de entonces se inició un proceso de ruptura y extensión (“rifting”) que actualmente se encuentra activo. Se han encontrado numerosas evidencias geológicas y geofísicas que permiten reconstruir con cierta certeza los movimientos relativos ocurridos entre ambas placas, ver por ejemplo: Oskin *et al.* (1999), Atwater y Stock (1998), DeMets (1995), Stock y Lee (1994), Lonsdale (1991), Stock y Hodges (1989), entre otros. Sin embargo, prevalecen hipótesis sin comprobar acerca de la dinámica del proceso de captura y sobre la naturaleza del acoplamiento entre la península y la placa del Pacífico. Por ejemplo, es posible que la península se haya desprendido de la placa Norteamericana a causa de la tracción ejercida en su base por las pequeñas micro-placas oceánicas que quedaron atoradas al cesar la subducción de la antigua placa Farallón. Otra posibilidad es que los segmentos de la antigua dorsal pudieron provocar zonas de soldadura al llegar a la trinchera.

En este contexto, determinar la geometría y las propiedades físicas de la litósfera bajo la Península de Baja California es una tarea indispensable para acercarse a la solución de dichas cuestiones. Con este objetivo llevamos a cabo una campaña de observaciones geofísicas en la región de Vizcaíno, entre los paralelos 27° y 28° de latitud Norte, en donde podría encontrarse información fundamental (Figura 1). Actualmente, en estas latitudes, frente a la costa Pacífico de Baja California, se encuentra la trinchera inactiva producto de la subducción de la micro-placa Guadalupe, cuyo movimiento cesó hace aproximadamente 12 Ma (Bohannon y Parsons, 1995). Para entender el proceso de captura es importante averiguar si bajo la litósfera continental todavía existen restos de la placa subducida, y en su caso, cuál es su extensión y profundidad. En el extremo occidental del área estudiada se han encontrado rocas típicas de la zona de subducción (terreno Cochimí, según Sedlock *et al.*, 1993). Hacia el Este, el terreno Yuma consiste de rocas de arco volcánico y rocas sedimentarias de tras-arco, ambas intrusionadas por el batolito peninsular. Finalmente, se supone que en el extremo oriental existen rocas asociadas con el terreno Seri, característico de la costa de Sonora. Debido a sus distintos atributos geológicos, es posible esperar que las propiedades físicas de estas rocas sean también diferentes y que su contraste sea suficiente para producir efectos geofísicos observables desde la superficie.

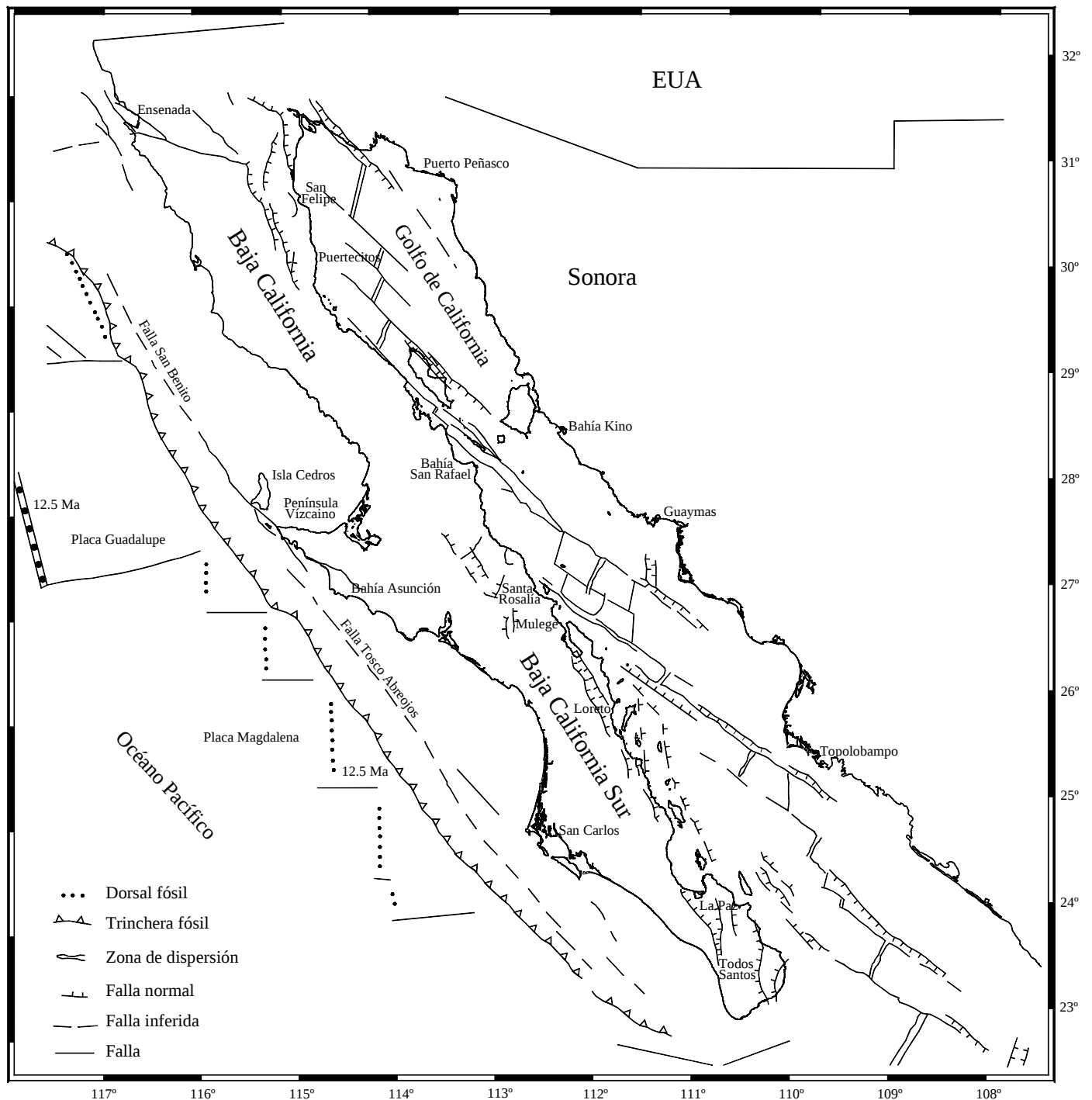


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio y de los principales rasgos tectónicos regionales (Modificado de Delgado-Argote, 1996).

PERFIL ELECTROMAGNÉTICO

La conductividad eléctrica de las rocas de la corteza depende fundamentalmente de su contenido de fluidos, de su porosidad y del grado de interconexión entre sus poros, de tal manera que la conducción eléctrica se efectúa principalmente por transporte iónico. Existen también evidencias de que la conductividad puede aumentar sensiblemente al modificarse la estructura cristalina de algunos minerales, por ejemplo en el caso de la transformación de fase entre olivino y espinela que

ocurre en la base de la corteza. En este caso el mecanismo de conducción a través del intercambio electrónico en la matriz mineral adquiere relevancia. En ambos casos el aumento de la temperatura es un factor que facilita la conducción y contribuye a aumentar la conductividad eléctrica. La presencia de minerales arcillosos, por ejemplo en los planos de fallas activas, es también un factor que aumenta la conductividad. Considerando lo anterior, se espera que la determinación de la conductividad eléctrica bajo la corteza de Baja California ayudará a explicar algunos de los procesos tectónicos a los que ha estado sujeta.

El método magnetotelúrico (MT) utiliza las variaciones temporales del campo electromagnético natural para investigar la conductividad eléctrica del subsuelo. Su principal ventaja es que pueden alcanzarse profundidades de exploración de varias decenas de kilómetros. Esto se debe a que la señal electromagnética natural tiene una banda muy ancha de frecuencias y a que la profundidad de penetración aumenta al disminuir la frecuencia.

Las observaciones magnetotelúricas para el presente trabajo se realizaron en 37 sitios a lo largo de un perfil de 190 km de longitud, desde Bahía Asunción, en la costa del Pacífico, hasta San Francisquito, en la costa del Golfo de California (Figura 2). Los sitios están separados por una distancia promedio de 5 km y los períodos de observación se diseñaron para investigar a profundidades del orden de 100 km en condiciones favorables. En cada sitio se registró la variación temporal del campo electromagnético natural en una banda de frecuencia desde 0.001 hasta 100 Hz. Además de las observaciones MT, en cada sitio se realizó un sondeo electromagnético en el dominio del tiempo

(TDEM) para conocer la distribución de la conductividad eléctrica en los primeros 500 m de profundidad. El propósito de esto es obtener la información necesaria para eliminar el efecto estático, un efecto indeseable que las heterogeneidades superficiales producen en los sondeos MT (Flores y Velasco, 1998).

En la Figura 3 mostramos curvas de resistividad aparente y fase, en función del período, en ocho sitios representativos del perfil MT. En los períodos cortos, estas funciones son sensibles a estructuras conductoras someras, mientras que a medida que el período se incrementa, aumenta la influencia de zonas conductoras más profundas. En cada sitio se muestran cuatro curvas de respuesta: dos de resistividad aparente y dos de fase. Estas curvas provienen de dos impedancias, la impedancia paralelo, influenciada por el efecto inductivo en zonas conductoras, y la impedancia serie, que se asocia a efectos tanto inductivos como galvánicos en zonas conductoras y resistivas (Romo y Gómez-Treviño, 2001). Estas funciones de respuesta se obtienen al considerar que cualquier heterogeneidad en el subsuelo deforma el campo eléctrico de dos maneras distintas: un siste-

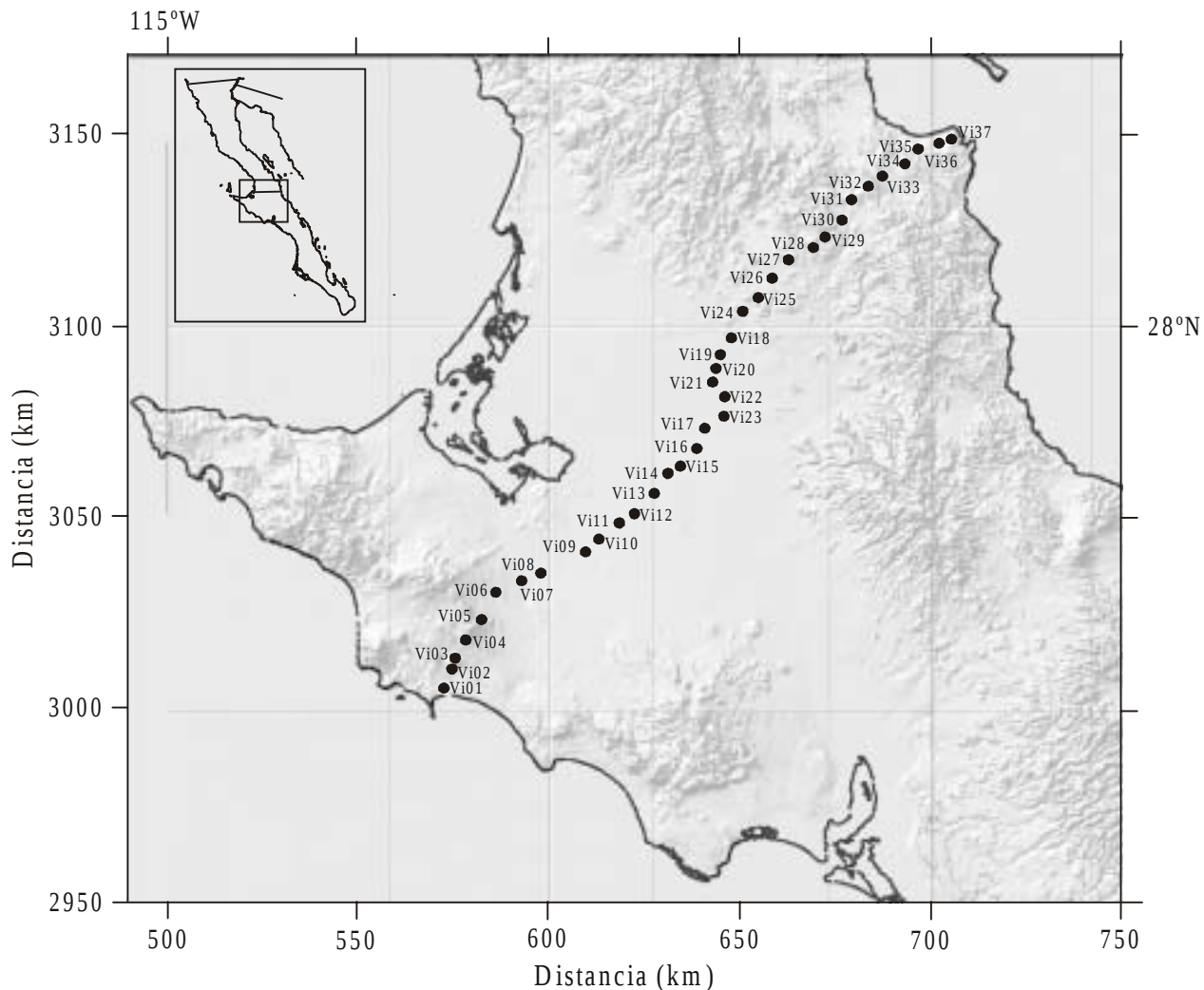


Figura 2. Utilizando como fondo una imagen del modelo digital de elevación del INEGI, se muestra la ubicación de sitios con observaciones magnetotelúricas. Se puede observar la sierra San José de Castro que forma la pequeña península de Vizcaíno, la planicie central y las serranías orientales que llegan a la Costa del Golfo de California.

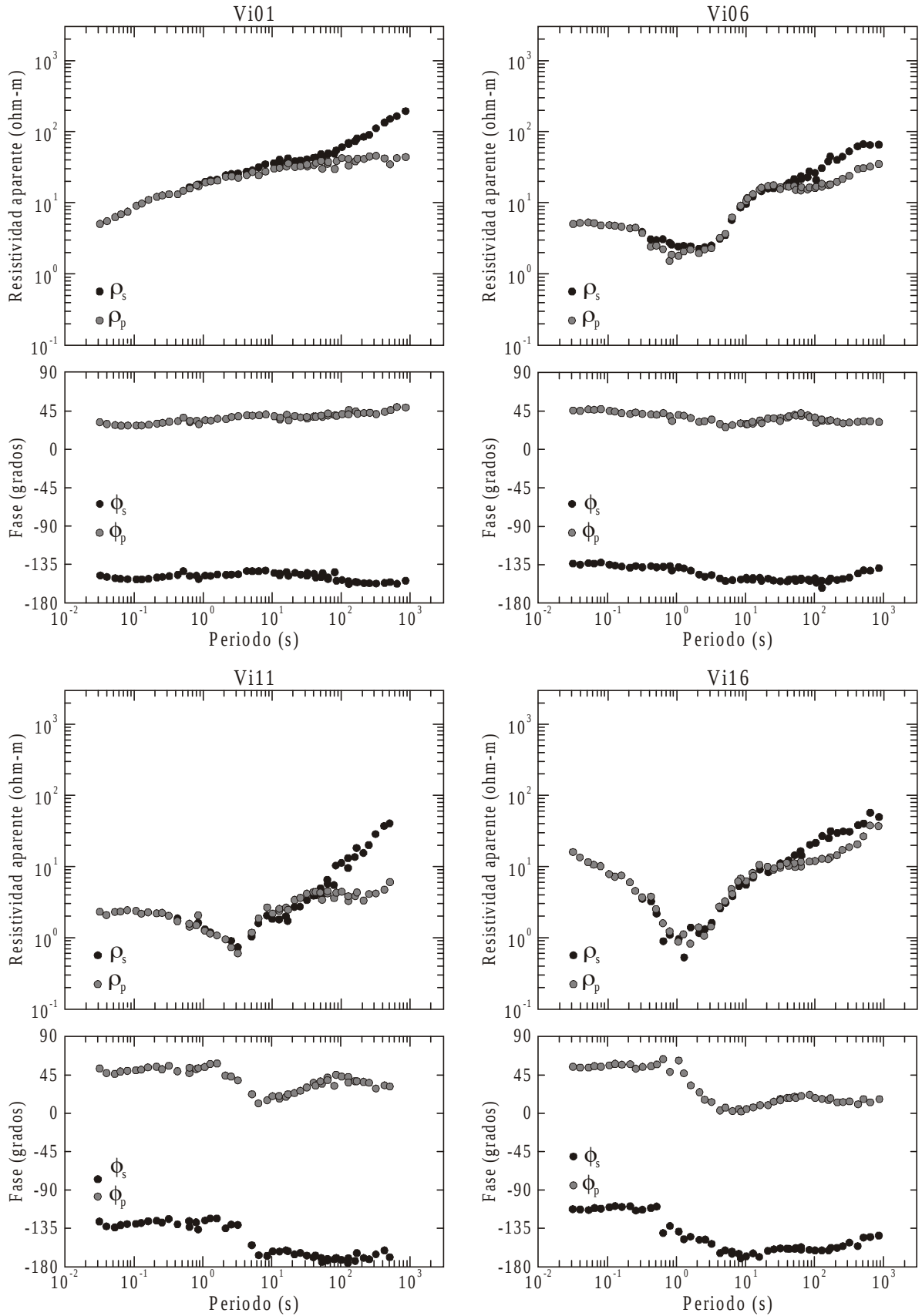


Figura 3. Observaciones MT. En cada sitio se muestran resistividades aparentes y fases en función del período. ρ_s y ϕ_s se estimaron con la impedancia serie, mientras que ρ_p y ϕ_p se calcularon con la impedancia paralelo. Los sitios Vi01, Vi06, Vi11 y Vi16 están ubicados en las planicies de Vizcaíno. Los sitios Vi18, Vi27, Vi32 y Vi36 están localizados en la sierra oriental.

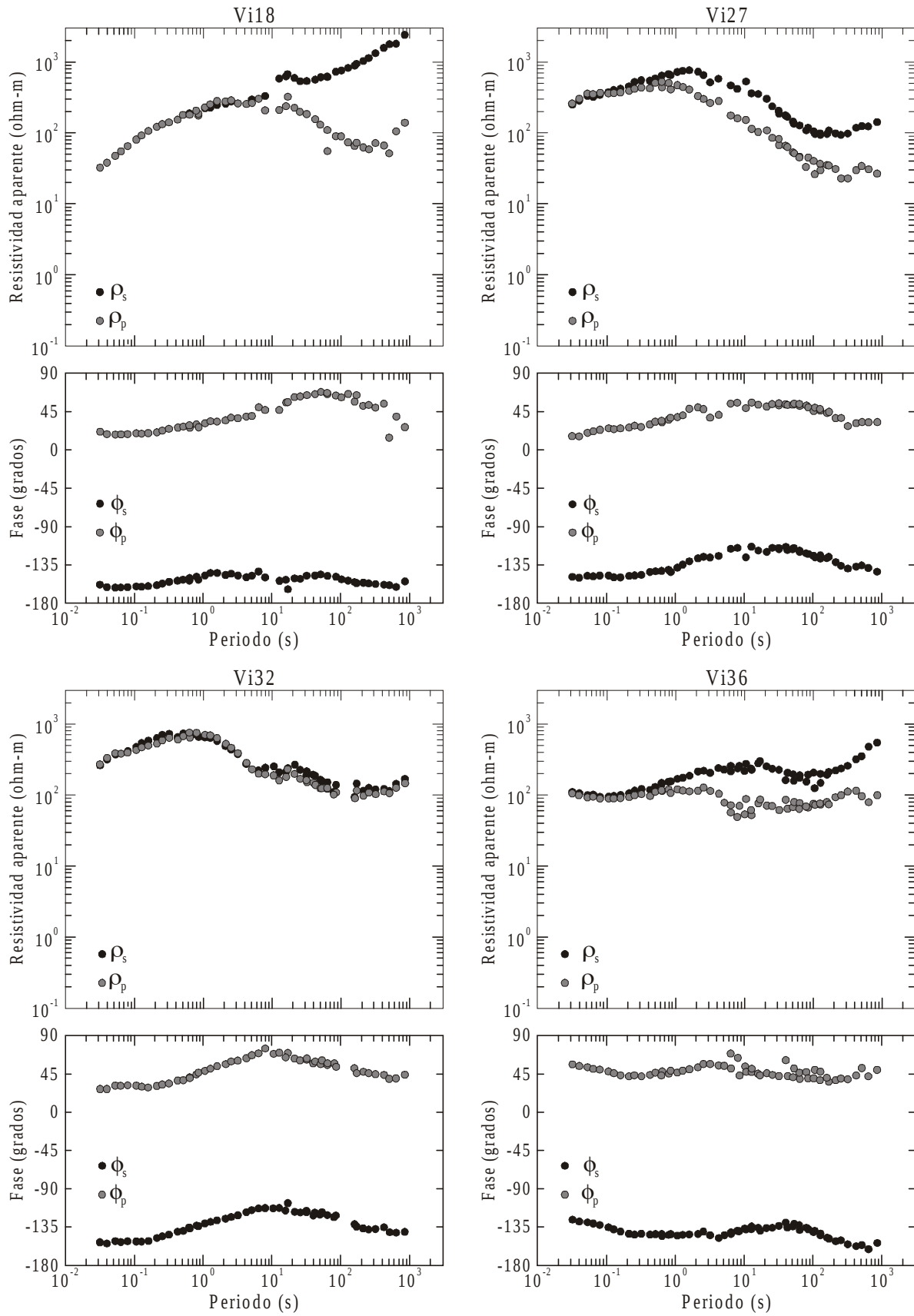


Figura 3. Continuación

ma de corrientes que viaja a lo largo de las fronteras entre cuerpos de distinta resistividad y otro sistema que las cruza. A diferencia de las funciones de respuesta utilizadas convencionalmente (modos TE y TM), las impedancias serie y paralelo no dependen de la rotación del marco de referencia y son válidas aún cuando la conductividad del subsuelo cambie en las tres dimensiones.

Probablemente lo que más llama la atención en las curvas de resistividad aparente de la Figura 3 es que en los sitios (Vi01, Vi06, Vi11 y Vi16) localizados en la mitad occidental del perfil muestran resistividades aparentes entre 1 y 100 ohm-m, mientras que en los sitios (Vi18, Vi27, Vi32 y Vi36) localizados en la mitad oriental del perfil, las resistividades aparentes son mayores en un orden de magnitud. Esto corresponde con la región oriental topográficamente alta, en donde afloran rocas del batolito peninsular, así como con la amplia planicie de rellenos sedimentarios, que constituye el desierto de Vizcaíno, al occidente. En los sitios vi06, vi11 y vi16 la resistividad aparente presenta un mínimo a períodos de alrededor de 1 s, probable-

mente relacionado con los sedimentos conductores. A períodos más largos la resistividad aparente aumenta y las curvas se separan, lo cual revela que a mayor profundidad se encuentran rocas más resistivas y que la resistividad cambia lateralmente. En contraste, en los sitios vi18, vi27 y vi32 la resistividad aparente aumenta hasta alcanzar un máximo, para luego disminuir con el período, revelando que bajo las rocas resistivas que afloran en la serranía oriental, se encuentra una zona más conductora.

En la Figura 4 se presentan seudo-secciones de resistividad aparente construidas con todas las estaciones del transecto. Estas seudo-secciones representan la resistividad aparente observada como una función de dos variables, período y distancia horizontal. El panel superior representa la resistividad aparente serie ρ_s , mientras que en la parte inferior se muestra la resistividad aparente paralelo ρ_p . Ambas imágenes son bastante similares para períodos menores de 10 s, las diferencias se encuentran para los períodos más largos. El mínimo provocado por el relleno sedimentario domina la parte occidental de las seudo-secciones. Un rasgo sobresaliente es el brusco contraste

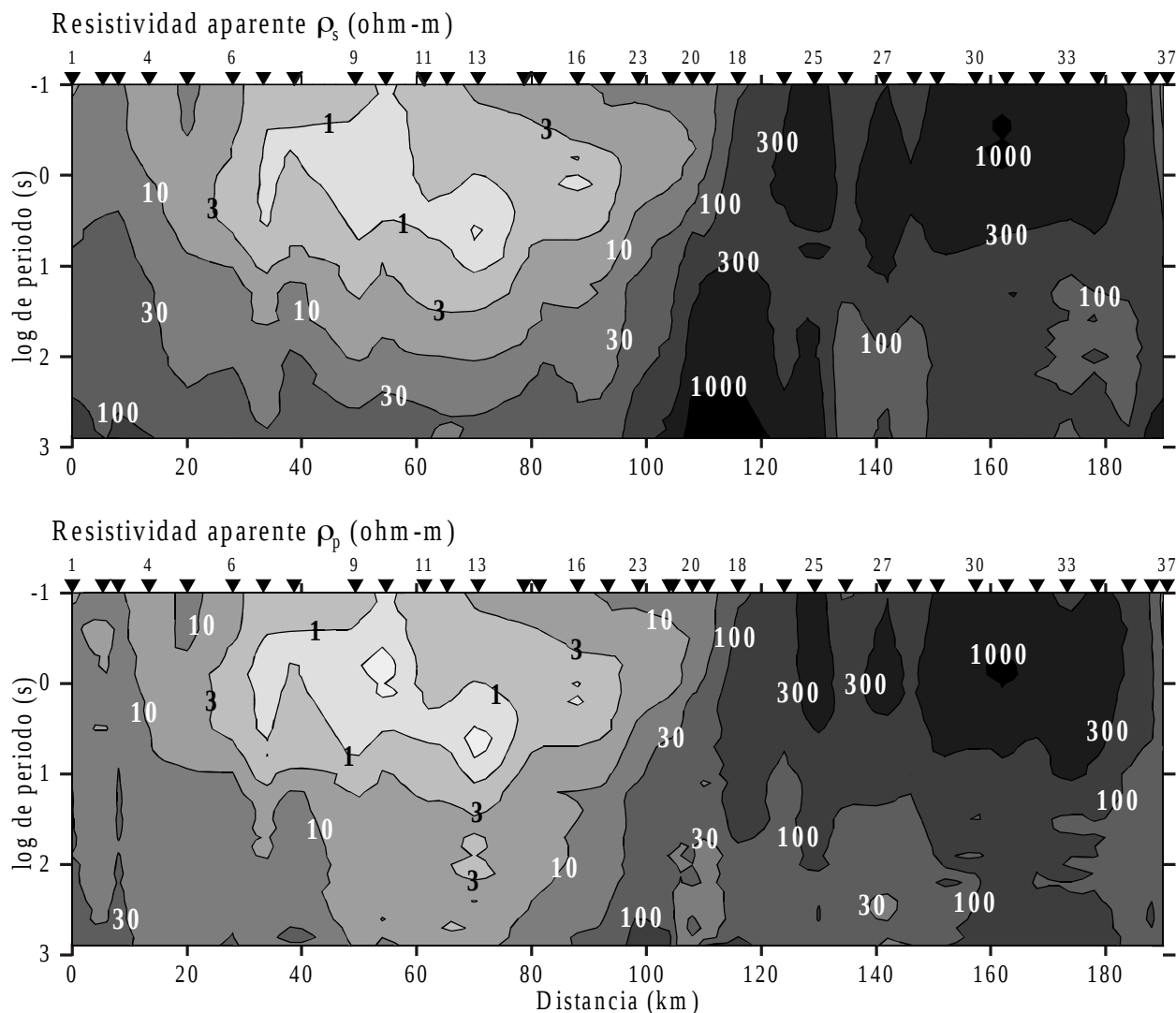


Figura 4. Seudo-secciones de resistividad aparente paralelo, ρ_p , y serie, ρ_s . El mínimo resistivo corresponde al efecto del relleno sedimentario, mientras que los valores máximos en la mitad oriental se asocian a la naturaleza ígnea de la sierra.

lateral que se localiza bajo los sitios vi20 y vi18, que marca el inicio de la zona resistiva asociada con las rocas intrusivas. A periodos mayores de 10 s la sección correspondiente a ρ_p (panel inferior) presenta resistividades aparentes relativamente menores si se compara con ρ_s . Esto es una indicación de la existencia de una zona conductora a profundidad. Como una primera aproximación, supusimos que bajo cada estación la resistividad varía exclusivamente con la profundidad (1-D). En este caso, la resistividad del subsuelo se puede estimar con un algoritmo simple de inversión no-lineal en una dimensión (Gómez-Treviño, 1996).

Las estimaciones 1-D, calculadas individualmente para cada sitio, se agruparon para construir la Figura 5. En el panel superior se tiene la distribución de la resistividad del subsuelo desde la superficie hasta los 20 km de profundidad estimada a partir de la impedancia paralelo. La cuenca sedimentaria de Vizcaíno se asocia con resistividades menores a 10 ohm-m que alcanzan profundidades de 2 o 3 km bajo los sitios 11 y 13. En contraste, la parte oriental de la sección está dominada por las altas resistividades de las rocas plutónicas y batolíticas.

En el panel inferior de la Figura 5, se muestra la estimación de la resistividad en los primeros 100 km de la litósfera, usando la misma aproximación 1-D. Bajo los sitios 9 a 16 se observan las menores resistividades (< 10 ohm-m) entre los 4 y 15 km de profundidad. Cuando se consideran resistividades menores a 30 ohm-m se puede seguir una banda de mínimos que se mantiene horizontal entre los sitios 1 y 16, para hacerse gradualmente más profunda y más amplia hacia el oriente (sitios 16 al 27). La profundidad del eje de esta zona de mínimos es de ~ 10 km entre los sitios 4 al 16 y se profundiza hasta alcanzar ~ 40 km bajo el sitio 27. Aunque la geometría y resistividad de esta zona han sido derivadas usando una aproximación 1-D y pueden modificarse al usar aproximaciones menos restrictivas, parece evidente que existen una o varias zonas relativamente conductoras que se extienden horizontalmente por cerca de 150 km y que se encuentran a considerable profundidad.

En el panel superior de la Figura 6 se muestra una imagen del subsuelo obtenida usando una aproximación que tiene en cuenta el efecto de la variación lateral de la resistividad sobre todo el conjunto de datos. El algoritmo usado es una extensión

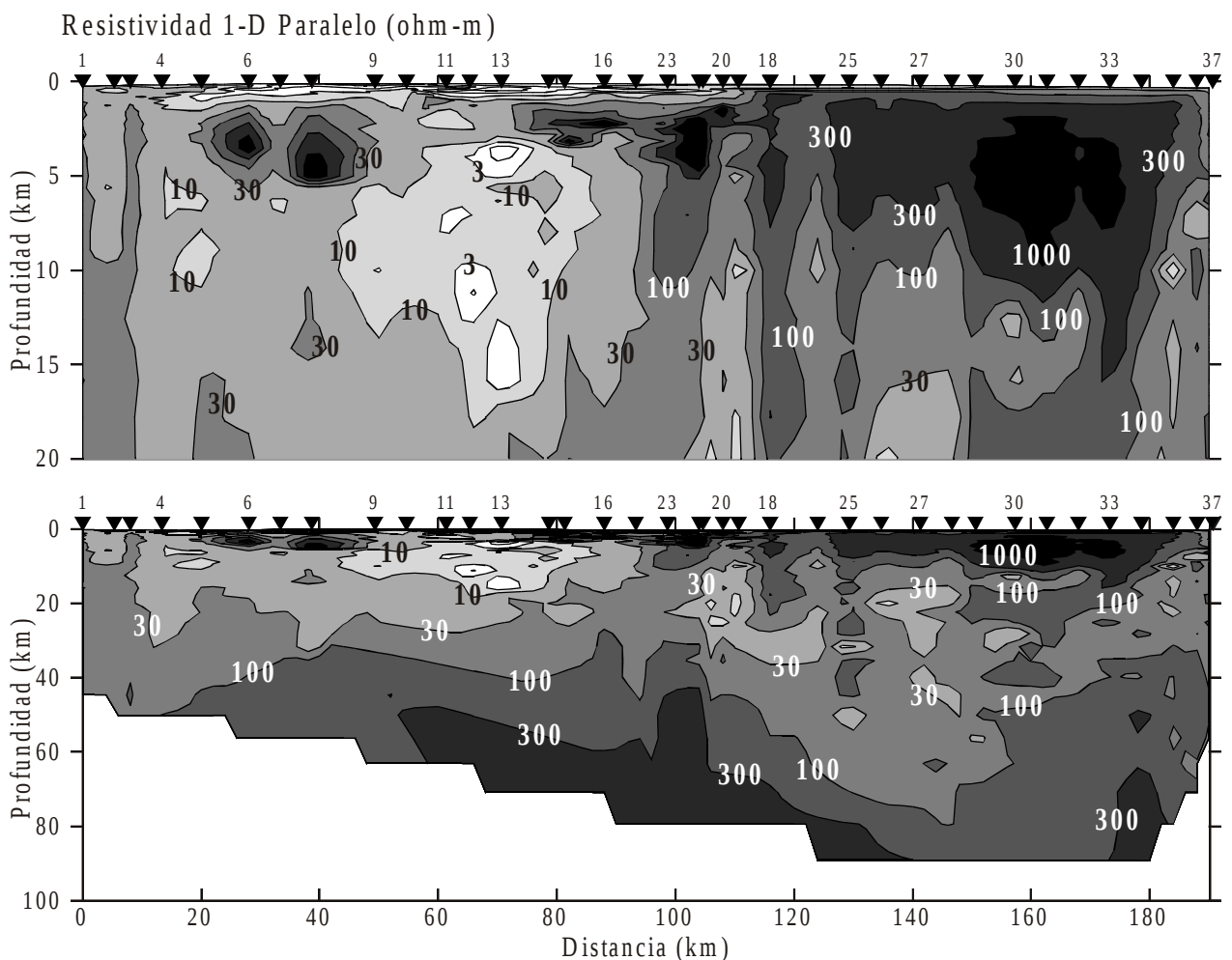


Figura 5. Sección interpretada usando la transformación descrita en Gómez-Treviño (1996). En el panel superior se muestra la resistividad del subsuelo en los primeros 20 km, mientras que en el panel inferior se muestra para los primeros 100 km. En ambos casos se utilizó la impedancia paralelo en la transformación.

para 2-D de la transformación de Niblet-Bostick (Esparza *et al.*, 1993). La imagen mostrada se obtuvo usando la resistividad paralelo y sin hacer ninguna suposición anticipada sobre la geometría o resistividad de la litósfera.

La característica dominante en este modelo es el conductor (< 30 ohm-m) que se profundiza hacia el oriente a partir del sitio 9, y que puede seguirse por cerca de 120 km. La cima del conductor se encuentra a ~ 20 km bajo el sitio 11, donde se mezcla con una zona conductora que alcanza la superficie bajo el sitio 13. Entre los sitios 16 y 20 el conductor disminuye su

intensidad, lo que sugiere la posibilidad de que en realidad se trate de dos segmentos separados. Hacia el oriente, la cima del conductor se profundiza gradualmente hasta alcanzar una profundidad de 100 km en el extremo oriental del perfil. La presencia de este conductor sugiere una zona con un alto contenido de fluidos probablemente relacionada con la deshidratación de la corteza oceánica subducente.

Otro rasgo que sobresale es el conductor casi vertical en el extremo occidental del perfil, bajo los sitios 1 a 6, que se extiende desde la superficie hasta 60 o 70 km de profundidad.

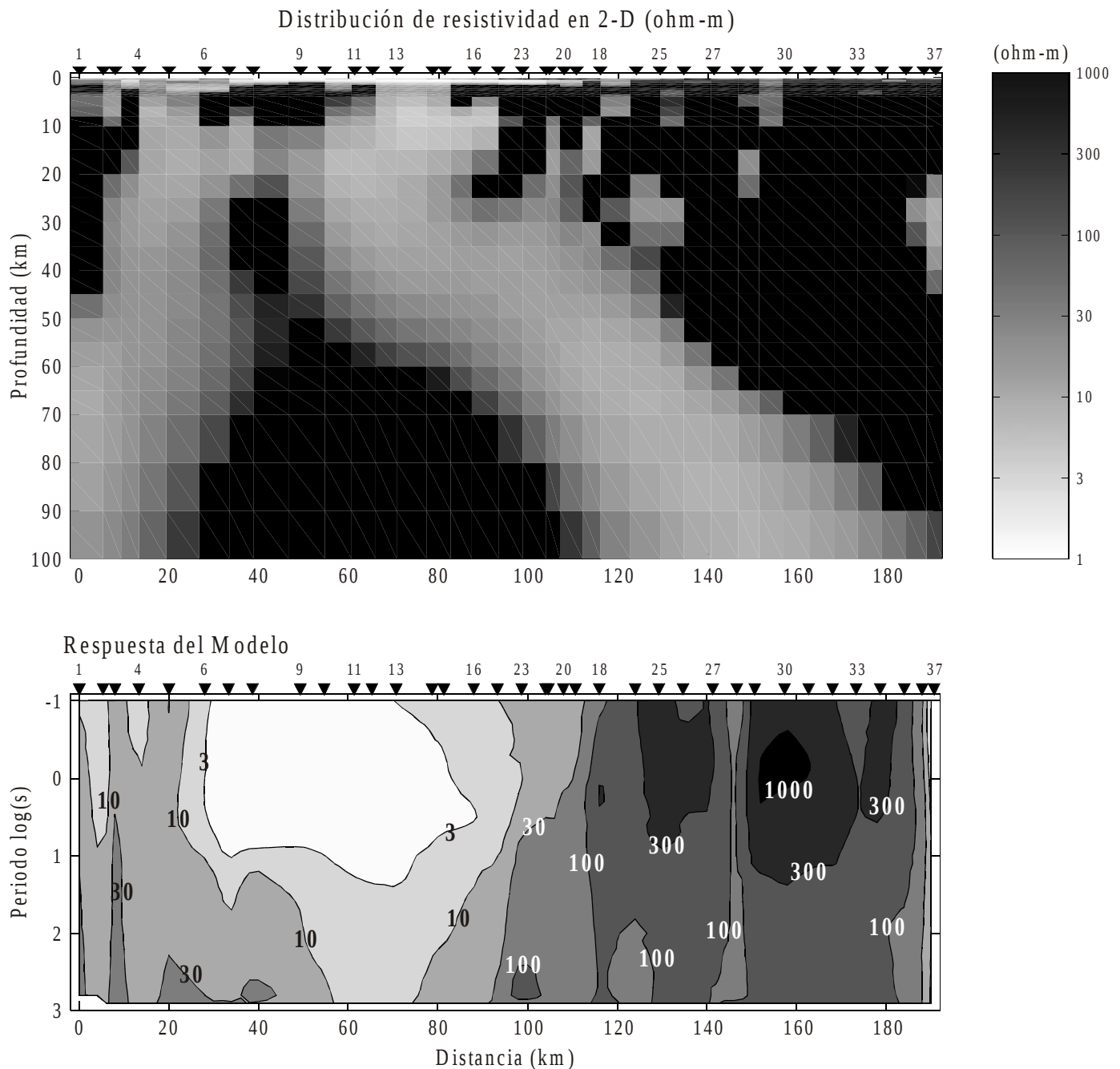


Figura 6. Modelo de resistividad estimado con la transformación lineal de Esparza et al. (1993). La apariencia discreta de la imagen se debe a que no utilizamos ningún tipo de interpolación, de modo que se muestran las estimaciones en cada celda de la malla considerada en la inversión. En el panel inferior se muestra la resistividad aparente calculada con la misma aproximación lineal.

Este conductor podría estar relacionado con la región de sutura entre los terrenos Cochimí y Yuma o con la manifestación de una zona de falla a escala cortical.

Finalmente, algunas anomalías conductoras aisladas en el extremo oriental sugieren que la realización de mediciones en el mar sería decisiva para conectar estos hallazgos con la tectónica de extensión que controla el subsuelo del Golfo de California.

En el panel inferior de la figura 6 se muestra la resistividad aparente que este modelo produce en la superficie cuando se usa la misma aproximación lineal utilizada en la inversión. La validez del modelo puede juzgarse comparando su respuesta con las observaciones mostradas en la Figura 4. En general puede decirse que, excepto en algunas zonas aisladas, la respuesta concuerda bastante bien con las observaciones. Vale la pena mencionar que a diferencia de otros esquemas de inversión basados en la solución iterativa de ecuaciones diferenciales parciales, el algoritmo usado (Esparza *et al.*, 1993) estima la conductividad del subsuelo mediante una transformación de los datos observados. Como se mencionó antes, el modelo que se muestra se obtuvo usando exclusivamente la resistividad aparente paralelo. La incorporación de la resistividad serie, así como de las fases correspondientes, usando otros esquemas de inversión es un trabajo que actualmente se está llevando a cabo.

GRAVIMETRÍA

De acuerdo con Sedlock *et al.* (1993), la constitución actual de la corteza continental en la región de estudio es el resultado de varios episodios de acreción tectónica y magmática. Se piensa que esta evolución tectónica ha puesto en contacto terrenos de origen y composición muy distinta. Por tanto, es razonable esperar que los distintos terrenos tengan una densidad de masa distinta. También es probable que el contraste entre distintas densidades sea suficiente para producir cambios en la atracción de la gravedad, y que estos cambios puedan observarse desde la superficie.

Con el propósito de inferir la geometría y la densidad de la litósfera bajo el área de estudio, realizamos mediciones de la componente vertical de la gravedad en 150 sitios que se ubicaron siguiendo aproximadamente el perfil electromagnético, como se muestra en la Figura 7. La gravedad relativa se midió con un gravímetro Lacoste-Romberg y la elevación de cada sitio fue estimada de manera precisa (± 0.5 m) usando dos receptores GPS en modo diferencial. Los datos observados se complementaron con datos gravimétricos del INEGI (INEGI, 1995a). La gravedad absoluta se determinó utilizando el dato disponible en un banco gravimétrico ubicado dentro del área de estudio. La anomalía de aire libre se obtuvo restando de la gravedad observada la gravedad teórica, calculada con la fórmula internacional de 1967, y considerando un gradiente vertical de 0.3086 mGal/m. Para obtener la anomalía de Bouguer comple-

ta (Figura 7) se calculó la atracción gravitacional debida a la topografía mostrada en la Figura 7, mediante el algoritmo descrito por García-Abdeslem y Martín-Atienza (2001). Utilizamos el modelo digital del terreno de INEGI (1995b) con nodos cada 100 m y una densidad de 2.67 g/cm³.

El mapa de anomalía de Bouguer muestra un mínimo que desciende hasta -50 mGal, y que se orienta al NW sobre el desierto de Vizcaíno y se extiende mar adentro a la bahía del mismo nombre. Este mínimo continúa al SE, pero se ve interrumpido por un angosto alto gravimétrico orientado al NE. Esto sugiere la presencia de dos grandes cuencas sedimentarias separadas estructuralmente por un bloque levantado. Los valores observados indican un gran contraste entre la densidad de los sedimentos y la de la roca cristalina del basamento. Además de la firma que corresponde a las cuencas antes descritas, se pueden observar valores positivos de 20 mGal sobre el terreno Cochimí en la península de Vizcaíno, mientras que valores negativos caracterizan al terreno Yuma en el extremo oriental del perfil.

La interpretación de los datos gravimétricos en términos de estructuras geológicas, sin información adicional independiente, que permita acotar el número de soluciones compatibles con los datos, es un ejercicio arriesgado. Sin embargo, utilizando el conocimiento del ambiente tectónico del área de estudio, es posible hacer una elección adecuada de la densidad de masa de los materiales que constituyen la corteza en el transecto Vizcaíno. La interpretación mostrada en la Figura 8 se basa en las siguientes suposiciones: 1) la densidad no cambia en la dirección perpendicular al perfil A-A', por lo tanto la anomalía de Bouguer fue interpretada usando un modelo en 2-D; 2) no hay cambios laterales de densidad por debajo de 50 km de profundidad, y 3) la litósfera oceánica subducente permanece bajo la corteza continental en el área de estudio.

En esta interpretación el modelo de corteza que se muestra en la Figura 8 está formado por seis polígonos de densidad constante. El panel superior muestra los datos observados junto con la gravedad calculada causada por el modelo mostrado en el panel inferior. La corteza oceánica subducida se modeló usando una capa de 10 km de espesor con densidad de 2.9 g/cm³, la cual se adelgaza y profundiza al oriente. Esta capa sobreyace litósfera del manto, modelada usando una densidad de 3.3 g/cm³. La corteza continental se modela usando una densidad de 2.85 g/cm³. En el lado oeste, las rocas de la corteza del terreno Cochimí se modelan con una densidad de 2.7 g/cm³. Esta unidad tiene un espesor de 15 km en el extremo occidental y se adelgaza al oriente. La cuenca sedimentaria Vizcaíno-Norte, la cual alcanza una profundidad máxima de 4 km fue modelada usando una densidad de 2.4 g/cm³. Al este del perfil, afloran granitoides del terreno Yuma que fueron modelados usando una densidad de 2.65 g/cm³.

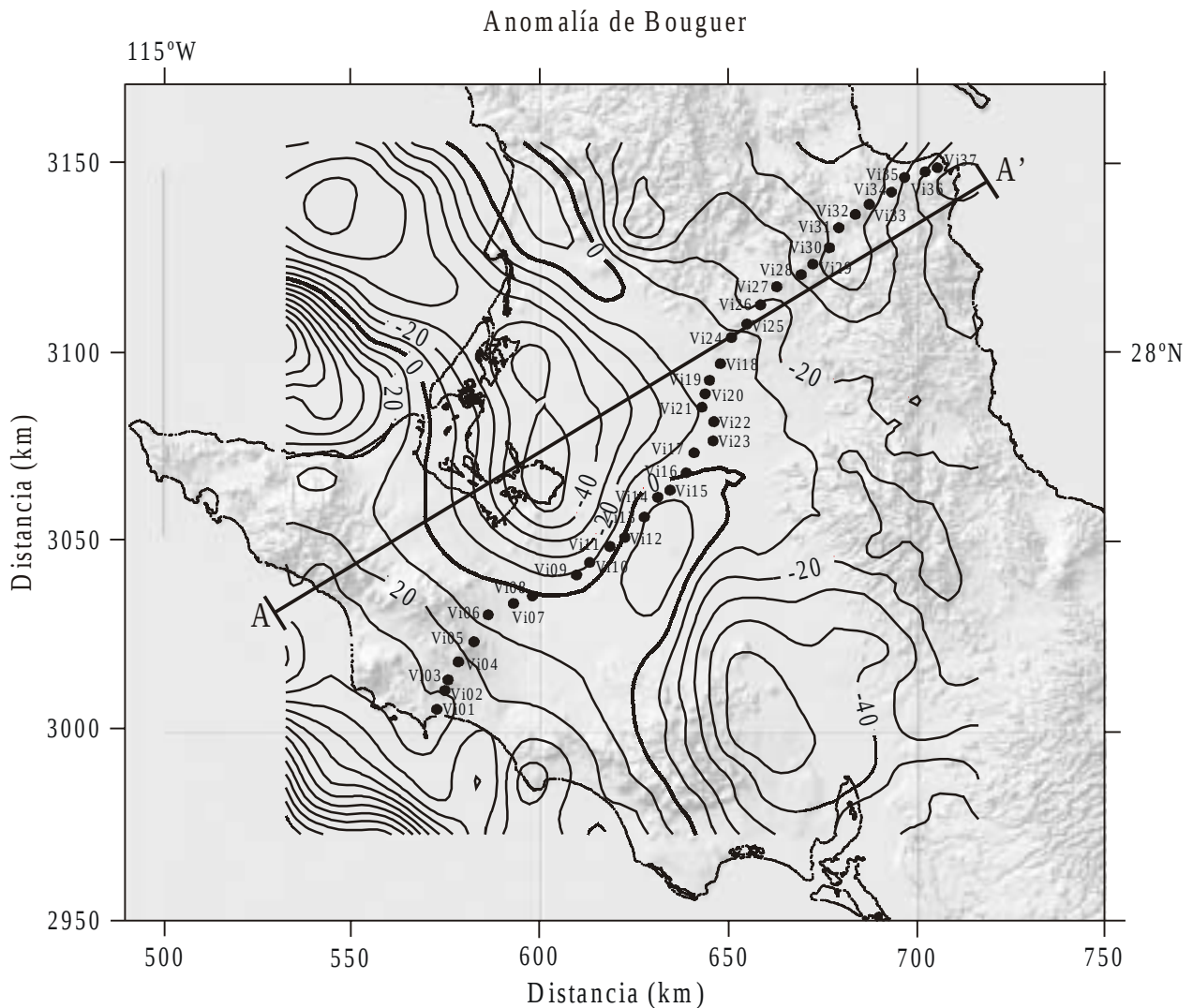


Figura 7. Mapa de anomalía de Bouguer completa. Se observa un eje de mínimos alineados NW-SE, interrumpido por un alto relativo alineado NE-SW. Los mínimos se asocian con las cuencas sedimentarias Vizcaíno Norte y Sur. Se muestra además, la ubicación de los sitios MT y el trazo AA' que corresponde con el perfil gravimétrico utilizado para el modelado.

CONCLUSIONES

El modelo obtenido del perfil electromagnético muestra dos zonas relativamente conductoras con considerable interés tectónico. La primera de ellas es el conductor casi vertical que se ubica a 15 o 20 km al oriente de la costa del Pacífico extendiéndose desde la superficie hasta más de 100 km de profundidad. La segunda zona de interés es el conductor inclinado que se extiende y profundiza hacia el Este alcanzando profundidades de 100 km bajo la costa oriental de Baja California. La presencia de este conductor sugiere una zona con un alto contenido de fluidos probablemente relacionada con los procesos de deshidratación de la corteza oceánica subducente.

Aún cuando este modelo preliminar necesita mejorarse y validarse usando otros esquemas de inversión, es poco probable que sus principales características desaparezcan. La rela-

ción de estas características con la estructura de la corteza continental y con los posibles restos de litósfera oceánica son algunas de las cuestiones que abordaremos en el futuro cercano.

Sin perder de vista la no-unicidad implícita en la modelación gravimétrica es posible obtener ciertos resultados concluyentes de la interpretación de la anomalía de Bouguer completa. Nuestra interpretación revela que el relleno sedimentario de la cuenca Vizcaíno Norte tiene un espesor del orden de 4 km. El modelo también sugiere que la corteza continental en el área de estudio tiene un espesor máximo de alrededor de 33 km. La placa subducida subyace a la corteza continental por lo menos a lo largo de 160 km y se profundiza hacia el Este con un ángulo de casi 10° . Este último resultado, al igual que el derivado del MT, es compatible con la idea de que bajo la corteza de Baja California permanecen restos de la micro-placa Guadalupe, que cesó su movimiento de subducción hace aproximadamente 12 Ma.

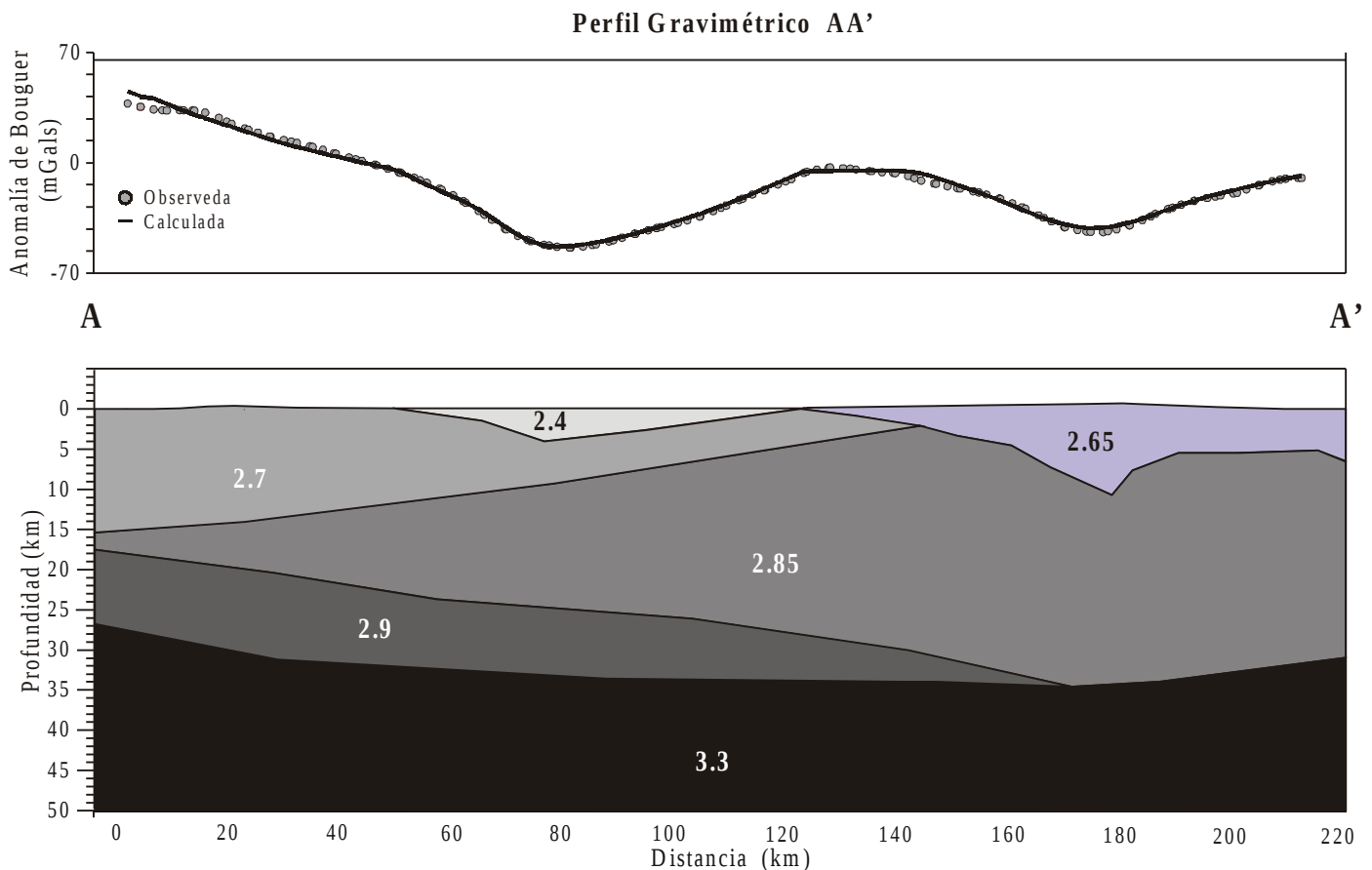


Figura 8. Modelo de densidades (g/cm^3) a lo largo del perfil AA' de la Figura 7. En el panel superior se comparan los datos observados con la respuesta del modelo mostrado en el panel inferior.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a todas las personas involucradas en las diferentes etapas del proyecto. En especial a Jorge Ramírez (UABC) y César Jaques (UNAM) por su participación en el trabajo de topografía con GPS; Jorge Ramírez también participó en el procesamiento de los datos gravimétricos; a Mario Vega por su ayuda en el trabajo de campo y en el procesamiento de datos; a Humberto Benítez, quien trabajó en varias de las figuras así como en el trabajo de campo, junto con Salvador Espinosa, Jaime Calderón y Manuel Parra. También se agradecen los comentarios de J. Arzate y un árbitro anónimo.

El apoyo financiero para este proyecto fue proporcionado por el CONACYT a través del convenio No. 25792-T.

REFERENCIAS

Atwater, T., and Stock, J.M., 1998, Pacific-North America plate tectonics of the Neogene Southwestern United States: An Update: *International Geological Review*, 40, 375-402.

Bohannon, R.G., and Parsons, T., 1995, Tectonic implications of post-30 Ma Pacific and North American relative plate motions, *Geological Society of America Bulletin*: 107, 937-959.

Delgado-Argote, L.A., 1996, Actividades del proyecto geofísico marino y de sismica de refracción CORTES-P96, *GEOS*, v. 16, No. 2, p. 109-111.

DeMets, C.A., 1995, Reappraisal of seafloor spreading lineations in the Gulf of California: Implications for the transfer of Baja California to the Pacific plate and estimates of Pacific-North America motion: *Geophysical Research Letters*, 22, 3545-3548.

Esparza, F.J., Pérez-Flores, M.A., Gallardo, L.A., and Gómez-Treviño, E., 1993, A simple method of magnetotelluric inversion in two dimensions: 3rd International Congress of the Brazilian Geophysical Society, *Expanded Abstracts*, v. 2, 1461-1463.

Flores, C., and Velasco, N., 1998, A comparative analysis between transient electromagnetic soundings and resistivity soundings in the Tres Vírgenes geothermal zone, México: *Geofísica Internacional*, 37, 183-190.

García-Abdeslem, J., and Martín-Atienza, B., 2001, A method to compute terrain corrections for gravimeter stations using a digital elevation model: *Geophysics*, 66, 1110-1115.

- Gómez-Treviño, E., 1996, Approximate depth averages of electrical conductivity from surface magnetotelluric data: *Geophysical Journal International*, 127, 762-772.
- INEGI, 1995a, Estaciones gravimétricas y bancos de nivel: *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática*, Aguas Calientes, México.
- INEGI, 1995b, GEMA: Modelo digital de elevaciones para México: *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática*, Aguas Calientes, México.
- Lonsdale, P., 1991, Structural patterns of the Pacific floor offshore of Peninsular California, in: Gulf and peninsular province of the Californias, edited by J.P. Dauphin, and B.T. Simoneit: *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47*, Tulsa, Oklahoma, 87-125.
- Oskin, M., Stock, J.M., Lewis, C., and Martín-Barajas, A., 1999, Separation of Baja California from North America: New Constrains on timing and total separation, *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 31(7), 294.
- Romo, J.M., and Gómez-Treviño, E., 2001, Series and parallel transformations of the magnetotelluric impedance tensor: *Geophysics* (submitted).
- Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F., and Speed, R.C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of México: *Boulder, Colorado, The Geological Society of America*, 153 p.
- Stock, J.M., and Lee, J., 1994, Do microplates in subduction zones leave a geological record?: *Tectonics*, 13, 1472-1488.
- Stock, J.M., and Hodges, K.V., 1989, Pre-Pliocene extension around the Gulf of California and the transfer of Baja California to the Pacific plate, *Tectonics*, 8, 99-115.

ANÁLISIS DE RIESGO DE INUNDACIÓN POR TSUNAMIS EN PUNTARENAS, COSTA RICA

M. Ortiz¹, M. Fernández-Arce² y W. Rojas³

¹ Depto. de Oceanografía, CICESE, Ensenada, B.C., México

² Centro de Investigaciones Geofísicas, UCR, Costa Rica

³ Escuela Centroamericana de Geología, UCR, Costa Rica

RESUMEN

El análisis de riesgo de inundación por tsunamis en Puntarenas, Costa Rica, una barra de arena localizada en el interior del Golfo de Nicoya, revela la vulnerabilidad de la región ante sismos tsunamigénicos que pudiesen ocurrir frente al Golfo de Nicoya y en la zona de subducción de Colombia. La altura de inundación en Puntarenas se evaluó simulando numéricamente la propagación de tsunamis potenciales generados por sismos locales en la Fosa de Costa Rica, y por sismos remotos similares al sismo de Colombia del 31 de enero de 1906. En ambos casos la máxima altura del tsunami en Puntarenas es similar (3.5 m), sin embargo, el riesgo de inundación depende del estado de la marea, ya que Puntarenas está a 2.0 m sobre el nivel medio del mar y la marea oscila ± 1.5 m con respecto a este nivel.

“...en la memoria del puerto hay ese descalabro, ese estremecerse de las tierras que tiemblan y el ruido ronco que llega de la profundidad, como si una ciudad subterránea echara a redoblar sus campanarios enterrados para decir al hombre que todo terminó.

A veces, cuando ya rodaron los muros y los techos entre el polvo y las llamas, entre los gritos y el silencio, cuando ya todo parecía definitivamente quieto en la muerte, salió del mar, como el último espanto, la gran ola, la inmensa mano verde que, alta y amenazante, sube como una torre de venganza barriendo la vida que quedaba a su alcance”

Pablo Neruda, “Confieso que he vivido”

INTRODUCCIÓN

La amenaza por tsunamis en Centroamérica era poco conocida y completamente subestimada hasta el año de 1992, año en el que el catastrófico tsunami de Nicaragua demostró que la región es tsunamigénica, es decir, capaz de generar tsunamis tan grandes y destructivos como aquellos que ocurren en áreas geográficas con reconocido potencial sísmico-tsunamigénico. Ante esta nueva realidad, Nicaragua inició estudios de prevención de riesgo para proteger a sus habitantes de la amenaza natural. Posteriormente, el Centro para la Prevención de los Desastres Naturales de América Central (CEPRENAC) impulsó el conocimiento del fenómeno tsunami y el establecimiento de un sistema de alerta contra tsunamis en Centroamérica. De las investigaciones se determinó que en Centroamérica han ocurrido 49 tsunamis desde 1539 hasta el presente (Fernández *et al.*, 1999; Fernández *et al.*, 2000), algunos de ellos causando destrucción y muerte. Sin embargo, el establecimiento del sistema regional de alerta es aún incipiente, ya que no solamente depende del estado de arte de redes simológicas y mareográficas que permitan emitir una alerta temprana. También depende de la respuesta de la población ante una situación de alerta. Para que la respuesta sea efectiva es necesario informar a la población en materia de prevención de riesgo, dándole a conocer la vulnerabilidad de las regiones susceptibles de ser inundadas por tsunamis locales y regionales. Con este objetivo hemos inicia-

do este trabajo en Puntarenas, Costa Rica, una de las regiones más densamente pobladas (21,000 habitantes en 1998) en el interior del Golfo de Nicoya. Puntarenas está ubicada en una barra de arena de 10 km de largo y de 400 m en su parte más ancha, a escasos 2.0 m sobre el nivel del mar, y una laguna costera la separa de tierra firme. Su singular relieve plano (Figura 1) y su ubicación en el vértice del Golfo de Nicoya (Figura 2), en donde podría esperarse convergencia de energía de un frente de onda entrando al golfo, son dos factores que podrían aumentar la vulnerabilidad de la población al embate de tsunamis. Para evaluar el riesgo de inundación por tsunamis se estimaron alturas de ola y tiempos de propagación del frente de onda de tsunamis mediante la simulación numérica de propagación de tsunamis que pudieran generarse en la zona de subducción de Costa Rica (Fosa de Costa Rica) y en la zona de subducción del Pacífico Colombiano. Es importante hacer notar que la predicción de sismos en estas regiones está fuera del alcance de este estudio, cuyo objetivo es la evaluación de riesgo de inundación con fines de prevención en el supuesto caso de ocurrencia de tsunamis locales y regionales.

MARCO TECTÓNICO REGIONAL

En la costa del Pacífico, el Golfo de Nicoya marca la frontera entre dos importantes zonas sísmicas de Costa Rica (Figura 3): la zona sísmica de Nicoya, frente a la península de Nicoya y



Figura 1. Vista panorámica de Puntarenas, 1994. Cortesía de Jean Mercier.

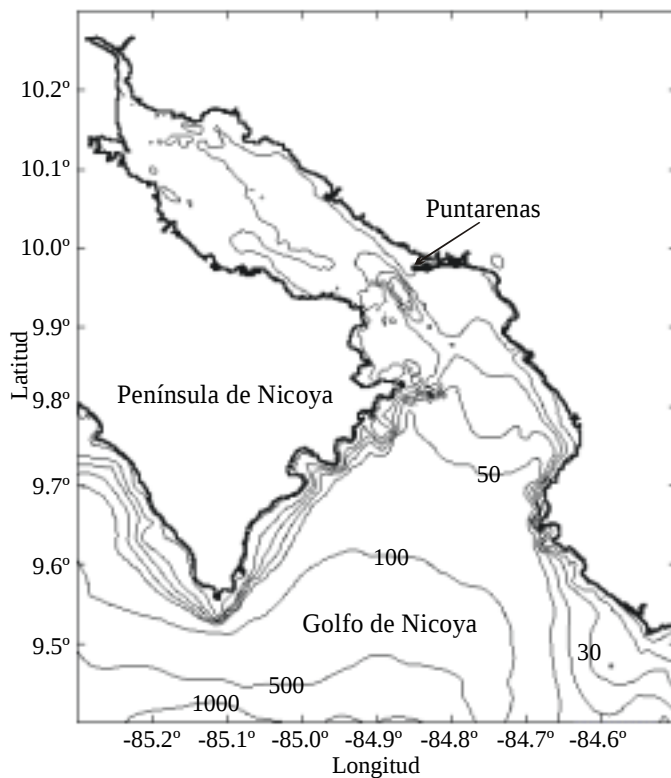


Figura 2. Ubicación de Puntarenas en el Golfo de Nicoya. Las isóbatas indican la profundidad anotada en metros.

la zona sísmica de Quepos, al sureste de la península, que se diferencian claramente por sus características sismológicas y tectónicas. La zona sísmica de Nicoya es de relieve muy plano en lo que respecta a la placa subducida y su sismicidad es relativamente baja, por lo que ha sido identificada como una brecha sísmica (Guendell, 1991). La zona sísmica de Quepos, por el contrario, es de corteza oceánica rugosa (montes, mesetas y una dorsal oceánica) y su sismicidad es relativamente alta. El límite entre las dos zonas sísmicas está constituido por los montes

Fisher en la placa oceánica, y por fallas transcurrentes con rumbo NE en la plataforma del Golfo de Nicoya (en el extremo SE de la Península de Nicoya) adentrándose en la corteza continental. Frente al Golfo de Nicoya, la Fosa Mesoamericana (Fosa de Costa Rica) está desplazada (~20 km) en dirección NE y rotada (~15°) con respecto al extremo sureste de la Fosa Mesoamericana Nicaragüense. Tanto el desplazamiento como la rotación observada podrían deberse al arrastre de la placa Caribe en dirección NE como resultado de la subducción de corteza oceánica rugosa bajo ella. Si bien esta corteza rugosa se opone a la subducción, produce empuje y deformación (Marshall *et al.*, 2000) y un mayor desplazamiento del bloque central y sur de Costa Rica, obligándolo a retroceder en dirección NE junto con la Fosa de Costa Rica con respecto a la Fosa de Nicaragua. La zona de Benioff, bien definida en la Fosa de Costa Rica (Protti *et al.*, 1994), y la actividad volcánica en la Cordillera Central de Costa Rica, evidencian una zona de subducción activa con asperezas considerables. Por otra parte, el sismo-tsunami de Cóbano de 1990 (Barquero y Boschini, 1991) que se localizó en el extremo SE de la Península de Nicoya evidencia una falla transcurrente con componente inversa que corre desde el extremo NW de la Fosa de Costa Rica en dirección perpendicular a la fosa, adentrándose en el continente hasta el sur de Puntarenas. Esta falla oblicua y la Fosa de Costa Rica son las dos zonas que podrían generar tsunamis locales con potencial destructivo en el Golfo de Nicoya.

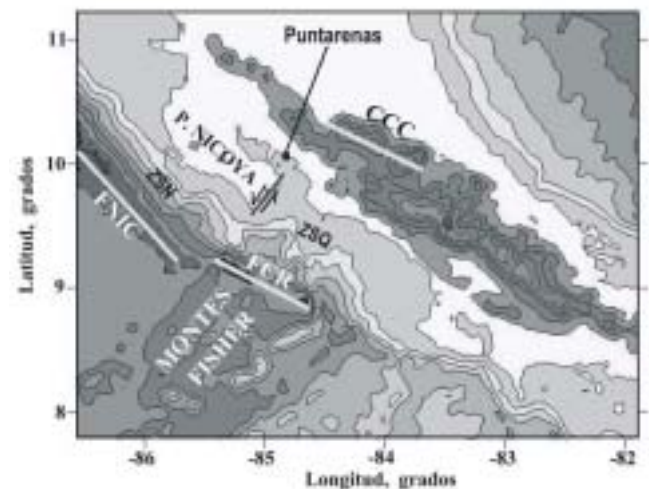


Figura 3. La zona sísmica de Nicoya (ZSN) se localiza entre la península de Nicoya y la Fosa de Nicaragua (FNIC). La zona sísmica de Quepos (ZSQ) se localiza entre la Cordillera Central de Costa Rica (CCC) y la Fosa de Costa Rica (FCR). En el extremo sureste de la península de Nicoya se indica la falla transcurrente de tipo oblicuo en donde se localizó el sismo de Cóbano de 1990.

PROPAGACIÓN DE TSUNAMIS POTENCIALES

Para analizar la vulnerabilidad de Puntarenas ante un tsunami local potencialmente destructivo, hemos supuesto la ocurrencia de un sismo intraplaca entre la Fosa de Costa Rica y

el Golfo de Nicoya, con mecanismo focal puramente inverso y con una dislocación de 6 m sobre un plano de falla en la profundidad de 15 km. La longitud de ruptura se ha supuesto paralela y aproximadamente igual a la longitud de la Fosa de Costa Rica (~100 km) con un ancho del plano de falla de 60 km y echado de 30° en dirección NE (Figura 4a). Aun cuando la dislocación sobre el plano de falla puede considerarse extremadamente grande para una longitud de ruptura de 100 km, se ha supuesto una dislocación de esta magnitud con el objetivo de evaluar un caso extremo de inundación.

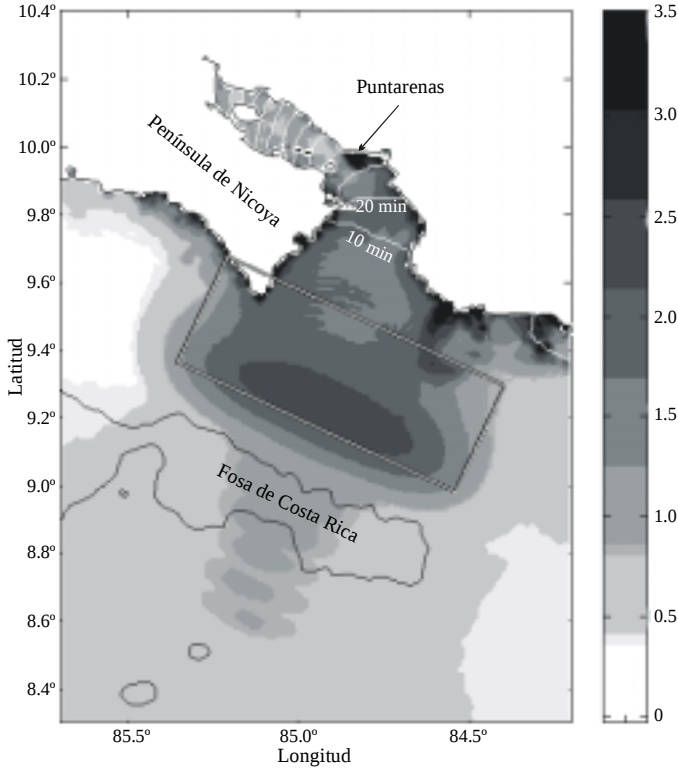


Figura 4a. Tsunami potencial generado por una dislocación de 6 m en una falla inversa frente al Golfo de Nicoya. La escala de gris indica la altura del tsunami (metros). El tiempo de propagación del frente del tsunami dentro del Golfo de Nicoya se indica con líneas de fase cada 10 minutos con referencia al tiempo de origen del sismo. La Fosa de Costa Rica se indica con la isóbata de 3000 m. El rectángulo indica la posición del plano de falla.

La condición inicial del tsunami generado por este escenario sísmico se consideró como una perturbación instantánea de la superficie del mar igual a la deformación cosísmica del fondo marino calculada con el modelo de dislocación de Mansinha y Smylie (1971). La duración de un sismo (~30 s) para longitudes de ruptura menores que 200 km, y la velocidad de propagación del tsunami (6 km/min) en profundidades de 1000 m, permiten formular la hipótesis de una deformación instantánea de la superficie del mar sin alterar significativamente los resultados de la propagación del tsunami. La propagación del tsunami en el Golfo de Nicoya se simuló con las ecuaciones de aguas someras (Goto *et al.*, 1997), permitiendo una condición de frontera móvil en la costa para evaluar la altura y extensión de la inundación en Puntarenas:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

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

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

En la serie de ecuaciones (1): t es el tiempo; η representa el desplazamiento vertical de la superficie del agua respecto al nivel en reposo; g es la aceleración gravitacional; $D = (\eta + h)$ representa la profundidad instantánea de la columna de agua, en donde h es la profundidad media. U y V son los gastos en las direcciones longitudinal (x) y latitudinal (y) respectivamente y m es el parámetro de rugosidad de Manning (0.025), considerado constante en este estudio.

La serie de ecuaciones (1) fue integrada empleando diferencias finitas centrales en un conjunto interconectado de mallas anidadas. Para describir la batimetría en la región oceánica se empleó una resolución espacial de 27 segundos, mientras que para describir los detalles de la batimetría al interior del Golfo de Nicoya y en Puntarenas se empleó una resolución de 1 segundo (aproximadamente 30 m).

Los resultados de la simulación numérica (Figura 4a) indican que la altura del tsunami en la costa adyacente a la boca del Golfo de Nicoya y hacia el interior del golfo, hasta Puntarenas, es 3.5 metros sobre el nivel medio del mar, mientras que hacia la cabeza del golfo la altura del tsunami alcanza 1.5 metros. El tiempo de propagación del frente de onda del tsunami dentro del golfo se indica en la Figura 4a con líneas de fase cada 10 minutos. En 35 minutos el frente del tsunami llega a Puntarenas y el primer máximo llega a los 45 minutos. Un acercamiento de la Figura 4a, en la malla de integración de alta resolución, permite apreciar la altura del tsunami en Puntarenas (Figura 4b). El tsunami cubre la barra con altura de inundación de 3.0 a 3.5 metros sobre el nivel medio del mar entre el km 4 y el km 10 de la figura, mientras que hacia la Punta, entre el km 4 y el km 1, la altura del tsunami disminuye de 3.0 a 2.0 metros. Una pequeña área en la Punta del lado de la laguna no es alcanzada por el tsunami. El que la altura del tsunami disminuya hacia la Punta obedece a que el lecho marino es más profundo en cercanía de la Punta debido a la presencia del canal de 45 m de profundidad que conecta la parte ancha del golfo con la región angosta hacia la cabeza del mismo (Figura 2). Del lado del manglar (Figura 4b) el tsunami penetra más de 1 km tierra adentro. En el mareograma sintético (Figura 4c) obtenido del modelo numérico en el extremo del muelle de Puntarenas, a 200 m de la costa se aprecia la llegada del primer máximo (3.25 m), 45 minutos después del tiempo de origen del sismo, así como oscilaciones de ± 2 m en el nivel del mar durante al menos las siguientes 5 horas.

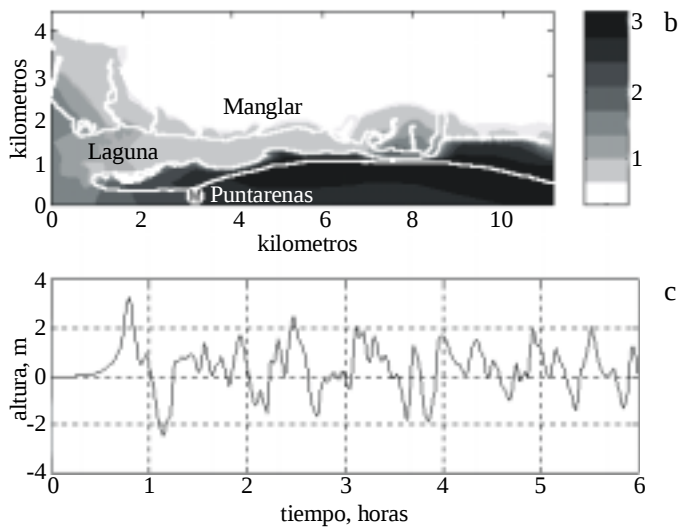


Figura 4 b, c. b) Altura de inundación en Puntarenas (escala de gris, metros con respecto al nivel medio del mar). La “M” indica la posición del muelle de Puntarenas y el contorno indica la línea de costa. c) Mareograma sintético en el muelle de Puntarenas. El origen del tiempo está referido al tiempo de origen del sismo.

La altura de Puntarenas es de 2.0 m sobre el nivel medio del mar en el área más densamente poblada (entre el km 1 y el km 6 de la Figura 4b), lo que implica que este tsunami sobrepasa con un metro aproximadamente el nivel de la barra. Decir un metro parece poco; sin embargo, la experiencia de tsunamis en diferentes regiones y en particular la experiencia del tsunami reciente de Perú (23 de Junio 2001) ha demostrado que un flujo de agua con un metro de altura tiene capacidad de socavar los cimientos de las casas y de erosionar y arrastrar a su paso objetos grandes y pesados, como embarcaciones, que pueden impactarse contra las edificaciones, o personas que pueden ser arrastradas al mar. La simulación numérica de este tsunami se hizo considerando a la marea en su punto medio. La ocurrencia de un tsunami en marea alta o en marea baja marcaría una diferencia significativa en el patrón de inundación debido a que la marea en Puntarenas oscila ± 1.5 m respecto al nivel medio del mar.

Suponiendo una dislocación de 3 m, en lugar de 6 m de dislocación del caso anterior, el tsunami simulado alcanza alturas de 1.75 m respecto al nivel medio del mar en el interior y en la costa alejada al Golfo de Nicoya, sin producir inundación en Puntarenas. Cabe mencionar que de ocurrir este tsunami en marea alta sobrepasaría aproximadamente con un metro el nivel de la calle en Puntarenas.

Considerado en este estudio la posibilidad de ocurrencia de un sismo en el extremo sureste de la Península de Nicoya con mecanismo focal similar al sismo-tsunami de Cóbano de 1990 (Barquero y Boschini, 1991), hemos supuesto una dislocación de 2m en una falla transcurrente con componente inversa (Figura 5a). Aun cuando la mayor parte de la deformación vertical cosísmica (Figura 5a) ocurre en el lecho marino, una parte ocurre en el extremo sur de la Península de Nicoya, res-

tándole energía potencial disponible al tsunami. El tsunami generado alcanza alturas de 0.5 m a 1.0 m en la costa occidental de la Península (Figura 5a) mientras que en Puntarenas la altura es de escasos 25 cm (Figura 5b). Es evidente que este tsunami tiene menor potencial de inundación en Puntarenas debido al mecanismo focal y a que la región de relativamente poca profundidad en la que se genera (100 m) no permite que el tsunami se amplifique significativamente al llegar a la costa.

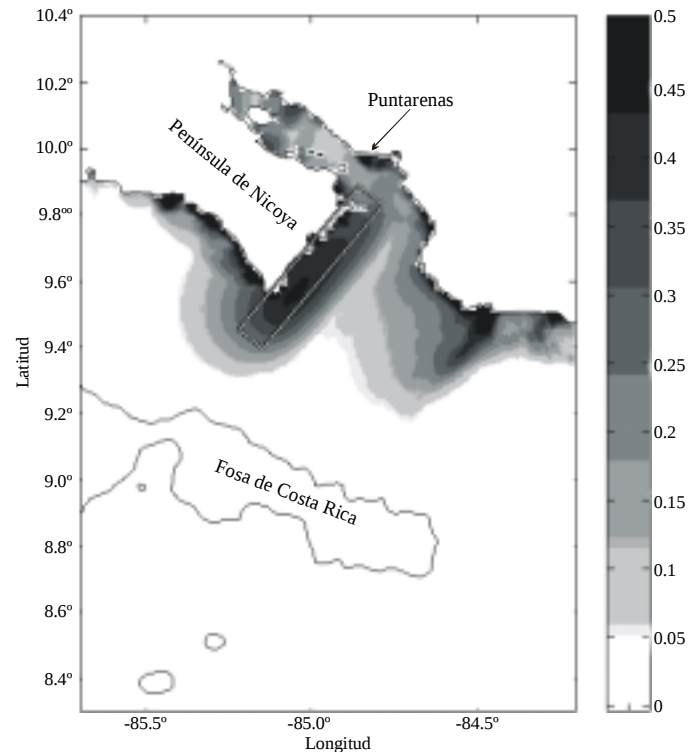


Figura 5a. Tsunami potencial generado por un sismo al Sur de la Península de Nicoya. La escala de gris indica la altura del tsunami (metros). La Fosa de Costa Rica se indica con la isóbata de 3000 m. El rectángulo indica la posición del plano de falla.

Adicionalmente hemos supuesto un escenario de tsunami de origen regional que pudiera afectar a Centroamérica. La elección de la Fosa de Colombia como origen del supuesto tsunami obedece a que en esa fosa ocurrió el sismo (M_w 8.6) del 31 de enero de 1906 cuya longitud de ruptura se estima en 400 km (Kelleher, 1972). Dado que no se conoce la magnitud de la dislocación del sismo de 1906, ni el ancho del plano de falla, hemos considerado una dislocación promedio de 10 m y un ancho de falla de 80 km con echado de 30° (Figura 6a). En la propagación del tsunami desde Colombia hasta Costa Rica se empleó una resolución espacial de 2 minutos de arco en la región oceánica y las correspondientes ecuaciones (1) expresadas en coordenadas esféricas, eliminando la fricción y los términos advectivos durante la propagación en la región oceánica, y conservando el conjunto completo de las ecuaciones (1) durante la propagación en el Golfo de Nicoya. La altura de este tsunami es de 1.5 m en la región oceánica a 600 km de la costa Colombiana (Figura 6a). La direccionalidad del tsunami es evidente en la figura 6a, en donde también se aprecia la influencia del

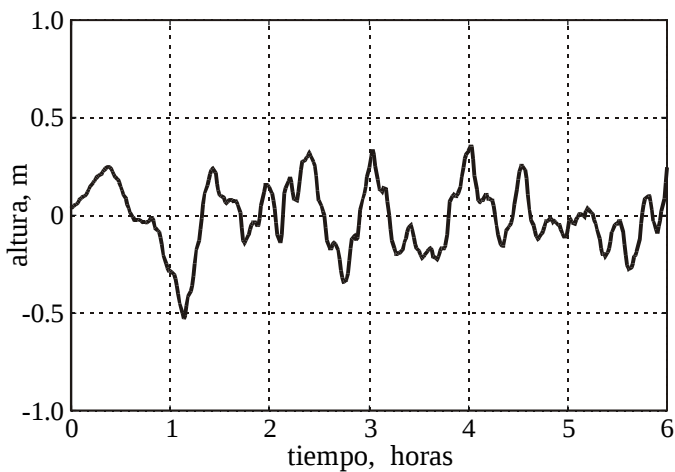


Figura 5b. Mareograma sintético en el muelle de Puntarenas para el caso de un tsunami potencial generado al Sur de la Península de Nicoya. El origen del tiempo está referido al tiempo de origen del sismo.

relieve del fondo marino al desviar el mayor flujo de energía del tsunami acercándolo a la costa de Centroamérica. Después de 2 horas de propagación a partir del tiempo de origen del sismo, el tsunami llega a la boca del Golfo de Nicoya con altura de 1.5 m en la profundidad de 200 m. El tsunami alcanza 3.5 m sobre el nivel medio del mar, tanto en la costa occidental de la Península de Nicoya como en el interior del Golfo de Nicoya (Figura 6b). En Puntarenas el frente de onda del tsunami llega 2 horas y 45 minutos después del tiempo de origen del sismo inundando la barra de arena con altura 3.5 m. El patrón de inundación en Puntarenas, calculado en la malla de alta resolución, es prácticamente igual caso en que se prescribió una dislocación de 6 m para una falla inversa frente al Golfo de Nicoya

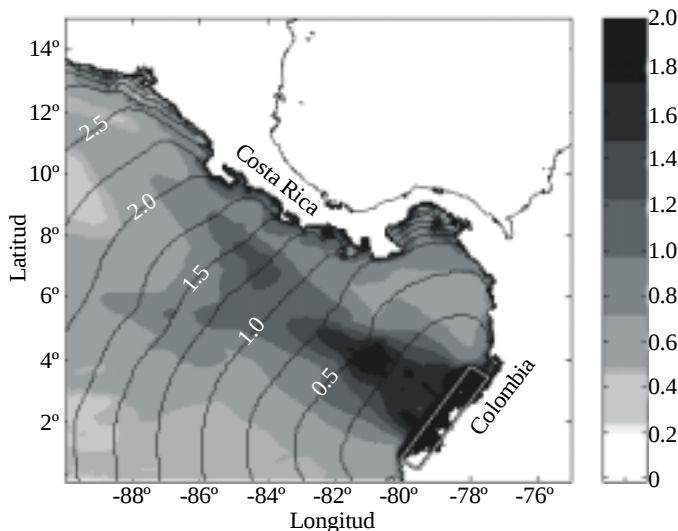


Figura 6a. Simulación numérica del tsunami de Colombia del 31 de enero de 1906. La escala de gris indica la altura del tsunami (metros) en la región oceánica. El tiempo de propagación del frente del tsunami se indica con líneas de fase cada 0.25 horas con referencia al tiempo de origen del sismo. El rectángulo indica la posición del plano de falla.

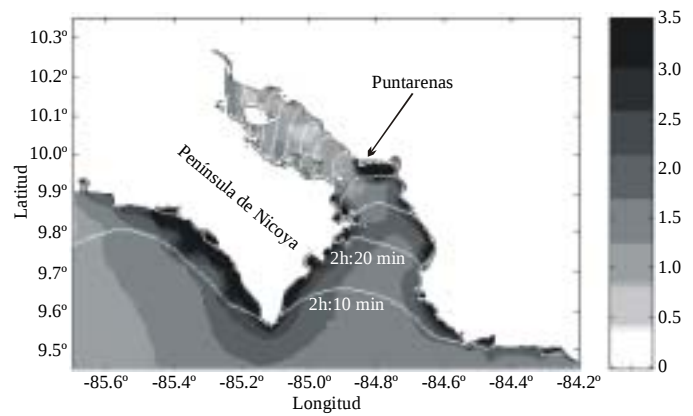


Figura 6b. Simulación numérica del tsunami de Colombia del 31 de enero de 1906 en el Golfo de Nicoya. La escala de gris indica la altura del tsunami (metros). El tiempo de propagación del frente del tsunami se indica con líneas de fase cada 10 minutos con referencia al tiempo de origen del sismo.

(Figura 4b). El mareograma sintético de este tsunami (Figura 6c) en Puntarenas indica que el tsunami de 1906 llegó durante la bajamar y posiblemente no produjo inundación. Durante el trabajo de prospección en Puntarenas no se encontró evidencia de observación del tsunami de 1906 en documentos oficiales ni en testimonios populares.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el caso de tsunamis generados en la Fosa de Costa Rica, la altura del tsunami en la costa (3.5 m), aún considerando dislocaciones extremas (6 m) en el plano de falla, no llega a ser tan alta como en otras zonas de subducción en donde una dislocación de 4 m produce alturas de inundación de 5 m. Esto se debe a la relativa poca profundidad en la región de generación del tsunami (1000-2000 m) y se explica con la Ley de Green de amplificación de altura de ola cuando la pendiente del lecho marino es uniforme. El caso de tsunamis generados por sismos similares al sismo de Cóbano de 1990 en el extremo SE de la Península de Nicoya no representa mayor riesgo de inundación que el caso anterior debido a que prácticamente no hay amplificación en la altura del tsunami, ya que la profundidad del lecho marino en esta región del Golfo de Nicoya no sobrepasa 200 m. En cuanto al riesgo de inundación por tsunamis regionales, los tsunamis generados en la Fosa de Colombia representan mayor riesgo que aquellos generados en las costas aledañas a Costa Rica. Esto se debe a la direccionalidad de los tsunamis que depende a su vez de la longitud de ruptura (Ortiz *et al.*, 2001). Es importante notar que el sismo-tsunami de Colombia de 1906 (M_w 8.6), un fenómeno extremadamente grande (longitud de ruptura 400 km), no causó daños regionales debido al estado de la marea (marea baja). También se debe tomar en cuenta que sismos-tsunami fuertes en esta región con longitud de ruptura considerablemente menor que en 1906 no han causado daños en Centroamérica. Por ejemplo, no se reportaron inundaciones regionales por el sismo-tsunami de Colombia del 12 diciembre de 1979 (M_w 8.2) cuya longitud fue estimada entre 180 Km y

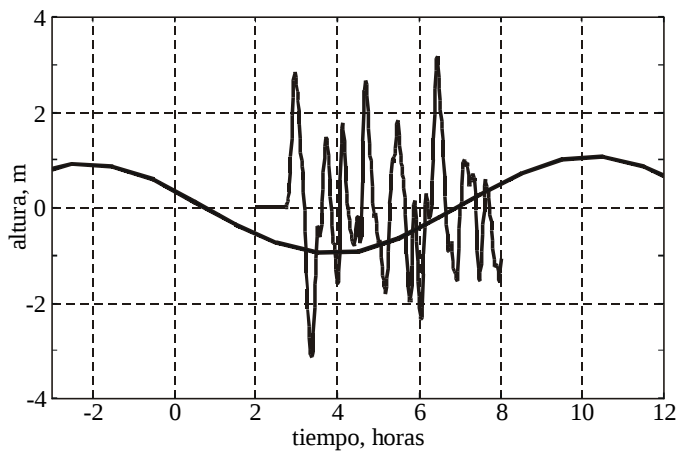


Figura 6c. Tsunami sintético en el muelle de Puntarenas (simulación numérica del tsunami de Colombia de 1906). La línea gruesa indica la predicción de marea del 31 de enero de 1906 para Puntarenas. El origen del tiempo corresponde al tiempo de origen del sismo.

230 Km (Kanamori and McNally, 1982; Beck and Ruff, 1984). En el caso de tsunamis potencialmente destructivos para Puntarenas, tanto locales como regionales, el riesgo de inundación depende del estado de la marea debido a que Puntarenas está a 2.0 m sobre el nivel medio del mar y la marea oscila ± 1.5 m con respecto a este nivel.

El análisis de riesgo de inundación en Puntarenas por tsunamis locales y regionales es alentador porque presenta situaciones que son relativamente viables de manejar en caso de una alerta temprana de tsunami, tanto por la altura del tsunami como por el tiempo de arribo. Lo que resta es difundir entre la población los conceptos elementales del fenómeno tsunami, empleando para ello folletos de divulgación e incluyendo estos conceptos en los cursos regulares de educación primaria. El conocimiento elemental más importante ante una alerta de tsunami es que se debe buscar de inmediato un sitio alto y seguro. Por ejemplo, previa investigación pericial, es posible identificar algunas edificaciones en Puntarenas con altura y resistencia adecuadas para ser designadas como lugares de refugio, no solamente en caso de tsunamis, sino también en caso de tormentas que ocurran en conjunción con marea alta. Aún cuando no se produzca un tsunami, es mejor esperar un par de horas a que pase el peligro, que sufrir las consecuencias.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) en el marco de cooperación México-Japón-Costa Rica, noviembre 1999 - noviembre 2000. Agradecemos a C. Pimentel de CENAPRED y a las Autoridades del Instituto Mexicano de Cooperación Internacional (IMEXI) de la Secretaría de Relaciones Exteriores, por su dedicación y apoyo a los programas de cooperación con Centroamérica. Agradecemos a C. Elizondo del Instituto Geográfico de Costa Rica su apoyo y entusiasmo al facilitarnos la

información batimétrica del Golfo de Nicoya y de Puntarenas. Nuestro reconocimiento a la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica por el apoyo logístico para hacer posible la investigación. Los autores agradecen los comentarios y sugerencias de los revisores: Alejandro F. Nava y E. Glowacka.

REFERENCIAS

- Barquero, R., y I. Boschini, (Eds), 1991. La crisis sísmica del Golfo de Nicoya y eventos relacionados, Costa Rica, 1990.-135 pgs. Informe Técnico de la Red Sismológica Nacional (R.S.N.)
- Beck, L., and L. Ruff, 1984. The Rupture Process of the Great 1979 Colombia Earthquake: Evidence for the Asperity Model, *Journal of Geophysics Research*, 89, 981-9291.
- Fernandez, M., J. Havskov, and K. Atakan, 1999. Destructive Tsunamis and Tsunami Warning in Central America. *The Science of Tsunami Hazard*, V. 17, No 3, pp. 173-186.
- Fernandez, M., Molina, E., Havskov, J. and Atakan, K., 2000. Tsunamis and Tsunami Hazards in Central America. *Natural Hazards*, V. 22, No. 2, pp. 91-116.
- Guendell, F., 1991. The Nicoya Seismic Gap. OVSICORI, Heredia, Costa Rica, 19 p.
- Goto C., Y. Ogawa, N. Shuto, 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.
- Kanamori, H., and K. McNally, 1982. Variable rupture mode of the subduction zone along the Ecuador-Colombia coast, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72, 1241-1253.
- Kelleher J.A., 1972. Rupture Zones of Large South American Earthquakes and Some Predictions. *Journal of Geophysics Research*, Vol. 77, No 11, April 1972.
- Mansinha, L., and D. Smylie, 1971. The Displacement Fields of Inclined Faults. *Bulletin of the Seismological Society of America*, V. 61, No 5, pp. 1433-1440.
- Marshall, J., D. Fisher, and T. Gardner, 2000. Central Costa Rica deformed belt: Kinematics of diffuse faulting across the western Panama block. *Tectonics*, V. 19, No. 3, pp 468-492.
- Ortiz M., E. Gómez-Reyes, and H. Vélez-Muñoz, 2000a. A Fast Preliminary Estimation Model for Transoceanic Tsunami Propagation. *Geofísica Internacional*, Vol., 39, Num. 3, pp 1-14.
- Protti, M., F. Guendell, and K. McNally, 1994. The geometry of the Wadati-Benioff zone under southern Central America and its tectonic significance: result from a high-resolution local seismographic network. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 84: 271-287.

APLICACIÓN DE TRES MÉTODOS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL EN LA REGIÓN DE PUERTECITOS-SAN LUIS GONZAGA, B.C.

José L. García-Puga¹ y Hinojosa-Corona, A.²

¹ Centro de Sismología y Volcanología de Occidente (SisVOc), Universidad de Guadalajara

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

E-mail: puga@pv.udg.mx

RESUMEN

Se realizó la caracterización de la hidrología superficial en la franja costera comprendida entre las localidades de Puertecitos y San Luis Gonzaga, en la costa oriental de Baja California, aplicando tres métodos implementados en diferentes sistemas de información geográfica (SIG) que operan sobre representaciones matriciales del relieve del terreno, conocidas también como modelos digitales del terreno (MDT). El primer método utiliza el SIG Arc/Info; el segundo fue desarrollado para el SIG GRASS. Ambos extraen parámetros hidrológicos a partir del análisis de un MDT, como son el delineado de parteaguas entre cuencas, dirección y acumulación del flujo. El tercer método es un programa de aplicación conocido como Rivertools, que extrae diversos índices hidrológicos, así como patrones de la red hídrica con una mayor definición.

Con el método de Arc/info se logró identificar 9 cuencas, definiendo claramente la red hídrica regional. El método de GRASS fragmentó la misma área en 22 cuencas. El programa Rivertools además de calcular parámetros hidrológicos importantes, generó una clasificación hidrológica con el modelo de Horton-Strahler, creando órdenes jerárquicos para las 22 cuencas calculadas por el segundo método, definiendo a la cuenca Matomí como la cuenca de mayor importancia. Se concluye que mientras Arc/info traza mejor la red hidrológica superficial, GRASS segmenta y delinea mejor los perímetros de las cuencas. La caracterización hidrológica con mayor extracción de índices la realiza Rivertools.

INTRODUCCIÓN

En la década de los ochenta y principalmente durante los noventa, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos digitales del terreno (MDT), se han aplicado en los ámbitos de impacto ambiental, planeación regional y de zonas urbanas, cambios en la vegetación y uso del suelo, exploración de recursos no renovables y en estudios de riesgo geológico (Longley y Batty, 1996; ER-Mapper, 1995; Bonham-Carter, 1997; Birkin *et al.*, 1996; Berry, 1997; López Blanco, 1994). Estas herramientas contribuyen a la sistematización de los procesos de análisis espacial, facilitando las tareas de planeación regional y de soporte en la toma de decisiones. Los estudios enfocados a la evaluación y administración de los recursos hídricos son importantes, ya que éstos inciden en la viabilidad de proyectos de desarrollo regional, en especial en zonas áridas como la península de Baja California.

Este trabajo es parte del proyecto "Caracterización de recursos naturales de la zona costera entre Puertecitos y Bahía de San Luis Gonzaga, Baja California, apoyada en imágenes multiespectrales de alta resolución", que realiza el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Los resultados obtenidos de este trabajo contribuirán a la integración de información hidrológica del corredor turístico costero San Felipe a San Luis Gonzaga, B.C.

El área de estudio se localiza en la margen oriental de la península de Baja California. Tiene aproximadamente 100 km de longitud por 30 km de ancho entre los paralelos 29°15', 30°45'N y los meridianos 115°30', 114°15'W, dentro de la delegación municipal de Puertecitos, municipio de Ensenada, donde las localidades con mayor población son Puertecitos y San Luis Gonzaga, que se abastecen de pozos ubicados en el cauce del arroyo Matomí y del arroyo Santa María respectivamente. La precipitación promedio anual para la zona es menor a los 100 mm. Sin embargo, ocasionalmente se presentan eventos, tales como el huracán Nora, que en 1997 cruzó la región, generando una precipitación de 300 mm en un periodo de 24 horas.

Fisiográficamente, según INEGI (1982, 1984, 1995), la zona se ubica en un 95% en la sub-provincia de sierras de Baja California y el restante 5%, en la subprovincia del desierto de Altar, al que pertenece el NE de la entidad.

En esta zona, se han realizado estudios de regionalización hidrológica a escala estatal por parte del INEGI (1984, 1995). De acuerdo con éstos, se definen dos regiones estatales, la región RH4 (Baja California Noreste) y la región RH5 (Baja California Centro-Este). La región hidrológica RH4 abarca la zona de estudio a través de la cuenca regional A y sus subcuencas "a, b y c", cubriendo una extensión territorial de 2,498 km² (Figura 1). La región hidrológica RH5 está compuesta por dos cuencas regionales y la zona de estudio se ubi-

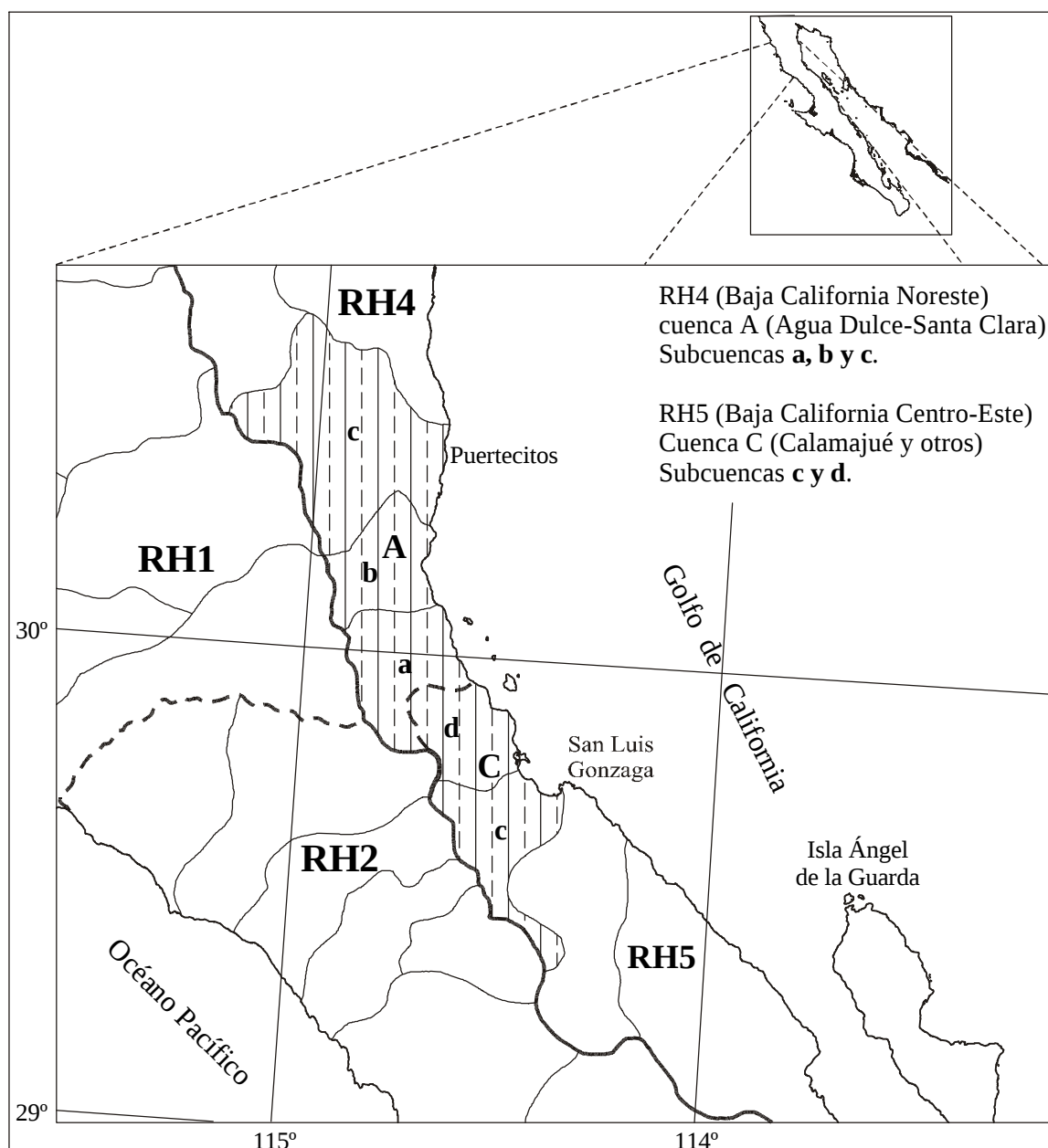


Figura 1. Localización de la zona de estudio, mostrando las regiones hidrológicas estatales, cuencas y subcuencas. Modificado de INEGI (1984; 1995).

ca en la cuenca regional C. Esta cuenca, a su vez, está subdividida en las subcuencas “c y d” que cubren una extensión de 1,044 km². La zona de estudio comprende entonces un total de aproximadamente 3,540 km² (Figura 1).

El principal objetivo del trabajo es caracterizar la hidrología superficial de la franja costera entre Puertecitos y Bahía San Luis Gonzaga (PSLG), utilizando un MDT. Los objetivos particulares son: evaluación de los métodos de análisis y extracción de la hidrología superficial, clasificación de patrones hídricos de acuerdo a los patrones geomorfológicos asociados, determinación de las cuencas hidrológicas y por último, integración de la información espacial generada en un SIG.

El modelado hidrológico es una de las aplicaciones más usuales de los SIG (Longley, 1996; Cialella, 1997; Franklin, 1987; Jenson, 1988). Estas herramientas computacionales operan sobre MDTs delineando cuencas, redes hidrológicas, cálculo del área de cada cuenca y longitud de los arroyos (López Blanco, 1994; Ehlschlaeger, 1989, 1991).

METODOLOGÍA

Se analizó la hidrología superficial de la zona costera PSLG por tres métodos utilizando diferentes SIG's (Arc/Info, GRASS y Rivertools). Los tres métodos extraen parámetros e índices hidrológicos a partir del análisis de un MDT, el cual se

obtuvo de GEMA (Geomodelos de Altimetría, INEGI), que contiene el relieve de la república mexicana en una rejilla regular (raster) con espaciamiento entre elementos de 3 segundos de arco, equivalente a una distancia entre celdas de aproximadamente 100 m. El diagrama de la metodología seguida en el análisis hidrológico se presenta en la Figura 2.

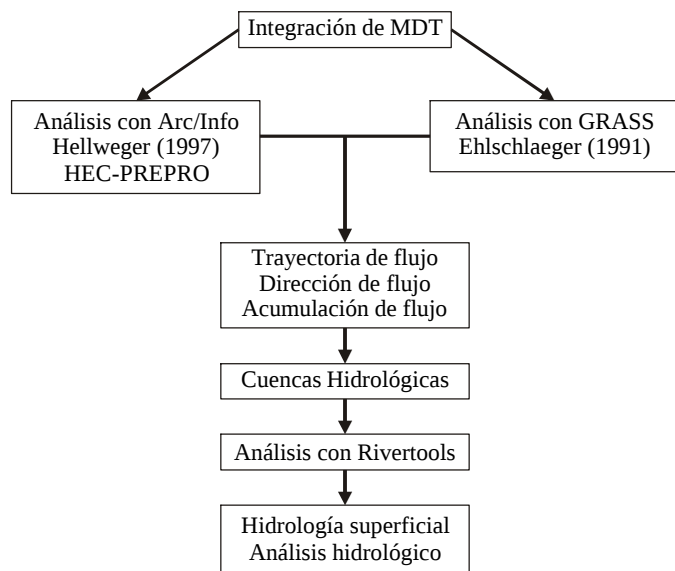


Figura 2. Esquema metodológico para el análisis hidrológico de la zona de estudio.

El primer método de análisis, HEC-PREPRO (*Hydrologic Engineering Center- PREPROcessor*), fue desarrollado por Hellweger (1997). Es un programa en lenguaje AML (*Arc Macro Language*), lenguaje de programación del sistema Arc/Info. Extrae información hidrológica del relieve a través del procesamiento de un MDT en el subsistema de rejillas, conocido como GRID.

El método HEC-PREPRO realiza dos procesos. El primero define cuencas hidrológicas a partir de parámetros que establece el usuario, tales como el área mínima de una cuenca y la longitud mínima de los arroyos. El segundo calcula la pendiente del terreno, el trazo de arroyos, dirección de flujo y zonas de acumulación. La pendiente del terreno se calcula a partir del gradiente de alturas entre celdas vecinas (Figura 3a). El trazo de flujos describe la dirección de los escurrimientos de agua en la superficie (Figura 3b), siguiendo la trayectoria de mayor pendiente (Felicísimo, 2000; Leberect, 1997-98; Fletcher, 1997). Para codificar la dirección del escurrimiento, se asigna un código a cada celda, entre un total de 8 valores distintos; cada valor representa la orientación de la celda, siguiendo el siguiente esquema: E=1, SE=2, S=4, SW=8, W=16, NW=32, N=64, NE=128 (Figura 3c). La trayectoria del flujo consiste en una matriz (rejilla o raster) donde cada celda almacena uno de los 8 valores distintos, donde cada valor indica la dirección hacia donde se dirige el escurrimiento (Figura 3d).

Finalmente, se calcula la matriz (raster) de acumulación, que contiene el número de celdas que aportan para la formación de un escurrimiento, donde cada celda almacena la suma de celdas aguas arriba que contribuyeron para la formación del arroyo (Figura 3e). HEC-PREPRO extrae la red hidrológica, como un conjunto de líneas (vectores) unidas en los nodos donde se juntan los afluentes.

El segundo método es el desarrollado por Ehlschlaeger (1991) para GRASS (GRASS, 1999). Este programa genera información similar al método anterior (red hídrica, acumulación, dirección de flujo, depresiones), con diferencias en el algoritmo aplicado y en la forma de codificar los resultados. Utiliza el algoritmo de búsqueda A^T (Ehlschlaeger, 1989), conocido como de mínimo costo, para organizar los datos de elevación y evaluar la red hidrológica. Busca la trayectoria menos costosa entre un punto de inicio y un destino, evaluando los costos según la pendiente del flujo a través de las celdas. Este método codifica los resultados utilizando una rejilla, a diferencia de HEC-PREPRO que los almacena con el modelo de vectores. En la Figura 3c se muestra el esquema utilizado para la codificación de la dirección de flujo. Para la acumulación del flujo, ambos métodos utilizan esquemas similares (Figura 3e).

En la aplicación de los métodos de Hellweger (1997) y Ehlschlaeger (1991) fue necesario estandarizar criterios en el tamaño de celdas para que los datos fueran representativos a una escala 1:100,000, además de la longitud mínima de arroyos, las áreas máximas y/o mínimas para las cuencas. La dimensión de las celdas en el MDT se remuestreó a 60 m por lado (3600 m²) y el umbral de análisis para considerar a una cuenca independiente se estableció en 1000 celdas, que representan una área de 3.6 km².

Horton (1932, 1945) introdujo un concepto de clasificación de arroyos que permite asignar valores enteros a arroyos en redes hidrológicas que determinan su importancia relativa en una jerarquía de tributarios mayores y menores. Una versión mejorada de este concepto fue introducida más tarde por Strahler (1957). Rivertools, la tercer herramienta, calcula una clasificación de arroyos aplicando el esquema jerárquico de Horton y Strahler (HS). La red está integrada por un cauce principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden desde las partes más altas hacia las partes más bajas donde convergen los escurrimientos (Sanjuame y Villanueva, 1996; Llamas, 1989; Black, 1996).

Cuando un tributario se localiza en las partes superiores de la cuenca y no recibe aporte de otro canal, por pequeño que sea, se considera de primer orden; cuando un canal recibe aportes de dos tributarios de orden uno en cualquier parte del canal, se clasifica como de segundo orden, y así sucesivamente, como se muestra en la Figura 4.

En la clasificación HS no existe ningún parámetro que defina el orden de una cuenca, por lo que el orden máximo del cauce principal definirá el orden de la cuenca. Rivertools (RSI,

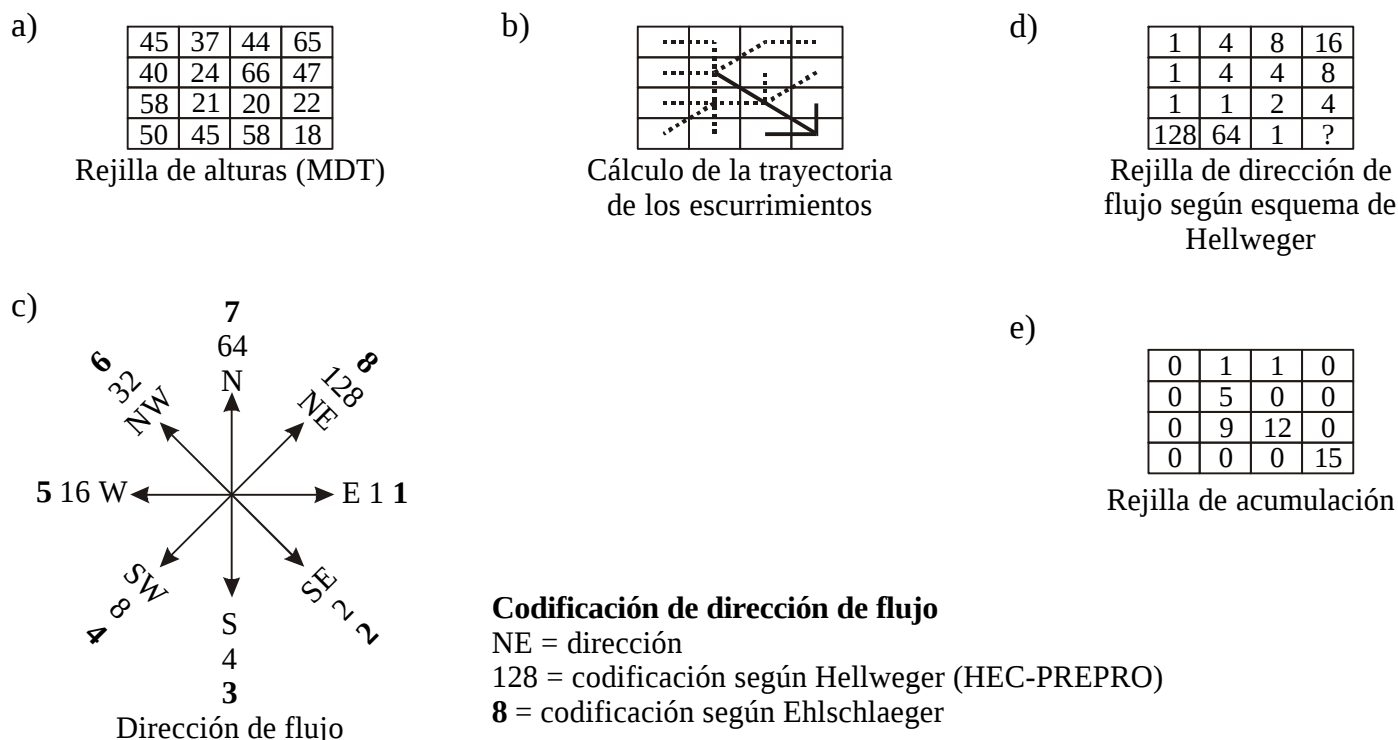


Figura 3. Descripción gráfica de los cálculos efectuados por los métodos propuestos por Hellweger (1997) y Ehlschlaeger (1989), resaltando la forma de codificación de la dirección del flujo.

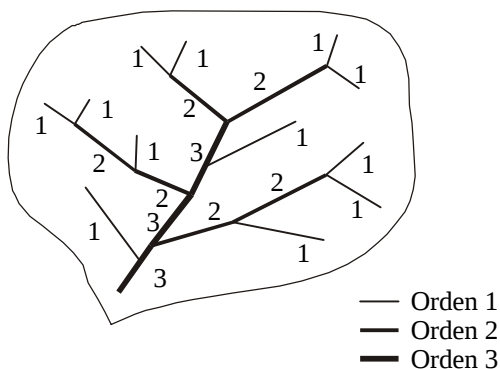


Figura 4. Clasificación de arroyos con el esquema de Horton (1932, 1945) y Strahler (1957).

1999) además de aplicar el modelo HS, calcula una serie de parámetros hidrológicos que nos permiten caracterizar las cuencas. Entre estos parámetros está la densidad del drenaje, la longitud, orden del afluente (clase jerárquica), el rango de alturas y el número total de afluentes, que permiten generar representaciones gráficas.

RESULTADOS

La extracción de los cauces se efectuó por los métodos de Hellweger (1997) y Ehlschlaeger (1991), obteniendo las trayectorias de los afluentes y la delineación de las cuencas. Los resultados de ambos métodos son similares en la delineación

de los cauces de los arroyos y en la definición de los parteaguas en las cuencas, pero difieren en el número de cuencas obtenidas.

Los resultados relevantes del método Hellweger fueron el cálculo del área y perímetro de las cuencas, trazo de arroyos y la delineación de los parteaguas. De este método, se obtuvieron 9 cuencas que, tomando como referencia los polígonos establecidos por INEGI (1995), difieren en forma y tamaño. Las poligonales de los parteaguas se muestran en la Figura 5 y el reporte de áreas aparece en la Tabla 1, que incluye la extensión territorial, el perímetro y la parte porcentual con respecto al total del área de estudio.

Las cuencas extraídas fueron confrontadas con las propuestas en la carta hidrológica 1:1,000,000 (INEGI, 1984) y con el estudio hidrológico del estado de Baja California (INEGI, 1995). Por efecto de la generalización de los rasgos de la escala 1,000,000, se observan diferencias en las áreas según se muestra en la Figura 5.

En el método Hellweger, la trayectoria del flujo se representa por vectores que delinean los afluentes de las cuencas. La dirección del flujo, así como la acumulación de los escurrimientos, son almacenados en rejillas o matrices. Para la dirección de flujo, cada celda de la matriz almacena el código de dirección que seguiría el escurrimiento de acuerdo al esquema de la Figura 3c. En el caso de la rejilla de acumulación, cada celda almacena el número de celdas aguas arriba que contribuyen en el escurrimiento.

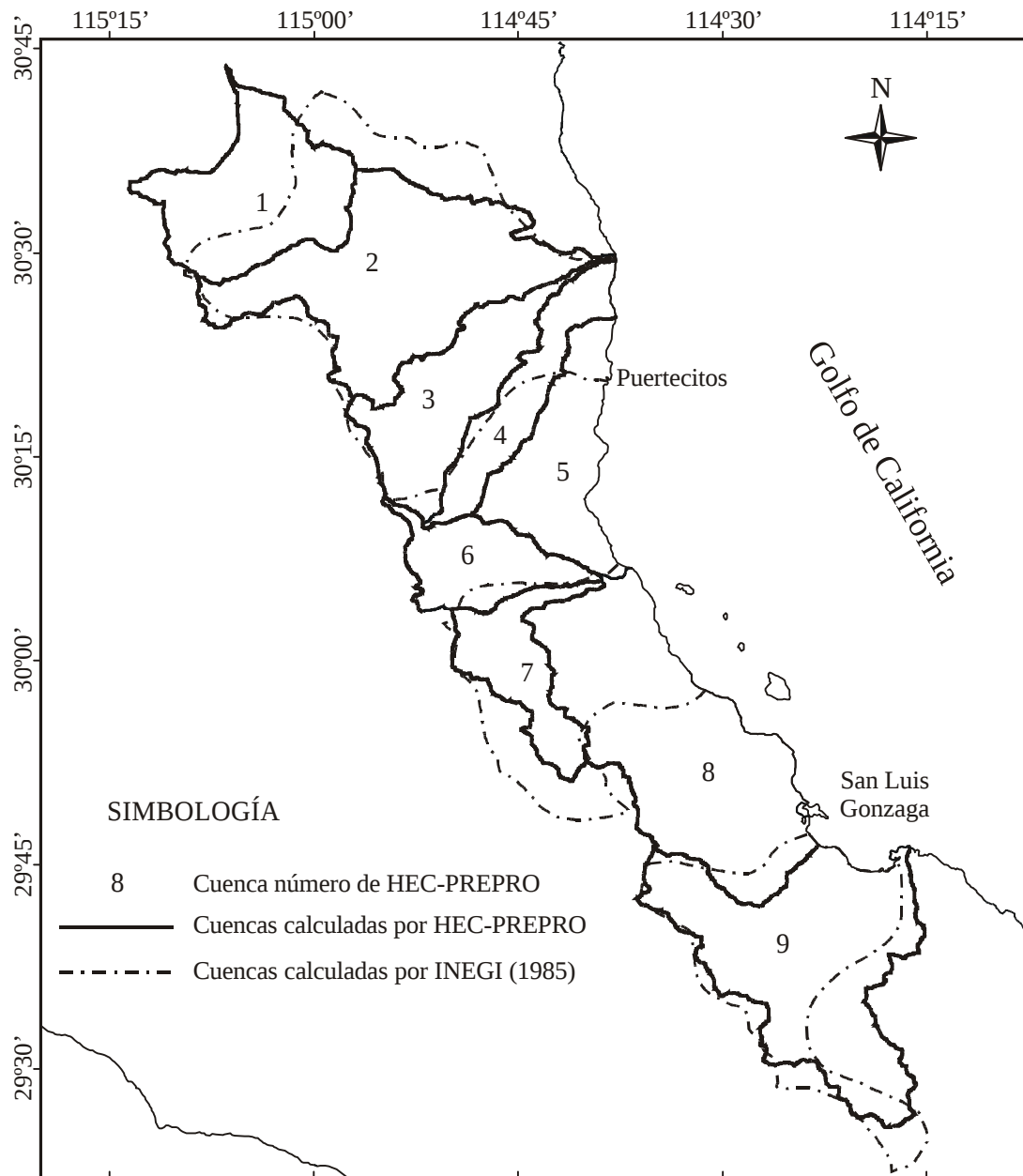


Figura 5. Límites de las cuencas propuestas por INEGI (1985) en la carta hidrológica escala 1:1'000,000 indicados en línea discontinua y límites obtenidos del procesado del MDT con el método Hellweger (1997) con línea gruesa.

El método de Ehlschlaeger (1989), está implementado en el módulo *r.watershed* de GRASS, del que se obtuvieron 22 cuencas. Los resultados son similares en cuanto al flujo y red de drenaje, y no se observan diferencias en el trazo de la red hidrológica.

Aunque el número de cuencas difiere en ambos métodos, los límites de algunas cuencas coinciden en ciertas secciones de los parteaguas, como se muestra en la figura 6, indicando con línea gruesa los parteaguas comunes. Algunas de las 9 cuencas calculadas por HEC-PREPRO, agrupan a varias cuencas del método de Ehlschlaeger. Por ejemplo, la cuenca 8 calculada por HEC-PREPRO e indicada en negritas en la figura 6,

agrupa a las cuencas 13,14,15,16 y 18 obtenidas por Ehlschlaeger. La relación entre las cuencas obtenidas por los dos métodos, se muestra en la Tabla 1, que incluye el área, perímetro y porcentaje del área de estudio que cubre cada cuenca.

Para la delimitación final de las cuencas en la caracterización hidrológica, se tomaron las 22 delineadas por el método Ehlschlaeger, del que se obtiene una segmentación más detallada. La distribución de las cuencas con los cauces de los arroyos se muestra en la Figura 7. Las cuencas se nombraron según la población o rasgo fisiográfico mas representativo, de acuerdo con la toponimia del INEGI (1995).

Tabla 1. Relación entre las 9 cuencas obtenidas con el método Hellweger (izquierda) agrupa algunas de las 22 cuencas obtenidas por Ehlschlaeger (derecha).

Método Hellweger				Método de Ehlschlaeger			
Nombre	Área (Km ²)	Perímetro (m)	%	Nombre	Área (Km ²)	Perímetro (m)	%
1 Parral	380	112,263	10.7	1 Parral	215	100,203	6.1
2 Matomí	626	184,944	17.5	2 San Fermín	170	111,963	4.8
3 El Canelo	314	134,495	8.8	3 Matomí	232	115,323	6.6
4 San Rafael	199	113,016	5.6	4 Las Blancas	233	99,843	6.6
5 Los Hemes	289	110,382	8.1	5 El Canelo	303	144,365	8.6
6 El Placer	191	88,005	5.4	6 Los Hemes	207	137,045	5.9
7 Zamora	190	109,616	5.3	7 Punta San Fermín	63	65,283	1.8
8 Las Palmitas	724	158,043	20.3	8 Puertecitos	29	42,362	0.8
9 Santa María	654	186,667	18.3	9 Sierra Santa Isabel	100	66,002	2.8
				11 El Huerfanito	108	76,323	3.1
				10 El Placer	193	103,803	5.5
				12 Zamora	180	123,964	5.1
				13 El Volcán	77	61,442	2.2
				14 La Olvidada	108	68,402	3.0
				15 San Judas	329	132,845	9.3
				16 Santa María	132	81,123	3.7
				18 San Luis Gonzaga	97	71,921	2.8
				17 Mesa Prieta	151	99,603	4.3
				19 Valle Calamajué	143	77,922	4.1
				20 Las Arrastras	321	129,751	9.1
				21 Punta Final	59	60,242	1.7
				22 La Josefina	79	51,602	2.2

En cada una de las 22 cuencas definidas, se hizo un análisis independiente con la herramienta Rivertools, obteniendo diversos índices hidrológicos, el orden de Horton-Strahler y estadísticas en la jerarquización de los afluentes. En la Figura 8 se muestran los histogramas de frecuencia de arroyos para cada orden Horton-Strahler (OHS), desde el primer orden que es el más abundante, hasta el sexto, donde sólo existe uno (cuenca 3, Matomí). El patrón de drenaje de una cuenca, está relacionado con la distribución de frecuencias por OHS que, a su vez, depende de la litología y edad de la cuenca.

De los histogramas de la Figura 8, podemos decir que algunas cuencas tienen semejanza en el patrón hidrológico, esto es, que mantienen una densidad de afluentes distribuidos a través del área de captación de la cuenca. El patrón hidrológico asociado a cuencas con una alta densidad de afluentes de bajo orden, es dendrítico, está asociado a una litología uniforme, como la de depósitos sedimentarios o de rocas volcánicas con baja o nula pendiente.

Observando la frecuencia de los cuatro primeros OHS en las 22 cuencas (Figura 8) y haciendo una comparación entre ellas, podemos clasificarlas en tres grupos, aquellas con frecuencias altas (A), medias (B) y bajas (C). A partir del quinto orden, las frecuencias disminuyen drásticamente. En el grupo A están las cuencas con las frecuencias más altas y está compuesto por las cuencas:

A. Parral (1), Matomí (3), El Canelo (5), Las Arrastras (21).

De acuerdo con la fisiografía, el grupo A se conforma principalmente de geoformas con sierras bajas, planicies y valles, que permiten el desarrollo de redes dendríticas y subdendríticas. El grupo B contiene a las cuencas con frecuencias medias e incluye a:

B. San Fermín (2), Los Hemes (6), Sierra Santa Isabel (9), El Placer (10), El Huerfanito (11), Zamora (12), La Olvidada (14), San Judas (15), Santa María (16), Mesa Prieta (17), Valle Calamajué (19), La Josefina (22).

El grupo B cuenta con el mayor número de cuencas con patrones subdendríticos y dendríticos, caracterizadas por la presencia de geoformas de gran rugosidad (serranías de rocas ígneas) y por la presencia de mesas volcánicas basculadas hacia el este, afectadas por fallas normales con orientación NNW a NNE (Martín-Barajas y Stock, 1993).

Las cuencas del grupo C son las que tienen las frecuencias más bajas y se componen de geoformas como planicies, valles, sierras medias y bajas que en su conjunto favorecen la formación de una red hidrológica dendrítica. Las cuencas del grupo C son:

C. Las Blancas (4), Punta San Fermín (7), Puertecitos (8), El Volcán (13), San Luis Gonzaga (18), Punta Final (20).

En la Tabla 2, se presentan índices hidrológicos adicionales calculados por Rivertools para las 22 cuencas y que permiten caracterizarlas con mayor detalle. Los índices que se incluyen son los siguientes:

(O) Orden de Strahler: Orden máximo según la clasificación de Horton-Strahler del cauce principal en la cuenca.

(A) Área de captación del arroyo principal en la cuenca: Es el área del arroyo principal.

(R) Relieve de la cuenca: Diferencia de altura entre los valores máximo y mínimo en la cuenca.

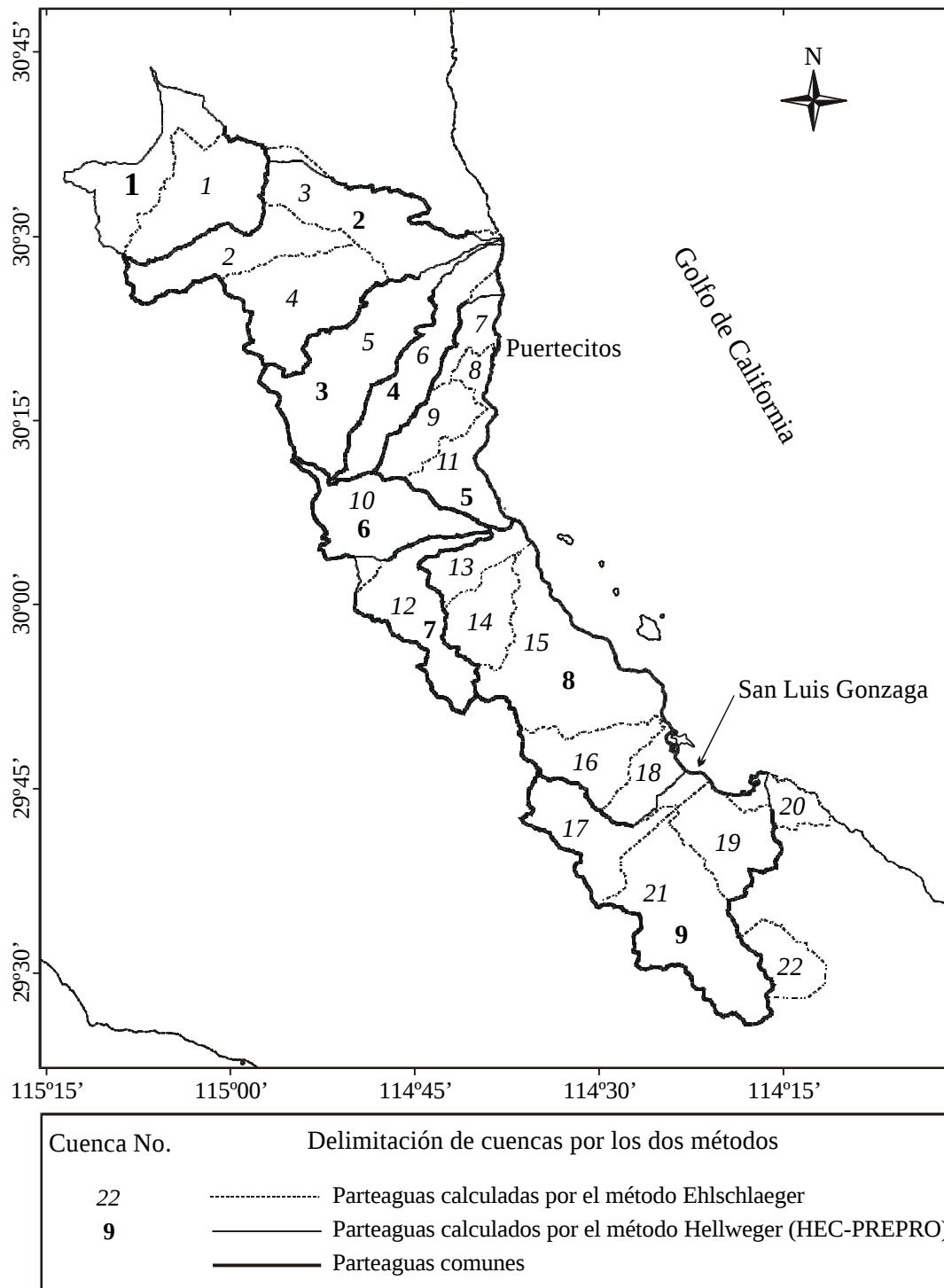


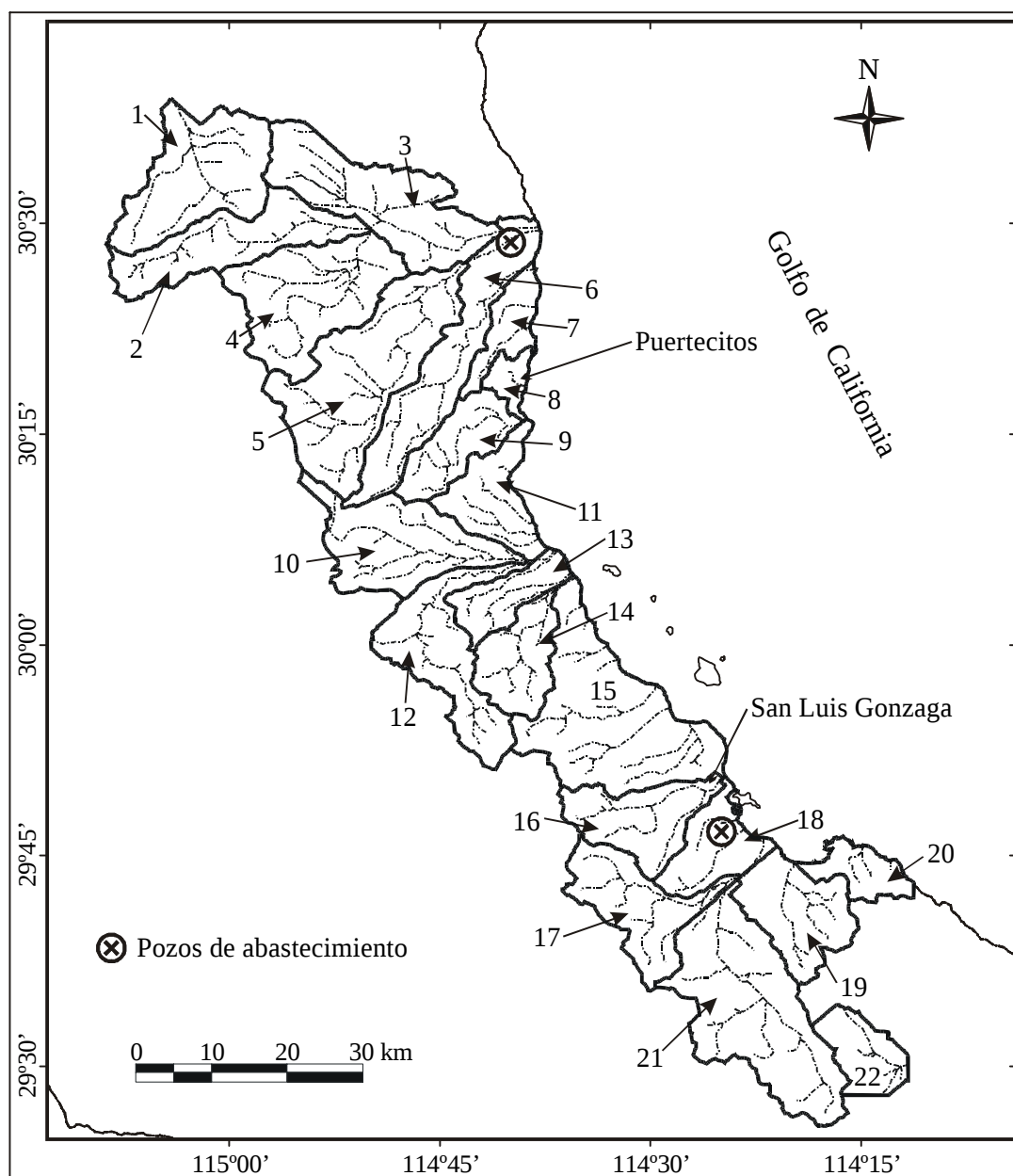
Figura 6. Coincidencias y diferencias en la delimitación de cuencas por los métodos de Hellweger y Ehlschlaeger. Los parteaguas coinciden en la mayoría de los casos, pero existen ligeras diferencias indicadas con diferentes simbologías.

(LT) Longitud total de los canales: Distancia total de la red hidrológica de la cuenca.

(DD) Densidad de drenaje: Cociente de la longitud de los tributarios y el área de drenaje (LT/A).

(DF) Densidad fuente: Cociente del número de tributarios en una red de drenaje (magnitud) y el área de la cuenca.

Del índice O en la Tabla 2, vemos que solamente la cuenca Matomí (3) alcanza un sexto orden con un valor alto en la densidad de drenaje (DD) de 2.9 km^{-1} y una longitud total de arroyos (L) de 611 km. La cuenca con el valor más alto de L, es Las Arrastras(21) con 741.5 km. La cuenca Josefina(22) alcanza el valor máximo de 3.1 km^{-1} en densidad de drenaje.



Cuencas Finales

1) Parral	6) Los Hemes	11) El Huerfanito	16) Sta. María	21) Las Arrastras
2) San Fermín	7) P. San Fermín	12) Zamora	17) Mesa Prieta	22) La Josefina
3) Matomí	8) Puertecitos	13) El Volcán	18) S.L. Gonzaga	
4) Las Blancas	9) S. Santa Isabel	14) La Olvidada	19) V. Calamajué	
5) El Canelo	10) El Placer	15) San Judas	20) Punta Final	

Figura 7. Delineación de las cuencas finales obtenidas por el método Ehlschlaeger indicadas con línea gruesa y la hidrología superficial por el método Hellweger en línea discontinua. Se indican la ubicación de los pozos que abastecen a las localidades de Puertecitos y San Luis Gonzaga.

Cabe destacar que para la zona de estudio, los arroyos de mayor importancia son el arroyo Matomí y el arroyo Santa María, que recargan los acuíferos de los que se abastecen las localidades más pobladas, Puertecitos y San Luis Gonzaga respectivamente. Las cuencas que aportan descargas al abanico

aluvial del arroyo Matomí son: Matomí (3), San Fermín (2), Las Blancas (4), El Canelo (5) y Los Hemes (6) que en su conjunto vierten escurrimientos durante eventos pluviales, como los fenómenos esporádicos que han dañado a la región, como el que suscitó el Huracán Nora en 1997.

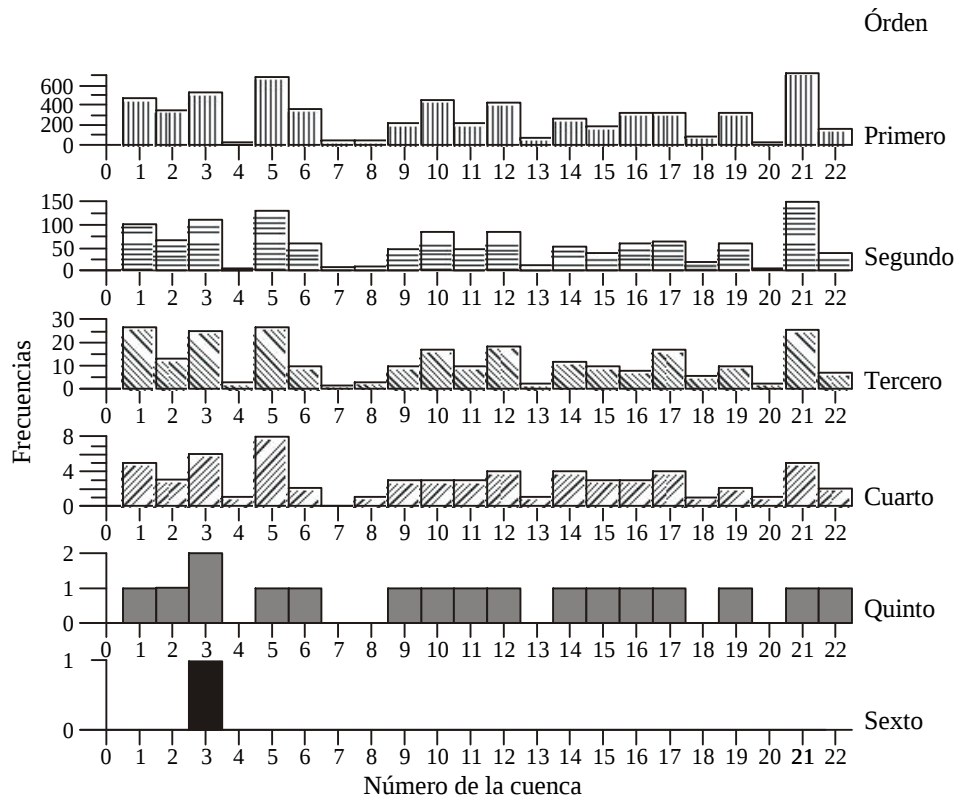


Figura 8. Histogramas de los órdenes Horton-Strahler para las 22 cuencas de la zona de estudio. El número de cuenca indicado en la parte inferior de cada histograma sigue el esquema de la figura 7.

Tabla 2. Índices hidrológicos calculados con Rivertools para cada cuenca.

No.	Nombre	O	A (km ²)	R (km)	LT (km)	DD (km ⁻¹)	DF (km ⁻²)
1	Parral	5	196.7	1.5	542.8	2.8	2.4
2	San Fermín	5	146.5	1.5	294.2	2.0	2.4
3	Matomí	6	209.6	1.0	611.0	2.9	2.5
4	Las Blancas	4	225.0	0.9	108.4	0.5	0.1
5	El Canelo	5	292.4	1.0	576.6	2.0	2.3
6	Los Hemes	5	157.4	0.9	326.0	2.1	2.3
7	Punta San Fermín	3	19.9	0.6	38.7	1.9	1.8
8	Puertecitos	4	12.9	0.4	24.6	1.9	2.4
9	Sierra Santa Isabel	5	94.9	0.7	176.9	1.9	2.3
10	El Placer	5	169.3	1.1	383.1	2.3	2.5
11	El Huerfanito	5	181.5	0.9	368.1	2.0	2.5
12	Zamora	5	24.4	0.5	41.1	1.7	2.1
13	El Volcán	4	33.5	0.5	65.9	2.0	2.0
14	La Olvidada	5	100.0	0.9	191.8	1.9	2.6
15	San Judas	5	69.5	1.0	150.0	2.2	2.7
16	Santa María	5	125.5	1.0	243.6	1.9	2.6
17	Mesa Prieta	5	122.7	1.3	255.8	2.1	2.7
18	San Luis Gonzaga	4	27.4	0.5	79.2	2.9	2.7
19	Valle Calamajué	5	114.3	0.8	322.0	2.8	2.7
20	Punta Final	4	9.0	0.7	19.5	2.2	3.0
21	Las Arrastras	5	290.3	1.3	741.5	2.6	2.5
22	La Josefina	5	60.5	0.6	188.6	3.1	2.6

Para los pozos ubicados en la llanura costera de San Luis Gonzaga, en las proximidades del arroyo Santa María, las cuencas que aportan escurrimientos a los acuíferos son: Santa María (16), Mesa Prieta (17), San Luis Gonzaga (18) y Las Arrastras (21).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al aplicar los métodos de Hellweger y Ehlschlaeger se obtuvieron redes hidrológicas similares a la que INEGI propone en su cartografía escala 1:50,000. Sin embargo, los parteaguas entre cuencas difieren. En la delineación de las cuencas, el método Ehlschlaeger las delimitó con mayor detalle, definiendo parteaguas de 22 cuencas, en comparación con las 9 obtenidas por el método Hellweger. Este último no fragmentó 5 de las 9 cuencas que el método de Ehlschlaeger subdividió en subcuencas como se aprecia en la Figura 6, existiendo concordancia en las cuencas 3, 4, 6 y 7.

Cada método tiene sus ventajas: el método Hellweger realizó un buen trazo del patrón de drenaje, mientras que el de Ehlschlaeger realizó un mejor delineamiento de los parteaguas de las cuencas. Para la caracterización hidrológica, se tomaron las 22 cuencas de Ehlschlaeger y el patrón de drenaje de Hellweger.

A diferencia de los dos métodos anteriores, Rivertools realizó un análisis más minucioso sobre el MDT, extrayendo una red hidrológica más densa, calculando otros índices hidrológicos como la densidad de drenaje, el orden Horton-Strahler, perfiles del relieve a lo largo del cauce de algún arroyo y otros más.

De acuerdo a la distribución de frecuencias en los primeros 4 OHS, se agruparon a las 22 cuencas obtenidas por Ehlschlaeger en tres grupos. En el primer grupo (A) con las frecuencias más altas, están las cuencas influenciadas por rasgos geomorfológicos importantes; por un lado las mesetas basculadas de la provincia volcánica de Puertecitos y el escarpe principal del Golfo de California, además de conformarse de sedimentos superficiales (aluviones), favoreciendo a la generación de afluentes al cauce principal de la cuenca.

El grupo B con las frecuencias medias de OHS, son cuencas que están bajo la influencia de relieves con mayor rugosidad, asociadas a complejos de serranías, condicionando la red dendrítica a una formación menos densa. Por último grupo C, son cuencas que cubren complejos de serranías con abanicos aluviales de menor rugosidad.

Las cuencas más importantes en la parte norte de la zona de estudio son: Matomí (3), San Fermín (2), Las Blancas (4), El Canelo (5) y Los Hemes (6) (Figura 7) que en conjunto suman una área de captación de 1,145 km² que recarga los acuíferos de las llanuras aluviales del arroyo Matomí, donde se ubica el pozo de abastecimiento de Puertecitos.

Al sur, las cuencas importantes son Mesa Prieta (17), San Luis Gonzaga (18), Valle Calamajué (19) y las Arrastras (21) cubriendo una extensión de 523 km², que representa el 15% del área en la zona de estudio, descargando sus escurrimientos al arroyo Santa María y a la planicie costera donde se localiza el pozo que abastece a los pobladores de San Luis Gonzaga.

El patrón de una red hidrológica tiene una relación directa con la litología que atraviesa el cauce. La densidad de drenaje, es un índice que está relacionado con el tipo de relieve, la litología y la edad de la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se desarrolló en las instalaciones del CICESE, bajo el proyecto "Caracterización de recursos naturales de la zona costera entre Puertecitos y Bahía de San Luis Gonzaga, Baja California, apoyada en imágenes multiespectrales de alta resolución". Este proyecto fue financiado por Sistema de Investigación Regional del Mar de Cortés (SIMAC 970107002). Así mismo a la valiosa colaboración de Francisco Núñez Cornú por sus atinados comentarios a la realización de este documento. Finalmente, agradecemos la revisión y sugerencias de un árbitro anónimo y la edición final de las figuras por parte de Víctor Manuel Frías Camacho.

REFERENCIAS

- Berry, J.K., 1997. Spatial reasoning for Effective GIS, GIS world books, Colorado, USA, 208 pp.
- Birkin, M., Clarke, G., Clarke, M., and Wilson, A., 1996. Intelligent GIS localization decision and strategic planning, Geoinformation International, United Kingdom, 292 pp.
- Black, P.E., 1996. Watershed hydrology. Michigan, Ann Arbor Press, 449 pp.
- Bonham-Carter, G.F., 1997. Geographic information systems for geoscientists, Computer methods in the geosciences, Ottawa, Ontario, Canadá. 398 pp.
- Cialella, A.T., R. Dubayah, *et al.*, 1997. Predicting soil drainage class using remotely sensed and digital elevation data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 63(4): p. 171-178.
- Ehlschlaeger, C., 1991. The GRASS/Mathematical link: Developing hydrologic models in geographic information systems interfaced with computer algebra systems, U.S. Army construction engineering research Lab.
- Ehlschlaeger, C., 1989. Using the AT search algorithm to develop hydrologic models from digital elevation data, Processing of international geographic information system (IGIS) symposium '89. Baltimore, MD, p. 275-281.
- ER-Mapper, 1995. Level one training workbook for land information applications, in earth resource mapping Pty. Ltd., ed., Training workbook, 322 pp.
- Felícísimo, A.M., 2000. Modelos digitales del terreno introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales, <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>.
- Fletcher, F.W., 1997. Basic hydrogeologic methods a field and laboratory manual whit microcomputers applications, Pennsylvania, Technomic publishing Co. Inc., 310 pp.
- Franklin, S.E., 1987. Terrain analysis from Dighita; Patterns in Geomorphometry and Landsat MSS Spectral Response, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 53 (1): p. 59-65.
- GRASS, 1999. Geographic Resource and Analysis Support System <http://www.baylor.edu/~grass/>
- Hellweger, F., 1997, HEC-PREPRO: Austin, TX. <http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html>
- Horton, R.E., 1932. Drainage basin characteristics, American Geophysical Union Transactions, p. 350-361.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. Soc. America Bull., 56, 275-370.
- INEGI, 1995. Estudio hidrológico del estado de Baja California, México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 180 pp.
- INEGI, 1982. Carta estatal, Regionalización fisiográfica, México, D.F., Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

- INEGI, 1984. Síntesis geográfica de Baja California, México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 113 pp.
- Jenson, S.K. and J.O. Domínguez, 1988. Extracting topographic structures from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 54(11): p. 1593-1600.
- Leberect, F., 1997-1998. HEC-PREPRO: A GIS preprocessor for lumped parameter hydrologic modeling programs, Austin, Tx, Center for Research in Water Resources. http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/rpt97_8/rpt97_8.html
- Llamas, J., 1989. Hidrología general, principios y aplicaciones, Universidad Autónoma del Estado de México, 626 pp.
- Longley, P. and M. Batty, 1996, Spatial analysis modelling in a GIS environment. New York Geoinformation International, 392 pp.
- López-Blanco, J., 1994. The role of gis-user interactive process in the delineating boundaries of environmental units for land managing: an application in Baja California, México, *GIS/LIS*: p. 545-554.
- Martín-Barajas, A. y J. M. Stock, 1993. Estratigrafía volcánica y características petrológicas de la secuencia volcánica de Puertecitos, NE de Baja California. Transición del vulcanismo de arco a vulcanismo de rift en el golfo. En: *Contribuciones a la tectónica del occidente de México*, Delgado-Argote y Martín-Barajas (eds.), *Monografías de la Unión Geofísica Mexicana*, No. 1, p. 66-89.
- RSI, 1999. RiverTools Version 2.0 User's Guide. Reserach, Systems, Inc.
- Sanjuame, M.S. y Villanueva, R.J.B., 1996. Teoría y métodos en geografía física, Editorial Síntesis, Madrid, 303 pp.
- Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Am. Geophys. Union Trans.*, 38(6), p. 913-920.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, In; *Handbook of Applied Hydrology*, edited by Chow, V.T., New York, McGraw-Hill, p. 39-76.

SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO

GRUPO RESNOM

Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

Apdo. Postal #2732, Ensenada, B.C., 22860, México

E-mail: resnor@cicese.mx

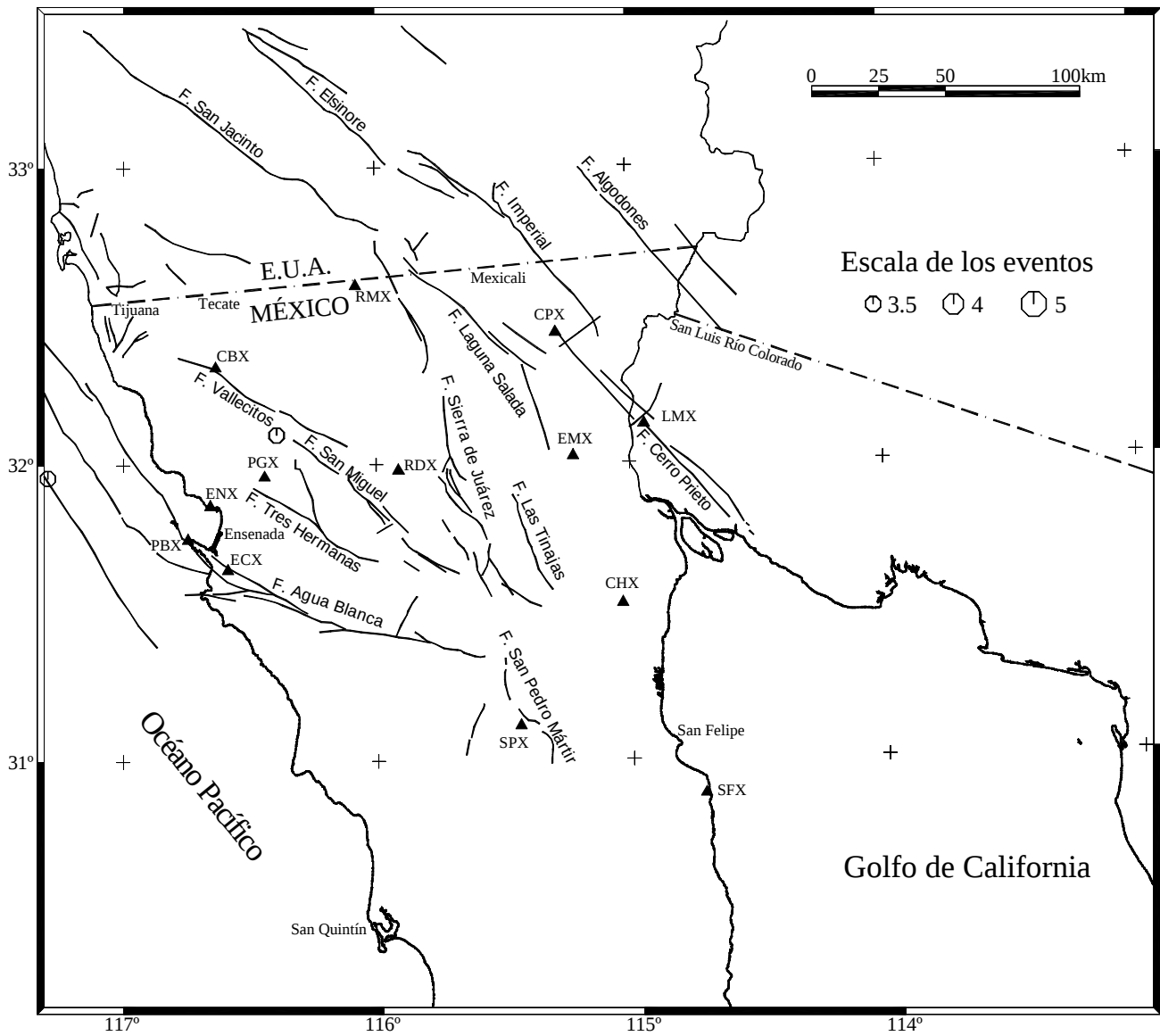
Este Boletín de Información Sísmica tiene como objetivo difundir las localizaciones de los sismos registrados por la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM), en la región norte de Baja California y áreas adyacentes con magnitudes $M \geq 3.5$ en el período comprendido de **Mayo - Agosto de 2001**.

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

REFERENCIAS

- González-G., J.J. y García-A. R., 1986, Escala de magnitud-coda para estaciones sismográficas en el norte de Baja California, Resumen extenso en Memorias de la Reunión 1986 de la Unión Geofísica Mexicana, A.C., p. 399-406.
- Lee, W.H. and Lahr J.C., 1975, HYPO 71 (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, U.S. Geological Survey, Open-file rept., 75-311.
- Nava, F.A. and Brune J.N. 1982, An earthquake-explosion reversed refraction line in the peninsular ranges of Southern California and Baja California, Bulletin of the Seismological Society of America, 72, 1195-1206.
- Reyes A., 1979, Estudio de microsismicidad del sistema de fallas transformadas Imperial-Cerro Prieto, Informe Técnico GEO79-01, CICESE, 114 p.

TIEMPO				COORDENADAS		PROF.	M _p	RMS	NO	REGIÓN
DÍA	HR	MN	SEG	LAT. N	LON. O					
AGOSTO 2001										
07	16	52	50.11	32°06.06'	116°23.60'	4.55	3.6	0.25	16	Localizado a 16 km al norte de PGX. (norte de la Falla San Miguel, sentido en la de vinos Domecq, ubicada en el Valle de Guadalupe, Valles Las Palmas, la Ciudad de Tecate y Ensenada, B.C.).
12	08	57	31.13	31°57.37'	117°19.42'	7.90	3.6	0.26	23	Localizado a 61 km al noroeste de PBX. (frente a las costas de B.C.).



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

DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 2001

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) 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.



Rolando Labacha
Miembro # 999

Reunión Anual 2001
Puerto Vallarta, México
5 al 9 Noviembre del 2001

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

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	Nombre	Institución	División o Instituto	E-mail
1	678	X					Aceves Quesada Fernando	UNAM	Geofísica	
2	20	X	X	X			Aguirre Díaz Gerardo J.	UNAM	UNICIT	gjad@servidor.unam.mx
3	797				X	X	Aguirre González Jorge	UNAM	Ingeniería	jag@culer.ingen.unam.mx
4	16	X	X		X	X	Alaniz Álvarez Susana A.	UNAM	UNICIT	alaniz@servidor.unam.mx
5	271		X		X		Alatorre Zamora Miguel Ángel	UDG	CUCEI	alatorre@quantum.ucting.udg.mx
6	19	X	X		X	X	Alatríste Vilchis David Rey	UNAM	Geofísica	david_alatríste@yahoo.com
7	668	X	X	X	X		Alva Valdivia Luis Manuel	UNAM	Geofísica	lalva@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
8	821					X	Alvarado Cano Rodney R.	UAZ	Escuela de Minas	elcano@elfoco.com
9	4	X	X	X	X		Álvarez Borrego Josué	CICESE	Física Aplicada	josue@cicese.mx
10	3	X	X	X	X	X	Álvarez Borrego Saúl	CICESE	Oceanología	saul@cicese.mx
11	676	X					Álvarez Manilla Alfonso			
12	267	X			X		Álvarez Sánchez Luis G.	CICESE	Oceanología	lalvarez@cicese.mx
13	272				X		Amador Buenrostro Alberto	CICESE	Oceanología	dinmar@cicese.mx
14	8	X	X	X	X	X	Aragón Arreola Manuel de J.	CICESE	Ciencias de la Tierra	maragon@cicese.mx
15	283			X	X		Aranda Gómez Jorge Javier	UNAM	UNICIT	jag@servidor.unam.mx
16	18	X		X	X	X	Arellano Gómez Víctor Manuel	IIE	Geotermia	vag@axp2.iie.org.mx
17	278		X				Arellano Guadarrama José Fco.	CFE	Residencia de Estudios	
18	21		X			X	Armenta Hernández María A.	UNAM	Geofísica	victoria@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
19	13			X			Arredondo Fragozo Jesús	CFE	Geotermia	cfeinf@mail.giga.com
20	814				X	X	Arreygüe Rocha Eleazar	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	arrocha@zeus.ccu.umich.mx
21	827				X		Arteaga Flores Lorenzo	INEGI	Geología	
22	10			X			Arzate Flores Jorge Arturo	UNAM	UNICIT	arzatej@unicit.unam.mx
23	757				X		Ávila Serrano Guillermo E.	UABC	Ciencias Marinas	gavila@bahia.ens.uabc.mx
24	287	X	X	X	X	X	Axen Gary	UCLA	Earth and Space Sciences	gaxen@ess.ucla.edu
25	831					X	Backstrom Lars	UNAM		backstrom_lars@hotmail.com
26	296	X	X	X	X	X	Bandy William L.	UNAM	Geofísica	bandy@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
27	28	X	X	X	X	X	Barajas Díaz Pablo	ITESO	Hábitat y Desarrollo Urbano	
28	29					X	Barradas Miranda Víctor Luis	UNAM	Ecología	vbarrada@miranda.ecologia.unam.mx
29	30	X		X	X	X	Barragán Reyes Rosa María	IIE	Geotermia	rmb@iie.org.mx
30	802				X		Bautista Belmonte Aarón	IPN	CIIDIR OAXACA	sjimenez@vmredipn.ipn.mx
31	701			X		X	Bautista Romero José Jesús	CIBNOR	Impacto Ambiental y Cambio Climático	jbauro@cibnor.mx
32	305		X				Beier Martín Emilio José	CICESE	Oceanología	ebeier@cicese.mx
33	31					X	Belmonte Jiménez Salvador	IPN	CIIDIR	sbelmont@prodigy.net.mx
34	26	X	X				Bermúdez Angulo María Luisa	UNAM	Ingeniería	maria@gea.ingen.unam.mx
35	461			X			Bermúdez Juárez María Blanca	BUAP	Ciencias Físico Matemáticas	bbj@xanum.uam.mx
36	711		X				Bernal Franco Gladys	UABC	Investigaciones Oceanológicas	gbernal@bahia.ens.uabc.mx
37	41			X		X	Birkle Peter	IIE	Geotermia	birkle@iie.org.mx
38	37	X	X	X	X	X	Bohnel Norbert Harald	UNAM	UNICIT	harald@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
39	34		X				Brasseea Ochoa Jesús	CICESE	Ciencias de la Tierra	jbrasseea@cicese.mx
40	27	X		X	X		Bravo Cabrera José Luis	UNAM	Geofísica	jbravo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
41	24	X		X	X		Brito Castillo Luis	CIBNOR	Unidad Guaymas	lbrito@cibnor.mx
42	32	X	X				Buendía Carrera Enrique	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	
43	632	X	X	X	X	X	Bulgakov Sergey N.	UDG	Astronomía y Meteorología	sbulgano@udgserv.cencar.udg.mx
44	536	X	X				Burrola Sánchez María Sara	CIBNOR	Zona Costa	sburrola@cibnor.mx
45	324		X	X			Caballero Miranda Cecilia	UNAM	Geofísica	maga@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
46	704			X			Cabral Cano Enrique	UNAM	Geofísica	ecabral@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
47	51		X	X	X	X	Calmus Thierry	UNAM	Geología	tcalmus@servidor.unam.mx
48	246		X	X	X	X	Campa Uranga María Fernanda	UAEG	Ciencias de la Tierra	mfernanda@data.net.mx
49	747					X	Campos Emiliano	UNAM	Ingeniería en Ciencias de la Tierra	camposm@servidor.unam.mx
50	325	X	X		X	X	Campos Enriquez Oscar	UNAM	Geofísica	ocampos@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
51	480			X			Candela Pérez Julio	CICESE	Oceanología	jcandela@cicese.mx
52	581	X	X	X	X	X	Cañón Tapia Edgardo	CICESE	Ciencias de la Tierra	ecanon@cicese.mx
53	52	X	X	X	X	X	Carbajal Pérez Noel	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	noelc@ola.icmyl.unam.mx
54	557	X					Carbonell Ramón	CSIC	Ciencias de la Tierra	rcarbonell@ija.csic.es
55	54		X				Carcone José M.		Osservatorio Geofisica Sperimentale	
56	321	X				X	Cárdenas Soto Martín	UNAM	Geofísica	martinc@servidor.unam.mx
57	331	X			X		Carrasco Núñez Gerardo	UNAM	UNICIT/Geología	gerardoc@unicit.unam.mx
58	330	X	X		X		Carreño Ana Luisa	UNAM	Geología	anacar@servidor.unam.mx
59	694			X			Carrillo García Verónica Karina	CENAM	Óptica	vcarrill@cenam.mx
60	663	X	X	X			Castrejón González Israel	UAEG	Ciencias de la Tierra	
61	541	X		X	X		Castrejón Pineda Héctor R.	UNAM	Geofísica	castrejo@sacbe.fi-a.unam.mx
62	47	X	X	X	X	X	Castro Escamilla Raúl	CICESE	Ciencias de la Tierra	raul@cicese.mx
63	45	X		X			Castro Gorea Renato	UNAM	Geofísica	
64	49						Castro Leyva Teresa	IMP	Exploración y Producción	
65	53		X		X	X	Cerca Martínez Luis Mariano	UNAM	UNICIT/Geología	mcerca@unicit.unam.mx
66	832					X	Cervantes Sánchez Alfredo	UAM	Agronomía y Ciencias	alcervan@uam.ac.uat.mx
67	664	X	X				Charre Meza Adolfo Salomé	IMP	Delegación Zona Marina	acharre@yahoo.com
68	65				X		Chávez Cabello Gabriel	UANL	Ciencias de la Tierra	gachavez@ccr.dsi.uanl.mx
69	68		X	X	X	X	Chávez Pérez Sergio			
70	284			X	X	X	Choumiline Evgueni	IPN	CICIMAR	eshumili@vmredipn.ipn.mx
71	624	X					Cifuentes Nava Gerardo	UNAM	Geofísica	gercife@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
72	726		X	X	X	X	Cisneros Stoianowski Gerardo	SILICON GRAPHICS		gerardo@cray.com
73	805				X	X	Concha Dimas Aline	U NEVADA	Mackay School of Mines	aline@scs.unr.edu
74	736			X			Contreras Pérez Juan	CICESE	Ciencias de la Tierra	juanc@cicese.mx
75	558	X	X	X		X	Córdoba Barba Diego	UCM	Ciencias de la Tierra	dcordoba@eucmos.sim.ucm.es
76	683		X	X			Corona Chávez Pedro	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	pcorona@zeus.ccu.umich.mx
77	58	X					Corona Ruiz Martín	CFE	Campo Geotérmico Cerro Prieto	
78	566	X					Correa Mora Francisco	UNAM	Geofísica	pancho@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001 Continuación

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
1	678	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
2	20	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
3	797	Nardo #2, Xaltocán	Xochimilco	México	D.F.	México	16090	70-472
4	16	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
5	271	Prol. El Mediero #517 Mod. F-201	San Gilberto	Zapopan	Jal.	México	45150	
6	19	Temaca #6241	Aragón Inguarán	México	D.F.	México	07820	
7	668	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
8	821	Hacienda el Cuidado #11	Fracc. Nuevo Bernárdez	Guadalupe	Zac.	México	98600	
9	4	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
10	3	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
11	676	Circuito Jardín #356-3	Alamos 3ª	Querétaro	Qro.	México	76160	
12	267	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
13	272	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
14	8	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
15	283	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
16	18	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
17	278	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	México	21100	3636
18	21	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
19	13	Alejandro Volta #655	Electricistas	Morelia	Mich.	México	58290	
20	814	Santiago Tapia #403, Edificio "U"		Ciudad Universitaria	Morelia	Mich.	58000	
21	827	Salto de los Salado #409	Fracc. Ojo Caliente	Aguascalientes	Ag.	México	20190	
22	10	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
23	757	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	
24	287	UCLA - Box 951567		Los Angeles	CA.	USA	90095-1567	
25	831	Verdi #412	León Moderno	León	Gto.	México	37480	
26	296	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
27	28	Periférico Sur #8585		Tlaquepaque	Jal.	México	45090	31-175
28	29	Apdo. Postal No. 70-275	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	70-275
29	30	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
30	802	Meza de Anahuac #17-A	Volcanes	Oaxaca	Oax.	México		
31	701	Lic. Primo Verdad #206, Depto. 7	Zona Centro	La Paz	B.C.S.	México		128
32	305	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
33	31	Hornos #1003	Indeco, Xoxo	Oaxaca	Oaxaca	México	71230	
34	26	Calle 128A #29-15 Depto. 403		Santa Fé de Bogotá	Bogotá	Colombia		70472
35	461	Priv. 29 Ote. #1816	Mirador	Puebla	Pue.	México	72540	
36	711	Villa de San Miguel #36	San Miguel	Ensenada	B.C.	México	22760	
37	41	Apdo. Postal #1-475		Cuernavaca	Mor.	México	62001	1-475
38	37	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
39	34	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
40	27	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
41	24	Laureles #5-A	Loma Dorada	Guaymas	Son.	México	85465	349
42	32	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
43	632	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México	44100	
44	536	Km 2.35, Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
45	324	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
46	704	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
47	51	Apdo. Postal #1039	Centro	Hermosillo	Son.	México	83000	1039
48	246	Hacienda Xajay #426	Hda. Echegaray	Naucalpan	EdoMéx	México	53300	
49	747	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
50	325	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
51	480	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
52	581	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
53	52	Apdo. Postal #811		Mazatlán	Sin.	México	82000	811
54	557	Lluís Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	08028	
55	54	P.O. BOX 2011		Opicina	Trieste	Italy	34016	2011
56	321	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	70-472
57	331	Apdo. Postal #1-742	Centro	Querétaro	Qro.	México	76001	1-742
58	330	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
59	694	Cerrada Heriberto Jara #18	F. V. Querétaro	Querétaro	Qro.	México	76000	
60	663	Ex-Hacienda de San Juan Bautista	Taxco el Viejo	Taxco	Gro.	México	40200	197
61	541	10 Ote. Manzana 33, Lote 6	Isidro Fabela	México	D.F.	México	14030	
62	47	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
63	45	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
64	49	Apdo. Postal #224	Oficina Correo	Cd. del Carmen	Camp.	México	24101	224
65	53	Apdo. Postal #1-742	Centro	Querétaro	Qro.	México	76001	1-742
66	832	Matamoros e/ 8 y 9	Centro	Cd. Victoria	Tamp.	México	87000	
67	664	Av. Universidad #12	Col. Petrolera	Cd. del Carmen	Camp.	México	24180	
68	65	Km. 8, Carret. Linares-Cerro Prieto	Hda. de Guadalupe	Linares	N.L.	México	67700	104
69	68	Shelland #348	Cosmopolita	Azcapotzalco	México, D.F.	México	02670	
70	284	Apdo. Postal #592		La Paz	B.C.S.	México	23000	592
71	624	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
72	726	Av. Vasco de Quiroga #3000	Santa Fé	México	D.F.	México	01210	
73	805	Mackay School of Mines/172		Reno	Nevada	USA	89557-0138	
74	736	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
75	558	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
76	683	Edif. U, Universidad Michoacana	Ciudad Universitaria	Morelia	Mich.	México	58070	
77	58	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	México	21100	
78	566	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	Nombre	Institución	División o Instituto	E-mail
79	723		X	X		X	Cortes Cortés Abel	UCOL	Observatorio Vulcanológico	cortes@cgic.ucol.mx
80	699			X	X		Cruz Atienza Víctor Manuel	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	victor@olin.igeofcu.unam.mx
81	59	X	X	X	X	X	Cruz Castillo Manuel	IMP	Gerencia de Geociencias	mcruzo@www.imp.mx
82	813				X		Cruz Orozco Rodolfo	UABCS		rroca@balandra.uabcs.mx
83	309		X				Cuenca Julio César	UNAM	Ingeniería	julio@gea.ingen.unam.mx
84	686		X				Cupul Magaña Amílcar Levi	UDG	Recursos Naturales	cmagana@vallarta.cuc.udg.mx
85	559	X	X	X			Dañobeltia Juan José	CSIC	Ciencias de la Tierra	jdanobeltia@ija.csic.es
86	342	X				X	Davydova Belifskaya Valentina	UDG	Astronomía y Meteorología	vdavidov@udgserv.cencar.udg.mx
87	69	X	X	X	X	X	De Cserna Gombos Zoltan	UNAM	Geología	
88	72		X	X			De la Cruz Reyna Servando	UNAM	Geofísica	sdelacr@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
89	73				X		De León Gómez Héctor	UANL	Ciencias de la Tierra	hdeleon@ccr.dsi.uanl.mx
90	784			X	X		Del Río Jesús Antonio	UNAM	CIE	antonio@servidor.unam.mx
91	82	X	X	X	X	X	Delgado Argote Luis Alberto	CICESE	Ciencias de la Tierra	ldelgado@cicese.mx
92	75	X		X			Delgado Contreras Juan A.	CICESE	Oceanología	jdelgado@cicese.mx
93	338		X	X	X		Delgado Granados Hugo	UNAM	Geofísica	hugo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
94	688		X	X	X		Díaz Navarro Ricardo	IMP	Exploración Geofísica	ricky@orion.expl.imp.mx
95	454	X	X	X	X		Diego Orozco Arturo	IMP	Exploración y Producción	arturo@orion.expl.imp.mx
96	84			X		X	Dominguez Reyes Tonatiuh	UCOL	Ciencias del Ambiente	tonatiuh@ucol.mx
97	341	X	X	X	X	X	Dworak Robinson Juan A.	SEP	Tecnológico del Mar 03	jdworak@cicese.mx
98	573	X					Elias Herrera Mariano	UNAM	Geología	elias@servidor.unam.mx
99	580				X	X	Escalona Alcázar Felipe de J.	IEMAZ	Ordenamiento Ecológico	fescalona@hotmail.com
100	343			X			Escobar Sánchez Alejandra	UANL	Ciencias de la Tierra	
101	86	X	X	X	X		Esparza Hernández Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	fesparz@cicese.mx
102	87	X	X	X	X	X	Espindola Castro Juan Manuel	UNAM	Geofísica	jme@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
103	88	X	X	X	X		Espinosa Cardena Juan Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	jespinos@cicese.mx
104	92	X			X		Fabriel Beauville Hubert	BRGM	Geophysics and Geological Imagery	h.fabriel@brgm.fr
105	346	X	X	X	X	X	Farreras Sanz Salvador	CICESE	Oceanología	sfarrera@cicese.mx
106	91	X	X		X	X	Ferrari Pedraglio Luca	UNAM	UNICIT	luca@unicit.unam.mx
107	137	X	X	X	X	X	Filonov Anatoly E.	UDG	CUCEI	afilonov@udgserv.cencar.udg.mx
108	97	X	X				Fletcher John M.	CICESE	Ciencias de la Tierra	jfletche@cicese.mx
109	679	X					Flores Cruz Fernando			
110	803				X		Flores Estrella Hortencia	UNAM	Ingeniería	flori@data.net.mx
111	348	X	X	X	X	X	Flores Luna Carlos Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	cflores@cicese.mx
112	817					X	Flores Maciel Roberto	UDG	CUCBA	romaciel@cucba.udg.mx
113	675	X	X	X	X		Forsythe Lance	CICESE	Ciencias de la Tierra	forsythe@cicese.mx
114	96	X	X	X	X	X	Frez Cárdenas José	CICESE	Ciencias de la Tierra	jofrez@cicese.mx
115	680	X	X	X	X	X	Fuentes Vargaz Carlos	UNAM	Geofísica	carlos@olin.igeofcu.unam.mx
116	108	X	X	X	X	X	Galicia Pérez Marco Antonio	UCOL	CEUNIVO	galicia@volcan.ucol.mx
117	578	X	X				Gallegos Cruz Apolonio	IPN	Ciencias Básicas	
118	755				X		Garatuza Payan Jaime	ITSON	Ingeniería en Admon. de Rec. H.	garatuza@yaqui.itson.mx
119	101	X	X	X	X	X	García Abdeslem Juan	CICESE	Ciencias de la Tierra	lgarcia@cicese.mx
120	104	X	X	X	X	X	García Arthur Rosalía	CICESE	Ciencias de la Tierra	arthur@cicese.mx
121	372				X		García Córdova Joaquín	CICESE	Oceanología	joaquin@cicese.mx
122	819					X	García Cueto Rafael	UABC	Ingeniería	rcueto@iing.mx1.uabc.mx
123	820					X	García Daniel	UANL		
124	368	X	X	X	X	X	García García Fernando	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	dire@ccaunam.atmosfcu.unam.mx
125	537			X			García Gutiérrez Alfonso	IIE	Fuentes Alternas de Energía	aggarcia@iie.org.mx
126	373				X	X	García y Barragán Juan Carlos	UNAM	Geología	jcarlosg@servidor.unam.mx
127	358		X	X	X	X	Garduño López Rene	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	
128	100	X	X		X		Garduño Monroy Victor Hugo	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	vgmonroy@zeus.ccu.umich.mx
129	650			X			Garza Rocha Daniel	UANL	Ciencias de la Tierra	dagarza@ccr.dsi.uanl.mx
130	724		X	X	X		Gavilanes Ruiz Juan Carlos	UCOL	Observatorio Vulcanológico	gavilan@cgic.ucol.mx
131	119	X	X	X	X	X	Gaviño Rodríguez Juan Heberto	UCOL	Oceanografía Física	gavinho@volcan.ucol.mx
132	366		X	X	X		Gay García Carlos	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	cgay@servidor.unam.mx
133	122	X	X	X	X	X	Glowacka Ewa	CICESE	Ciencias de la Tierra	glowacka@cicese.mx
134	353				X		Gómez González Juan Martín	UNAM	UNICIT	gomez@conin.unicit.unam.mx
135	811				X	X	Gómez López David Roberto			dgomez@xal.megared.net.mx
136	121	X	X	X	X	X	Gómez Treviño Enrique	CICESE	Ciencias de la Tierra	egomez@cicese.mx
137	112	X	X	X	X	X	Gómez Valdés José	CICESE	Oceanología	lgomez@cicese.mx
138	672	X	X	X	X	X	González Fernández Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	mindundi@cicese.mx
139	113	X	X		X		González García José Javier	CICESE	Ciencias de la Tierra	javier@cicese.mx
140	774				X	X	González Ibarra Alfonso	IMP	Gerencia de Prospección Geofísica	agibarra@imp.mx
141	833					X	González León Carlos	UNAM	Geología	
142	118		X				González Morales Carlos A.	CICESE	Ciencias de la Tierra	cgonzale@cicese.mx
143	99		X		X		González Morán Tomás	UNAM	Geofísica	tglez@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
144	807				X		González Yajimovich Oscar	UABC	Geología	
145	690		X				Gorsline Donn S.	USC	Earth Sciences	gorsline@earth.usc.edu
146	370	X	X		X		Graef Ziehl Federico	CICESE	Oceanología	fgraef@cicese.mx
147	388	X	X				Grajales Nishimura Manuel	IMP	Exploración Geofísica	grajales@geologia.unam.mx
148	570	X	X			X	Green Ruiz María de Jesús	OLD DOMINION U.	Sediment Dynamics Laboratory	mxgreen@odu.edu
149	111	X	X				Guerrero García José C.	UNAM	Geología	josec@servidor.unam.mx
150	110			X			Guerrero Guadarrama José Luis	CFE	Geotermia	geoexplo@mich1.telnet.net.mx
151	360				X		Guzmán Speziale Marco	UNAM	UNICIT	marco@olin.igeofcu.unam.mx
152	126	X					Helenes Escamilla Javier	CICESE	Ciencias de la Tierra	helenes@cicese.mx
153	125		X	X	X	X	Herguera García Juan Carlos	CICESE	Oceanología	herguera@cicese.mx
154	572	X	X	X	X	X	Hernández Bernal María del Sol	UNAM	Geología	msol@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
155	582	X					Hernández Guerrero Joel	PEMEX	Integración e Interpretación	zyanya@hotmail.com
156	564	X					Hernández Treviño Teodoro	UNAM	Geofísica	tht@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001 Continuación

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
79	723	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	
80	699	5 de Mayo #117	Tepepan	México	D.F.	México	16020	
81	59	Av. Volcán Ferdinandina #92	El Mirador	México	D.F.	México	14449	
82	813	Carret. al Sur Km 5.5		La Paz	B.C.S.	México	23080	
83	309	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
84	686	Av. Universidad #203	Delegación Ixtapa	Puerto Vallarta	Jal.	México		
85	559	Lluís Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	08028	
86	342	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México	44100	
87	69	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
88	72	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
89	73	Km. 8, Carret. Linares-Cerro Prieto	Hda. de Guadalupe	Linares	N.L.	México	67700	104
90	784	Apdo. Postal #34		Temixco	Mor.	México	62580	34
91	82	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
92	75	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
93	338	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
94	688	Hacienda Ajuluapan #107	Hda. Echegaray	Nauclaplan	EdoMéx	México	53310	
95	454	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	07730	
96	84	Av. Universidad #333		Colima	Col.	México		
97	341	Km 4, Carret. a Varadero Nacional	Sector Playitas	Guaymas	Son.	México	85425	742
98	573	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
99	580	Bld. Lopez Portillo #30, Interior "C"	Centro	Guadalupe	Zac.	México	98600	
100	343	Bld. Fundadores, Manzana 1, C-4	Fundadores	Saltillo	Coah.	México	25015	
101	86	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
102	87	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
103	88	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
104	92	117, Avenue de Luminy B.P. 167			Marseille cedex 9	France	13276	
105	346	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
106	91	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
107	137	Rio Aulán #2180-34	Altas	Guadalajara	Jal.	México	44421	407
108	97	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
109	679	Antonia Nava s/n Esc. Pri. Makarenko	Carmen Serdán	México	D.F.	México	04910	
110	803	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
111	348	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
112	817	Juárez #975	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México		
113	675	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
114	96	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
115	680	Plaza del Carmen #69	Plazas del Sol, 2a Sección	Querétaro	Qro.	México	76090	
116	108	Apdo. Postal #275	Zona Centro	Manzanillo	Col.	México	28200	275
117	578	Té #950	Iztacalco	México	D.F.	México	08400	
118	755	5 de Febrero # 818 Sur	Centro	Cd. Obregón	Son.	México		
119	101	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
120	104	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
121	372	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
122	819	Bld. Benito Juárez s/n	Insurgentes Este	Mexicali	B.C.	México	21280	
123	820	Km 8, Carret. Cerro Prieto		Linares	N.L.	México	67700	
124	368	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
125	537	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
126	373	L.D. Colosio y Madrid s/n	Campus Unison	Hermosillo	Son.	México	83000	1039
127	358	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
128	100	Av. Rey Tariaturi #374-D	Villabell	Morelia	Mich.	México	58090	
129	650	Km. 8, Carret. Linares-Cerro Prieto	Hda. de Guadalupe	Linares	N.L.	México	67700	104
130	724	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	
131	119	Apdo. Postal #275	Zona Centro	Manzanillo	Col.	México	28200	275
132	366	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
133	122	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
134	353	Apdo. Postal #1-742		Querétaro	Qro.	México	76001	1-742
135	811	Mendez Alcalde No. 3	Salud	Xalapa	Ver.	México	91070	
136	121	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
137	112	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
138	672	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
139	113	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
140	774	Magdalena #410, Depto. 303	Del Valle	México	D.F.	México	03100	14-805
141	833	Apdo. Postal #1039	Centro	Hermosillo	Son.	México	83000	1039
142	118	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
143	99	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
144	807	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	453
145	690			Los Angeles	CA.	USA	90089-0740	
146	370	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
147	388	Tokio #921-202B	Portales	México	D.F.	México	3300	
148	570	4600 Elkhorn Ave		Norfolk	VA	USA	23529	
149	111	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
150	110	Alejandro Volta #655	Electricistas	Morelia	Mich.	México	58290	
151	360	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
152	126	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
153	125	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
154	572	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
155	582	Av. Sitio Grande #2000 Edif. 3 Piso 1	Fracc. Carrizal	Villahermosa	Tab.	México	86035	270
156	564	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	Nombre	Institución	División o Instituto	E-mail
157	739					X	Herrera Aztegui Luis Eduardo	UNAM	Geofísica	electron@altavista.com
158	689		X				Herrera Charles Roberto	IPN	CITEDI	charles@citedi.mx
159	378					X	Herrera Revilla Ismael	UNAM	Geofísica	iherrera@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
160	387		X	X	X		Hinojosa Corona Alejandro	CICESE	Ciencias de la Tierra	alhinc@cicese.mx
161	386			X	X	X	Huerta López Carlos I.	CICESE	Ciencias de la Tierra	huerta@cicese.mx
162	669	X					Hughes Simon	UNAM	Geofísica	shuhes@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
163	127	X	X	X	X	X	Huidobro González Adolfo	UNAM	Ingeniería	lermo@intl.iingen.unam.mx
164	128		X				Huizar Álvarez Rafael	UNAM	Geología	huizar@servidor.unam.mx
165	719		X	X	X	X	Hutton Wallis	UNAM	Geofísica	wallis@geology.wisc.edu
166	700			X			Iglesias Mendoza Arturo	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	amg@tornado.com.mx
167	722		X				Israde Alcántara Isabel	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	aisrade@zeus.ccu.umich.mx
168	131		X	X			Jacques Ayala Cesar	UNAM	Geología	jacques@servidor.unam.mx
169	130		X				Jáuregui Ostos Ernesto	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	ejos@ccaunam.atmosfscu.unam.mx
170	735			X			Jiménez Sergio	UABC		
171	133	X					Jiménez Illescas Ángel R.	IPN	CICIMAR	ajimenez@ipn9021.ipn.mx
172	132	X					Jiménez Jiménez Zenón	UNAM	Geofísica	zenon@igeofcu.unam.mx
173	752				X	X	Jödicke Hartmut	U. MUNSTER	Institu für Geophysik	jodicke@earth.uni-muenster.de
174	395		X	X			Juárez Sánchez Faustino	UNAM	Geofísica	fino@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
175	153			X			Keller Torres Jaime	UNAM	Ciencias Básicas	keller@servidor.unam.mx
176	829					X	Kepile Jhon Duncan	UNAM	Geología	duncan@servidor.unam.mx
177	238			X			Koshevaya Svetlana S.	INAOE		svetleana@tonali.inaoep.mx
178	135	X	X	X	X	X	Kostoglodov Vladimir	UNAM	Geofísica	vladimir@ollin.igeofcu.unam.mx
179	136	X					Kouzoub Nikolai	UANL	Ciencias de la Tierra	nkouzoub@ccr.dsi.uanl.mx
180	655	X		X	X	X	Kuraica Ogie	KINEMETRICS	Sales Manager	sales@kmi.com
181	61			X			Lara Lara Rubén	CICESE	Oceanología	rlara@cicese.mx
182	598	X					Lares Reyes María Lucila	CICESE	Oceanología	llares@cicese.mx
183	141	X	X	X		X	Lavin Peregrina Miguel F.	CICESE	Oceanología	mlavin@cicese.mx
184	399	X	X				Lázaro Mancilla Octavio	CICESE	Ciencias de la Tierra	olazaro@cicese.mx
185	483	X	X	X	X		Ledesma Vázquez Jorge	UABC	Geología	ledesma@bahia.ens.uabc.mx
186	404	X		X	X		Lermo Samaniego Javier Fco.	UNAM	Ingeniería	lermo@intl.iingen.unam.mx
187	828					X	Lesser Luis E.	ARIZONA STATE U.	Civil and Environmental Engineering	lesser@asu.edu
188	602	X					Lira Herrera Héctor	CFE	Residencia General de Cerro Prieto	
189	818					X	Lizarraga Celaya Carlos	UNISON	Física	carlos@fisica.uson.mx
190	730		X	X			Lluch Cota Daniel Bernardo	CIBNOR	Geología Marina	dblluch@cibnor.mx
191	731		X				Lluch Cota Salvador Emilio	CIBNOR	Geología Marina	siluch@cibnor.mx
192	273		X				Lobato Sánchez René	IMTA	Hidrología	rlobato@tajin.imta.mx
193	681			X			López Loera Héctor	UNAM	Geofísica	lopezdes@col1.telamex.net.mx
194	146	X			X		López Mariscal Juan Manuel	CICESE	Oceanología	malopez@cicese.mx
195	691			X			López Martínez Juana	CIBNOR	Evaluación y Manejo de Recursos	jlopez@cibnor.mx
196	145	X	X	X	X	X	López Martínez Margarita	CICESE	Ciencias de la Tierra	marlopez@cicese.mx
197	822					X	López Pineda Leobardo	CESUS	Geociencias	odranoe@yahoo.com
198	398	X					Lozada Zumaeta Manuel	IMP	Exploración Geofísica	manuel@orion.expl.imp.mx
199	615	X	X			X	Machain Castillo María Luisa	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	machain@ola.icml.unam.mx
200	154					X	Macías Vázquez José Luis	UNAM	Geofísica	macias@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
201	653	X					Magaña Rueda Víctor Orlando	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	victor@belenos.atmosfscu.unam.mx
202	542			X	X	X	Makarov Vyacheslav G.	IPN	CICIMAR	smakarov@redipn.ipn.mx
203	810				X		Malishewsky Peter G.	UNIVERSITAET JENA	Institut fuer Geowissenschaften	mall@geo.uni.jena.de
204	175	X					Marinone Moschetto Silvio G.L.	CICESE	Oceanología	marinone@cicese.mx
205	157	X	X	X	X	X	Márquez Azúa Bertha	UDG	Estudios Históricos y Humanos	bmarquez@udgserv.cencar.udg.mx
206	823					X	Márquez García Antonio Zollo	UAM	Ciencias Básicas y Salud	azmg@xanum.uam.mx
207	677	X	X				Márquez González Alvaro	UCM	Petrología y Geoquímica	alvaromg@eucmax.sim.ucm.es
208	319			X			Marshall Kyle Jeffrey	FRANKLIN MARSHALL C	Keck Institute	j_marshall@fandm.edu
209	673	X	X	X	X	X	Marín Aienza Beatriz	CICESE	Ciencias de la Tierra	mindundi@cicese.mx
210	2	X	X	X	X		Marín Barajas Arturo	CICESE	Ciencias de la Tierra	amarin@cicese.mx
211	748				X		Martínez Díaz de León Asdrúbal	UABC	Investigaciones Oceanológicas	asdrubal@faro.ens.uabc.mx
212	408	X	X	X	X		Martínez García Mario	CIBNOR	Dirección General	mmartine@cibnor.mx
213	815					X	Martínez Hernández Enrique	UNAM	Geología	emar@servidor.unam.mx
214	156	X					Martínez Serrano Raymundo G.	UNAM	Geofísica	rms@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
215	630	X				X	Martínez Zatarain Alejandro	UDG	Astronomía y Meteorología	amartine@udgserv.cencar.udg.mx
216	161					X	Martiny Kramer Bárbara	UNAM	Geología	martiny@servidor.unam.mx
217	808					X	Mascareño Gastelum Ramón A.	UAS	Ciencias de la Tierra	alejandro_trami@hotmail.com
218	667	X	X	X	X	X	Matthes Miguel	APASCO	Ingeniería	
219	697			X			Mazariegos Alfaro Rubén A.	U TEXAS PAN AMERICAN	Physics and Geology	rubenm@panam.edu
220	436	X					Mejía Trejo Adán	UABC	Investigaciones Oceanológicas	amejia@bahia.ens.uabc.mx
221	164	X	X	X	X		Méndez Delgado Sostenes	UANL	Ciencias de la Tierra	somendez@ccr.dsi.uanl.mx
222	427			X		X	Mendieta Jiménez Francisco J.	CICESE	Dirección General	jmendiet@cicese.mx
223	631		X				Meulenert Peña Ángel R.	UDG	Astronomía y Meteorología	ameulene@udgserv.cencar.udg.mx
224	95	X					Michaud Francois	U PIERRE ET M. CURIE	Laboratoire de Géodynamique	micho@ccrv.obs-vlfr.fr
225	709			X			Milan Valdés Marcos	IPN	ESIA	milan@mexico.com
226	829					X	Molina Roberto	UNAM	UNICIT	luca@unicit.unam.mx
227	167	X	X		X		Montesinos Silva Genaro	UGTO	Ciencias Agrícolas	genaros@dulcinea.ugto.mx
228	414		X	X		X	Monzón Cesar Octavio	UDG	CUCEI	monzon@cupei.udg.mx
229	450			X			Morales Blake Alejandro	UCOL	Ciencias Marinas	mblake@volcan.ucol.mx
230	421	X	X			X	Morán Zenteno Dante Jaime	UNAM	Geología	dante@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
231	173	X	X	X	X	X	Morandi Soana María Teresa	U. DE LOS ANDES	Laboratorio de Geofísica	maria@ciens.ula.ve
232	619	X	X		X	X	Mortera Gutiérrez Carlos A.	UNAM	Geofísica	carlosm@ollin.igeofcu.unam.mx
233	608	X					Moya Juan Carlos	U. COLORADO	Geological Sciences	moya@creep.colorado.edu
234	439			X			Munehisa Sawada	CENAPRED		sawada@cenapred.unam.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001 Continuación

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
157	739	Cerro Chinaco #121	Campestre Churubusco	México	D.F.	México	04200	
158	689	Av. del Parque #1310	Mesa de Otay	Tijuana	B.C.	México	22510	
159	378	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
160	387	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
161	386	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
162	669	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
163	127	Av. México #120	Del Carmen	México	D.F.	México	04100	
164	128	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
165	719	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
166	700	Siracusa #130, Edif. 5-B-22	Lomas Estrella	México	D.F.	México	09890	
167	722	Edif. U, Universidad Michoacana	Ciudad Universitaria	Morelia	Mich.	México	58070	
168	131	De la Rivera #21		Hermosillo	Son.	México	83288	
169	130	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
170	735			Ensenada	B.C.	México	22760	
171	133	Colegio Militar #192	Esterito	La Paz	B.C.S.	México	23020	592
172	132	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
173	752	Corrensstr 24 D-48149		Munster		Germany		
174	395	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
175	153	Fuente de la Juventud #64	Tecamachalco	Naucalpan	EdoMéx	México	53950	70-528
176	829	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
177	238			Puebla	Pue.	México		
178	135	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
179	136	Pedro Noriega #569 Sur		Linares	N.L.	México	67700	
180	655	222 Vista Avenue		Pasadena	CA.	USA	91107	
181	61	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
182	598	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
183	141	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
184	399	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
185	483	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	453
186	404	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	70-472
187	828	Arizona State University, PO BOX 875306		Tempe	Arizona	USA	85287-5306	
188	602	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	México	21100	
189	818	Luis D. Colosio # 128-1	Zona Centro	Hermosillo	Son.	México	83000	
190	730	Apdo. Postal #128		La Paz	B.C.S.	México	23000	128
191	731	Km 0.5, Carret. al Conchalito		La Paz	B.C.S.	México	23000	
192	273	Paseo Cuauhnahuac #8532	Progreso	Jiutepec	Mor.	México	62550	
193	681	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
194	146	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
195	691	Retorno Mondorica #2056	Infonavit	La Paz	B.C.S.	México	23070	
196	145	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
197	822	Ley Federal del Trabajo Final s/n	Apolo	Hermosillo	Son.	México		
198	398	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	07730	
199	615	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	70305
200	154	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
201	653	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
202	542	Av. IPN s/n	Playa Palo de Sta. Rita	La Paz	B.C.S.	México	23096	592
203	810	Burgweg 11		Jena		Germany	07749	
204	175	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
205	157	Av. Maestros y Mariano Bárcena		Guadalajara	Jal.	México	44260	
206	823	Av. Purísima y Michoacán	Vicentina	México	D.F.	México	09340	
207	677	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
208	319	625 W. Chestnut St.		Lancaster	PA	USA	17604	717
209	673	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	453
210	2	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
211	748	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	
212	408	Km 1, Carret. San Juan de la Costa	El Comitán	La Paz	B.C.S.	México	23000	128
213	815	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
214	156	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
215	630	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jal.	México	44100	
216	161	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
217	808	Las Lichis #1839	Fracc. La Campiña	Culiacán	Sin.	México	80060	
218	667	Campos Eliseos #345, Piso 16	Polanco	México	D.F.	México	11550	
219	697	810 Pacific Ave.		Edinburg	TX	USA	78539	
220	436	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	453
221	164	Km. 8, Carret. Linares-Cerro Prieto	Hda. de Guadalupe	Linares	N.L.	México	67700	104
222	427	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
223	631	A las Praderas #320	Prados Vallarta	Zapopan	Jal.	México	45020	
224	95	La Darse B-P #48		Villefranche sur Mer	Paris	France	06230	
225	709	Acueducto #63	Acueducto	México	D.F.	México	01120	
226	829	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
227	167	Apdo. Postal #311		Irapuato	Gto.	México	36500	311
228	414	M. García Barragán y Corregidora		Guadalajara	Jal.	México	44421	
229	450	Villa Florencia #54	Fracc. Soleares	Manzanillo	Col.	México	28869	
230	421	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
231	173	La Hechicera		Mérida	Mérida	Venezuela	05101	
232	619	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
233	608	1300, 30th, A1-24		Boulder	CO.	USA	80303	
234	439	Av. Delfín Madrigal #665	Pedregal de Sto. Domingo	México	D.F.	México	04360	

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	Nombre	Institución	División o Instituto	E-mail
235	160	X	X	X			Munguía Orozco Luis	CICESE	Ciencias de la Tierra	lmunguia@cicese.mx
236	682			X	X	X	Muñoz Diosdado Alejandro	IPN	UPIBI	amunoz@acei.upbi.ipn.mx
237	716					X	Munilo Nava Janette	IPN	CICIMAR	
238	434	X	X		X	X	Murrieta Hernández José Luis	UVER	Fac. de Ingeniería Civil- Zona Xalapa	jose@dino.coacadu.uv.mx
239	816					X	Nájera Garza Jesús		Consultor Privado	jng1207@hotmail.com
240	176		X		X		Natividad Baizabal Miguel Ángel	UVER	Ciencias Atmosféricas	navidad@dino.coacadu.uv.mx
241	177	X	X	X	X	X	Nava Pichardo Alejandro	CICESE	Ciencias de la Tierra	fnava@cicese.mx
242	670	X	X		X		Nava Sánchez Enrique H.	IPN	CICIMAR	enava@redipn.ipn.mx
243	609			X			Nevárez Martínez Manuel Otilio	INP	CRIP Guaymas	nevarez@altavista.net
244	181	X	X		X	X	Nieto Samaniego Ángel Fco.	UNAM	Geología/UNICIT	afns@unicit.unam.mx
245	696		X	X		X	Norzagaray Campos Mariano	IPN	CIDIR-Sinaloa	nmunoz@debtel.com.mx
246	182	X	X	X	X	X	Núñez Cornú Francisco Javier	UDG	CUC, Vallarta	fcornu@vallarta.cuc.udg.mx
247	812				X	X	Núñez Peralta Marco Antonio	UAM		mapn@xanum.uam.mx
248	184					X	Obeso Nieblas Maclovio	IPN	CICIMAR	mniebla@redipn.ipn.mx
249	183	X	X	X			Ocampo Torres Francisco J.	CICESE	Oceanología	ocampo@cicese.mx
250	452	X		X	X		Ochoa De la Torre José Luis	CICESE	Oceanología	jochoa@cicese.mx
251	455	X	X			X	Oda Noda Bertha	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	
252	782				X		Oesterreich Masuch	UANL	Ciencias de la Tierra	dmasuch@ccr.dsi.uanl.mx
253	714		X	X			Oleshko Klaudia	UNAM	Geología	siebe@servidor.unam.mx
254	773					X	Oropeza Villalobos Beatriz	UNAM	Geofísica	
255	568	X	X	X	X		Orozco Esquivel María Teresa	UNAM	Geología	torozco@unicit.unam.mx
256	665	X	X	X			Orta Francisco	APASCO	Ingeniería	
257	652			X			Ortega Guerrero Marcos Adrián	UNAM	UNICIT/Geología	maog@servidor.unam.mx
258	466			X		X	Ortega Rivera María Amabel	UNAM	UNICIT/Geología	amabel@servidor.unam.mx
259	713		X	X		X	Ortiz Alemán Carlos	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	carloso@servidor.unam.mx
260	809				X		Ortiz Sedano Arturo			
261	789				X	X	Ostroumov Mikhail	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	ostroum@zeus.ccu.umich.mx
262	191	X	X	X	X	X	Pacheco Alvarado Francisco J.	UNAM	Geofísica	javier@olin.igeofcu.unam.mx
263	549	X					Padilla Arredondo Gustavo	CIBNOR	Unidad Guaymas	gpadilla@cibnor.mx
264	543	X		X		X	Pal Verma Jaiswal Mahendra	IIE	Geotermia	mahendra@iie.org.mx
265	189		X				Palma Guzmán Sergio Hugo	CFE	Geotermia	
266	190		X				Palma Pérez Oswaldo	CFE	Geotermia	
267	201	X	X	X	X		Pavía López Edgar	CICESE	Oceanología	epavia@cicese.mx
268	205		X				Payero De Jesús Juan S.	UASD	Física	jpayero@tricom.net
269	202	X	X	X	X		Paz Moreno Francisco Abraham	USON	Ciencias Exactas y Naturales	paz@marina.geologia.uson.mx
270	66	X			X		Pedrin Aviles Sergio	CIBNOR	Zona Costa	spedrin@cibnor.mx
271	286			X	X	X	Peláez Salvador Roberto	PEMEX	Exploración y Producción	pelaez_fi_unam@yahoo.com
272	706		X				Peraza Vizcarra Ramón	UAS	Ciencias del Mar	
273	200	X			X		Pereyra Díaz Domitilo	UV	Metereología Aplicada	dpereyra@speedy.coacadu.uv.mx
274	457		X	X			Pérez de Tejada Héctor	UNAM	CECIMAC	hector@ifunam.fisicaen.unam.mx
275	463		X		X	X	Pérez Enríquez Román	UNAM	UNICIT	roman@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
276	576			X			Pérez García Ismael	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	ismael@servidor.unam.mx
277	195		X	X			Pérez Rocha Luis Eduardo	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	
278	762				X		Pérez Sesma José Antonio A.	UV	Ciencias Atmosféricas	pereyra@dino.coacadu.uv.mx
279	197	X	X	X	X	X	Pérez Venzor José Antonio	UABCS	Ciencias del Mar	japerez@calafia.uabcs.mx
280	250	X	X		X		Peterson Villalobos Héctor	LIBRA		libra@telnor.net
281	204				X		Pola Simuta Cosme	UANL	Ciencias de la Tierra	
282	671	X					Prieto Mendoza Jesús José	UABCS		jprieto@calafia.uabcs.mx
283	788	X	X		X		Ramírez Aguilar Isabel	CICESE	Oceanología	iramirez@cicese.mx
284	674	X	X	X	X		Ramírez Hernández Jorge	UABC	Ingeniería	iramirez@ing.mxl.uabc.mx
285	638		X	X	X		Ramírez Herrera María Teresa	California State University	Natural Sciences and Mathematics	iramirez@csulb.edu
286	496	X	X	X	X		Ramírez Ruiz Juan José	UCOL	Observatorio Vulcanológico	iramirez@cgic.ucol.mx
287	211	X	X	X	X		Ramírez Trejo Ana Rosa			
288	212	X					Ramírez Vázquez Carlos Ariel	UCOL	CICBAS	carlosr@cgic.ucol.mx
289	209			X			Ramos Jiménez Esteban	CENAPRED		erj@cenapred.unam.mx
290	693		X				Ramos Leal José Alfredo	IPN	CIDIR OAXACA	
291	208	X	X	X	X	X	Randall Roberts John	UGTO		randall@redes.intl.com.mx
292	213	X		X	X	X	Rebollar Bustamante Cecilio J.	CICESE	Ciencias de la Tierra	rebollar@cicese.mx
293	215	X	X	X	X	X	Reyes Dávila Gabriel Ángel	UCOL	CICBAS	gabriel@cgic.ucol.mx
294	742			X			Reyes De la Gala Jorge	CICESE	Oceanología	jreyes@cicese.mx
295	746				X		Reyes Trujeque Javier	UACAMP	Prog. de Corrosión Golfo de México	
296	595		X				Reyes Zamora César Alfonso	CICESE	Ciencias de la Tierra	reyesz@cicese.mx
297	221			X	X	X	Ripa Alsina Pedro	CICESE	Oceanología	ripa@cicese.mx
298	494					X	Rivera Rodríguez Jesús	UNAM	Estudios de Posgrado en Ingeniería	jrivera@servidor.unam.mx
299	717		X				Rocha Fernández José Luis	UV	Ciencias Atmosféricas	abraxas@speedy.coacadu.uv.mx
300	490				X	X	Rodríguez Castañeda José Luis	UNAM	Geología	jlrod@servidor.unam.mx
301	482	X					Rodríguez Castillo Ramiro	UNAM	Geofísica	rrdz@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
302	579		X	X			Rodríguez González Miguel	UNAM	Ingeniería	mrod@gea.iingen.unam.mx
303	225		X	X			Rodríguez Ramírez Joel	CICESE	Ciencias de la Tierra	joel@cicese.mx
304	698		X				Rodríguez Zúñiga José Luis	FJBS	Investigación Sísmica, A.C.	sanz@mpsnet.com.mx
305	493					X	Roldán Quintana Jaime	UNAM	Geología	jaimer@servidor.unam.mx
306	497	X	X			X	Romero Espejel J.G. Héctor	CICESE	Ciencias de la Tierra	hromero@cicese.mx
307	560	X					Romero Pascual Mercedes	UCM	Ciencias de la Tierra	romero@eucmos.sim.ucm.es
308	218	X	X	X	X	X	Romo Jones José Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	jromo@cicese.mx
309	475	X		X			Ronquillo Jarillo Gerardo	IMP	Estudios Geológicos	gerardo@orion.expl.imp.mx
310	611	X					Rosales Álvarez Julio	CFE	Campo Geotérmico Cerro Prieto	
311	610	X					Rosales Grano Pedro	SEP	Tecnológico del Mar	
312	575	X		X	X	X	Rosas Elguera José	UDG	Ciencias de la Tierra	jrosas@quantum.ucting.udg.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001 Continuación

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
235	160	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
236	682	Valle del Po #16	Valle de Aragón	Ecatepec	EdoMéx	México	55280	
237	716	Av. IPN s/n	Playa Palo de Sta. Rita	La Paz	B.C.S.	México	23096	
238	434	Zona Universitaria s/n		Jalapa	Ver.	México	91090	
239	816	Ventura Salazar #334-2	Zona Centro	Zacatecas	Zac.	México	98000	
240	176	Apdo. Postal #178	Centro	Jalapa	Ver.	México	91000	278
241	177	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
242	670	Apdo. Postal #592		La Paz	B.C.S.	México	23000	592
243	609	Blvd. Las Plazas #75	F. Las Plazas	Guaymas	Son.	México	85430	
244	181	Targanitos #1A	Mexiamora	Guanajuato	Gto.	México	76001	1-742
245	696	Av. Ticoman # 600	San José Ticoman	México	D.F.	México		
246	182	Apdo. Postal #96-B		Puerto Vallarta	Jal.	México		
247	812	Apdo. Postal #55-534		México	D.F.	México	09340	55-534
248	184	Av. IPN s/n	Playa Palo de Sta. Rita	La Paz	B.C.S.	México	23096	
249	183	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
250	452	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
251	455	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
252	782	Km. 8, Carret. Linares-Cerro Prieto	Hda. de Guadalupe	Linares	N.L.	México	67700	104
253	714	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
254	773	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
255	568	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
256	665	Campus Eliseos #345, Piso 16	Polanco	México	D.F.	México	11550	
257	652	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
258	466	Apdo. Postal #1-742		Querétaro	Qro.	México	76230	1-742
259	713	Carret. al Ajusco #203	Héroes de Padierna	México	D.F.	México	14200	
260	809							
261	789	Edif. U, Universidad Michoacana	Ciudad Universitaria	Morelia	Mich.	México	58070	52-B
262	191	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
263	549	Km 2.35, Camino al Tular	Estero de Bacoichibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
264	543	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
265	189	Lic. Ángel Compers #65	Dr. Miguel Silva	Morelia	Mich.	México	58120	
266	190	El Greco #5181	Real Vallarta	Zapopan	Jal.	México	45020	
267	201	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
268	205	Ciudad Universitaria		Santo Domingo		Rep. Dominicana		
269	202	Apdo. Postal #847	Centro	Hermosillo	Son.	México	83000	847
270	66	Km 2.35, Camino al Tular	Estero de Bacoichibampo	Guaymas	Son.	México	85465	349
271	286	Manzana #72, Lote 1	J.M. Morelos, 5a Sección	Ecatepec	EdoMéx	México	55070	
272	706			Mazatlán	Sin.	México		
273	200	Zona Universitaria s/n	Zona Universitaria	Jalapa	Ver.	México	91090	136
274	457	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2681
275	463	Campus Juriquilla/Dom. Conocido		Juriquilla	Qro.	México	76001	1-742
276	576	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
277	195	Santa María #214	Maninanco	Azcapotzalco	Edo. de México	México		
278	762	Zona Universitaria s/n	Zona Universitaria	Jalapa	Ver.	México	91090	136
279	197	Km 5.5, Carret. al Sur	Universitaria	La Paz	B.C.S.	México	23000	19-B
280	250	Priv. Ixtlachiutl #100	La Sierra	Tijuana	B.C.	México	22170	
281	204	16 de Septiembre #606 Poniente		Linares	N.L.	México	67770	
282	671	Retorno Mango #1855	Infonavit	La Paz	B.C.S.	México	23070	
283	788	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
284	674	P.O. BOX 3439		Calexico	CA	USA	92232	
285	638	1250 Bellflower Blv.		Long Beach	CA	USA	90840	
286	496	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	
287	211	Apdo. Postal #343		Ajijic	Jal.	México	45920	343
288	212	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	21694
289	209	Av. Delfín Madrigal #665	Pedregal de Sto. Domingo	México	D.F.	México	04360	
290	693	Av. Hornos #1003	Ampliación Indeco	Xoxocotlan	Oax.	México	71230	
291	208	Mineral de la Valenciana #2	Marfil	Guanajuato	Gto.	México	36250	42
292	213	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
293	215	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	21694
294	742	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
295	746	Agustín Melgar s/n		Campeche	Camp.	México		
296	595	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
297	221	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
298	494	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
299	717	Altamirano #99	Centro	Jalapa	Ver.	México	91000	628
300	490	Misión de Caborica #14	Bachoco	Hermosillo	Son.	México	83148	
301	482	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
302	579	Rio Bamba #674	Lindavista	México	D.F.	México		70472
303	225	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
304	698	Carret. al Ajusco #203	Héroes de Padierna	México	D.F.	México	14200	
305	493	Quinta Mayor #133	Las Quintas	Hermosillo	Son.	México	83240	
306	497	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
307	560	Av. Complotense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
308	218	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
309	475	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	07730	
310	611	Km 26.5, Carret. Pascualitos-Pescadero	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.	México	21100	
311	610	Km 4, Carret. a Varadero Nacional	Sector Playitas	Guaymas	Son.	México	85480	742
312	575	Apdo. Postal #4-045	Sector Reforma	Guadalajara	Jal.	México	44840	4-045

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001

No.	Miembro	1997	1998	1999	2000	2001	Nombre	Institución	División o Instituto	E-mail
313	708			X	X		Royo Ochoa Miguel	UACH	Posgrado	mroyo@seidel.fing.uach.mx
314	639	X					Rubio Culebras Eduardo	CSIC	Ciencias de la Tierra	erubio@ija.csic.es
315	242	X	X	X	X	X	Sabina Ciscar Federico	UNAM	IIMAS	fjs@uxmyimf.iimas.unam.mx
316	826					X	Sakai Ricardo K.	U. NEW YORK	Atmospheric Science Research Center	sakai@asrc.cesr.albany.edu
317	228		X			X	Saldaña Flores Ricardo	IIE	Fuentes Alternas de Energía	rsf@p.ile.org.mx
318	472	X					Saldivar Medina Eric	UMICH	Investigaciones Metalúrgicas	
319	607			X			Salinas Prieto José Antonio	IMTA	Hidrometeorología	jsalinas@tatin.imta.mx
320	712		X				Sánchez Gómez Rubén	UDG	CUCEI	rubens@udgserv.cencar.udg.mx
321	226	X	X				Sánchez Monclú Alfredo	IMP	Exploración y Producción	alfredo_sanchez@hotmail.com
322	509				X		Sánchez Pérez Juan	CFE		jsanchez@cfe.gob.mx
323	227		X		X		Sánchez Zamora Osvaldo	UNAM	Geofísica	osvaldo@ollin.igeofcu.unam.mx
324	241	X					Santamaria Saldaña Dora Elva	CFE	Gerencia de Ingeniería Civil	sismo00@cfe.gob.mx
325	527	X		X			Sarmiento López Citlali	IMP	Proceso Registros Geofísicos	
326	230	X	X	X	X		Schaaf Peter	UNAM	Geofísica	pschaaf@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
327	830					X	Schiller Friedrich	UNIVERSITAET JENA	Institut fuer Geowissenschaften	mail@geo.uni-jena.de
328	727		X				Schultz David M.	NSSL	NOAA	schultz@nssl.noaa.gov
329	825					X	Sekerzh Zenkovich Sergey	UNISON	Física	sekr@fisica.uson.mx
330	233		X	X	X	X	Silva García José Teodoro	IPN	CILDIR	tsilva@vmredipn.jpn.mx
331	1	X	X	X	X	X	Singh Shri Krishna	UNAM	Geofísica	krishna@ollin.igeofcu.unam.mx
332	232		X	X			Skiba Yuri N.	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	skiba@servidor.unam.mx
333	512		X				Soler Arechalde Ana María	UNAM	Geofísica	anesoler@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
334	234				X		Sosa Uscanga Ignacio	UV	Instrumentación Electrónica	
335	804				X		Sotelo Parra Anselmo	GOB. MORELOS	Protección Civil	
336	806				X		Staines Urias Francisca	UABC	Geología	
337	235	X	X	X	X	X	Steinich Birgit	UNAM	UNICIT	birgit@unicit.unam.mx
338	519	X	X	X	X	X	Stock Joanne M.	CALTECH	Seismology	jstock@gps.caltech.edu
339	634	X			X		Suárez Arriaga Mario Cesar	UNAM	DEPFI	msuarez@zeuz.ccu.umich.mx
340	231		X	X	X	X	Suárez Plascencia Carlos	UDG	CUCSH	csuarez@udgserv.cencar.udg.mx
341	515	X					Suárez Reynoso Gerardo	UNAM	Geofísica	gerardo@ollin.igeofcu.unam.mx
342	236	X			X	X	Suárez Vidal Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	fsuarez@cicese.mx
343	502	X					Suter Cargnelutti Max	UNAM	Geología	sutermx@aol.com
344	533			X			Talavera Mendoza Oscar	UAEG	Ciencias de la Tierra	
345	705		X				Tapia Armenta Juan	IPN	CITEDI	jltapia@citedi.mx
346	249	X		X	X		Taran Yuri	UNAM	Geofísica	taran@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
347	243				X	X	Tejeda Martínez Adalberto	UV	Ciencias Atmosféricas	atejeda.speedy.coacade.uv.mx
348	718			X			Téllez Duarte Miguel Ángel	UABC		
349	245	X	X	X	X	X	Tereshchenko Irina E.	UDG	CUCEI	itereshc@udgserv.cencar.udg.mx
350	532	X	X	X	X		Tolson Jones Gustavo	UNAM	Geología	tolson@servidor.unam.mx
351	247				X		Torres Hernández José Ramón	UNAM	Geofísica	
352	604	X	X	X			Torres Orozco Ernesto	UCOL	Oceanografía Física	etorres@cgic.ucol.mx
353	528	X	X				Trasviña Castro Armando	CICESE	Oceanología	trasvi@cicese.mx
354	828				X	X	Ulacco Humberto	U. AUTÓNOMA SAN LUIS	Geología	
355	622	X	X			X	Urrutia Fucugauchi Jaime	UNAM	Geofísica	juf@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
356	781				X		Vai Rossana	IMP		
357	548			X			Valdés González Carlos	UNAM	Geofísica	carlosv@ollin.igeofcu.unam.mx
358	138	X	X	X	X	X	Valenzuela Wong Raúl	UNAM	Geofísica	raul@ollin.igeofcu.unam.mx
359	531			X			Valle Levinson Arnoldo	OLD DOMINION U	Center for Coastal Physical O	arnoldo@ccpo.odv.edu
360	254	X	X	X	X	X	Vázquez González Rogelio	CICESE	Ciencias de la Tierra	rvazquez@cicese.mx
361	695		X	X			Vázquez Jaimes María Elena	CICESE	Ciencias de la Tierra	
362	725		X				Vega Granillo Ricardo	USON	Geología	rickvega@geologia.uson.mx
363	545	X					Velasco Climaco Nector	IMP		
364	546			X			Venegas Salgado Saúl	CFE	Geotermia	cfeinf@mail.giga.com
365	738				X		Vera Sánchez Jorge Ramón	PEMEX	Exploración y Producción	
366	171	X			X	X	Victoria Morales Alfredo	UNAM	Ingeniería	victoria@servidor.unam.mx
367	540	X	X	X	X	X	Vidal Villegas Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	vidalv@cicese.mx
368	547	X	X				Villanueva Urrutia Elba Elsa	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	eevu@ccaunam.atmoscu.unam.mx
369	648	X				X	Villegas García Cesar José	SCINTREX	Servicios Geofísicos Especializados	cvillega@intercable.net
370	255	X					Villicaña Cruz Francisco Javier	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	
371	743			X	X		Watts Christopher	IMADES		
372	259	X	X	X	X	X	Wong Ortega Victor	CICESE	Ciencias de la Tierra	vwong@cicese.mx
373	376	X	X	X	X	X	Yussim Guarneros Sergio	UNAM	Geología	yussim@servidor.unam.mx
374	262	X	X		X	X	Zarate Del Valle Pedro F.	UDG	Ciencias de la Tierra	pzarate@quantum.ucting.udg.mx
375	707		X				Zarate Vázquez María	UNAM	Ingeniería	mariaz@servidor.unam.mx
376	93		X				Zavala Jorge	UNAM		igs@servidor.unam.mx
377	261	X	X	X	X		Zobin Vyacheslav M.	UCOL	Observatorio Vulcanológico	vzobin@cgic.ucol.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. • Miembros 2001 Continuación

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
313	708	Priv. Altamirano #3511	Santo Niño	Chihuahua	Chih.	México	31320	
314	639	Lluís Solé i Sabaris s/n		Barcelona	Barcelona	España	08028	
315	242	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	20726
316	826			Albany	New York	USA	12203	
317	228	Av. Reforma #113	Palmira	Temixco	Mor.	México	62490	1-475
318	472	Ganadería La Laguna #38	Jardines del Toreo	Morelia	Mich.	México		
319	607	Paseo Cuauhnahuac #8532	Progreso	Jiutepec	Mor.	México	62550	
320	712	M. García Barragán y Corregidora		Guadalajara	Jal.	México	44421	
321	226	Apdo. Postal #224	Oficina Correo	Cd. del Carmen	Camp.	México	24101	224
322	509	Oklahoma #85, Piso 4	Napoles	México	D.F.	México	03810	
323	227	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
324	241	Zaragoza #17	Tulyehualco	México	D.F.	México	16700	16700
325	527	Calle 42 #28	Tacubaya	Ciudad del Carmen	Camp.	México		
326	230	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	70472
327	830	D-07740			Jena	Germany		
328	727	1313 Halley Circle		Norman	OK	USA	73069	
329	825	Bvd. Encinas y Transversal	Zona Centro	Hermosillo	Son.	México	83000	
330	233	Justo Sierra #28		Jiquilpan	Mich.	México		
331	1	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
332	232	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
333	512	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
334	234	Loma del Estadio s/n	Zona Universitaria	Jalapa	Ver.	México	91000	136
335	804	8 Norte, Manzana 262, Lote 11	Los Robles	Jiutepec	Mor.	México	62500	
336	806	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	453
337	235	Campus Juriquilla Dom. Conocido	Juriquilla	Querétaro	Qro.	México	76230	1-742
338	519	2824 Shakespeare Drive		San Marino	CA	USA	91108	
339	634	Patzimba #438	Vista Bella	Morelia	Mich.	México	58090	
340	231	Kilimanjaro #1727	Independencia	Guadalajara	Jal.	México	44240	
341	515	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
342	236	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
343	502	Apdo. Postal #1039		Hermosillo	Son.	México	83000	1039
344	533	Ex-Hacienda de San Juan Bautista	Taxco el Viejo	Taxco	Gro.	México	40200	197
345	705	Av. del Parque #1310	Mesa de Otay	Tijuana	B.C.	México	22510	
346	249	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
347	243	Zona Universitaria s/n	Zona Universitaria	Jalapa	Ver.	México	91090	136
348	718	Km 106, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	
349	245	Rio Autlán #2180-34	Atlas	Guadalajara	Jal.	México	44421	4-040
350	532	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
351	247	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
352	604	Constitución #37	Morelos	Manzanillo	Col.	México	28217	
353	528	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
354	828	Chacabuco #917-5700		San Luis	San Luis	Argentina		
355	622	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
356	781	Eje Central Lázaro Cárdenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	D.F.	México	07730	
357	548	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
358	138	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
359	531	768 52nd St.		Norfolk	VA	USA	23529	
360	254	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
361	695	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
362	725	Bvd. Transversal y Rosales	Centro	Hermosillo	Son.	México	83000	
363	545	Calle 42 #28	Tacubaya	Ciudad del Carmen	Camp.	México		2732
364	546	Alejandro Volta #655	Electricistas	Morelia	Mich.	México	58290	
365	738	Isidoro Olvera #26	Presidente Ejidal	México	D.F.	México	00440	
366	171	Luis Martínez del Campo #39	Romero de Terreros	México	D.F.	México	04310	
367	540	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
368	547	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
369	648	Sierra Nevada #207	Villas del Valle	Garza García	N.L.	México	66288	
370	255	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
371	743	Reyes y Aguascalientes s/n		Hermosillo	Son.	México	83190	
372	259	Km 107, Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	B.C.	México	22860	2732
373	376	Atotonilco #88	Felipe de Jesús	México	D.F.	México	07510	
374	262	Av. Revolución #1500		Guadalajara	Jal.	México	44410	4021
375	707	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	D.F.	México	04510	
376	93	Parque del Conde #12	San José Insurgentes	México	D.F.	México	03900	
377	261	Av. 25 de Julio #965	Villas San Sebastián	Colima	Col.	México	28045	



UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

REUNIÓN ANUAL 2001

Puerto Vallarta, Jalisco, México

5 - 9 de Noviembre



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

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

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

Tanto para los trabajos orales, como para los carteles, deberá presentarse un resumen por escrito utilizando el formato que se encuentra en la página <http://www.ugm.org.mx>, ya sea por esa vía, o enviándolo a ugm@cicese.mx, utilizando el mismo formato.

Información adicional, tanto para ponentes, como para expositores de instrumentos, equipos y servicios geocientíficos se encuentra en <http://www.ugm.org.mx>, o con:

Araceli Chamán, IGFUNAM
E-mail: achaman@igeofcu.unam.mx
Tel.: 01(55)5622-4130,

Ivonne Pedrín, CICESE
E-mail: ipedrin@cicese.mx
Tel.: 01(646)175-5050, Ext. 26004

No se aceptarán resúmenes enviados por FAX.

Fecha límite para recibir resúmenes - Agosto 15, 2001

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

Reservaciones:

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

Costo por habitación doble o sencilla:
\$ 900.00 + impuestos y propinas (\$50.00 a bellboys
entrada y salida y \$25.00 a camaristas por noche).

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

Inscripción a la Reunión	{	Miembros UGM o AGU	\$ 1,000.00
		No miembros	\$ 1,500.00
		Estudiantes	\$ 550.00
		Costo de resumen	\$ 200.00
		Membresía Investigador	\$ 350.00
		Membresía Estudiante	\$ 250.00

Registro en el hotel sede desde el 4 de Noviembre a
partir de las 16:00 hrs.



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



**RESPONSABLE: QUÍM. RUFINO LOZANO SANTA CRUZ
DEPTO DE GEOQUÍMICA**

Cd. Universitaria, C.P. 04510, México, D.F.

Fax: (5)622-4317

E-mail: rufino@servidor.unam.mx

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

25 Elementos Mayores y Traza

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

Precio Comercial \$480.00/muestra (60 USCy)

Instituciones de Investigación \$320.00/muestra (40 USCy)

Precio por muestras urgentes en lotes de <20 \$720.00/muestra

Muestras de difícil proceso (carbonatos, arcillas, sulfuros >2%) \$100.00 por hora
adicional preparación

10 Elementos Mayores y Pérdida por Calcinación o 15 Elementos Traza

Precio Comercial \$260.00/muestra

Instituciones de Investigación \$180.00/muestra

Determinaciones Complementarias

Pérdida por calcinación \$60.00/muestra

Fe⁺² \$80.00/muestra

Análisis semicuantitativo reportando hasta 62 elementos \$220.00/muestra

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

Tiempo de Haz \$160.00/hora

Tiempo de Haz con nuestro operador \$320.00/hora

Favor de enviar las muestras y la solicitud de servicio a:

Rufino Lozano y/o Patricia Girón

Instituto de Geología, UNAM

Laboratorio de Rayos X

Circuito de la Investigación Científica

Cd. Universitaria, D.F., 04510, México

Tel.: (5) 622-4319

Nota: Sin la solicitud de análisis y la lista de muestras no se iniciará ningún estudio.

Las muestras deberán ser enviadas en polvo molido (al menos 20 g), aproximadamente a 200 mallas, en caso de requerir del uso del taller de molienda del IGLUNAM, el cargo será de \$75.00/hora.



Posgrado

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Tierra

GEOLOGÍA

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

GEOFÍSICA APLICADA

Exploración Geofísica
Simulación Numérica
Problemas Inversos
Electromagnetismo
Geofísica Marina
Geohidrología

SISMOLOGÍA

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

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

Para mayores informes dirigirse a:

CICESE

Dirección de Estudios de Posgrado
Apartado Postal 2732
Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada
Ensenada, Baja California
C.P. 22860, México
Tel. 01(6)174-5050 Ext. 23001
Fax: 01(6)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
<http://nundehui.igeofcu.unam.mx/posgrado.html>

El pasado 31 de octubre, en el seno de la 2a Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, la Asociación Geotérmica Mexicana (AGM) renovó su Consejo Directivo, el cual quedó integrado por las siguientes personas:

Presidente:	M.C. José Antonio Sampedro García, Instituto de Ingeniería, UABC
Vicepresidente:	Dra. Rosa María Barragán Reyes, Instituto de Investigaciones Eléctricas
Secretario:	Dr. Mahendra Pal Verma, Instituto de Investigaciones Eléctricas
Tesorero:	Dr. Alfonso García Gutiérrez, Instituto de Investigaciones Eléctricas
Pro-secretario:	Ing. Fidel Cedillo Rodríguez, Comisión Federal de Electricidad
Pro-tesorero:	M.C. Alfonso Aragón Aguilar, Instituto de Investigaciones Eléctricas

quienes estarán en funciones durante los próximos dos años 2001-2002.

M.C. José Sampedro García
Instituto de Ingeniería, UABC
sampedro@iing.mxl.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@cfe.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

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) 194-0490 194-000, Ext. 532 con el Dr. Alvaro Muñoz en Paseo Cuaunáhuac #8532, Progreso, Morelos, México. C.P. 62550.

INSTRUCCIONES PARA AUTORES

POLÍTICA EDITORIAL

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

Para facilitar su arbitraje, todos los trabajos deberán ser enviados en original y dos copias, o por correo electrónico. Las contribuciones deberán ser sometidas en Español y dirigidas al Editor de **GEOS**. Si el manuscrito sometido es relevante, el Editor Principal lo enviará a un miembro del Comité Editorial, quien seleccionará a dos o tres especialistas para arbitrar el manuscrito si éste es sometido como **trabajo de investigación**, o a un especialista, si el trabajo es sometido como de **divulgación** o como **reporte técnico**. Las **noticias** sólo serán revisadas por el Editor Principal. Los revisores remitirán sus comentarios al editor de área, quien los enviará al Editor Principal, junto con su recomendación. El Editor Principal puede rechazar, aceptar, o solicitar modificaciones al manuscrito, para lo cual remitirá a los autores los comentarios de los revisores y del editor de área.

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

Cuando el autor reciba la notificación de aceptación, se le solicitará que envíe su manuscrito en disquette o por correo electrónico para ser armado en el formato de la revista. No se enviarán pruebas de galera. Sugerimos que se utilicen los procesadores de textos WORD, aunque también se aceptarán en ASCII. Las ilustraciones que acompañen el manuscrito podrán ser enviadas en disquette o por correo electrónico, en cualquiera de los siguientes formatos: TIF, EPS, PS, DXF, DWG, PDF, GIF, CDR, JPG y WMF.

Si se desean sobretiros, el autor responsable deberá mencionarlo al editor al enviar la versión final de su artículo. Los sobretiros serán pagados por el autor, a razón de \$5.00 M.N. la página del artículo, multiplicado por el número de sobretiros solicitados.

RESUMEN

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

INTRODUCCIÓN

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

METODOLOGÍA

La metodología empleada en el trabajo deberá ser descrita con suficiente detalle. Secciones de interés marginal deberán ser diferidas a un apéndice.

RESULTADOS

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

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Esta sección deberá incluir los principios, relaciones y generalizaciones inferidas a partir de los resultados. En esta sección se discutirán acuerdos y desacuerdos con trabajos publica-

dos previamente, así como las implicaciones teóricas y las aplicaciones prácticas del trabajo.

REFERENCIAS

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

FORMATO PARA CITAS

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

Alvarez-Borrego, S., 1996, Satellite derived photosynthetic pigment surveys: A review of marine phytoplankton biomass and productivity, *Geofísica Internacional*, v. 35, p. 51-61.

Lomnitz, C., 1995, Diez años después: Una reinterpretación de la catástrofe de 1985. En: F. Medina-Martínez, L. A. Delgado-Argote y G. Suárez-Reynoso, editores, *La Sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985 (M=8.1)*, Unión Geofísica Mexicana, *Monografía No. 2*, 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^3

presión en bar

intensidad del campo magnético en gammas

EXPRESIONES MATEMÁTICAS

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

FIGURAS

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

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

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

GEOS



FORMA DE ARBITRAJE (CUALQUIER TIPO DE TRABAJO)

AUTOR (ES): _____

TITULO: _____

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

NOMBRE Y FIRMA
(opcional)

**Recordamos a todos los miembros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.
que la cuota para el 2001 es de \$350.00 para investigadores
y \$250.00 para estudiantes.**

página internet: 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
E-mail: ipedrin@cicese.mx

Araceli Chamán
Depto. de Posgrado, Instituto de Geofísica,
UNAM
Cd. Universitaria, Delegación Coyoacán,
México, 04510, D.F., México
E-mail: achaman@igeofcu.unam.mx

Con un cordial saludo

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

Costo anual de anuncios en GEOS

Instituciones:	Comerciales y Gubernamentales	Académicos
Página completa	\$4,000.00	\$2,000.00
Media página	\$2,000.00	\$1,000.00

GEOS

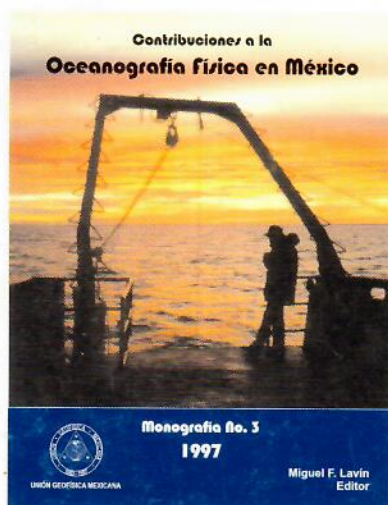
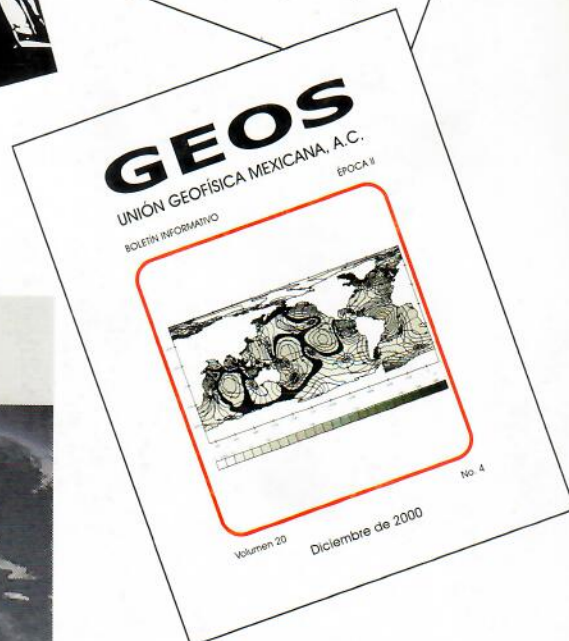
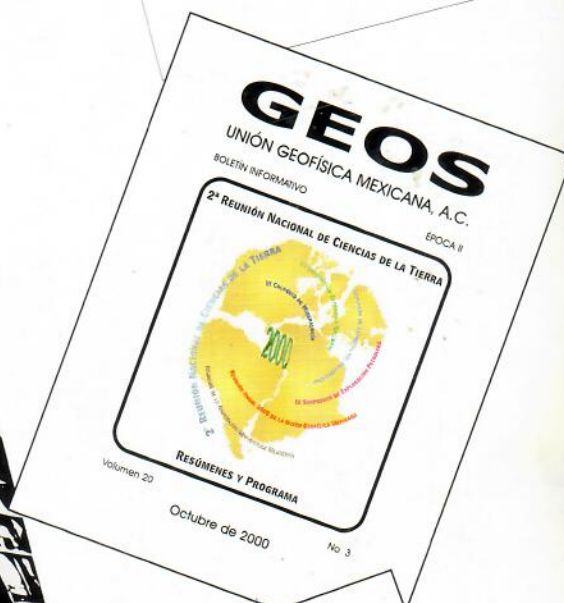
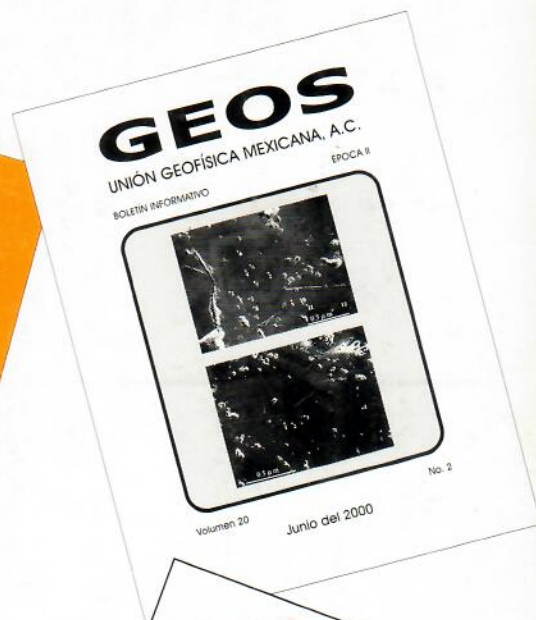
Revista a la venta con:

Costo del ejemplar \$60.00

Ivonne Pedrín Morales
División de Ciencias de la Tierra
Tel: 01(646)174-5050
Ext: 26004
E-mail: ipedrin@cicese.mx

Araceli Chamán
Depto. de Posgrado
Instituto de Geofísica
Tel: 01(55)5622-4130 y 5622-4137
E-mail: achaman@igeofcu.unam.mx





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