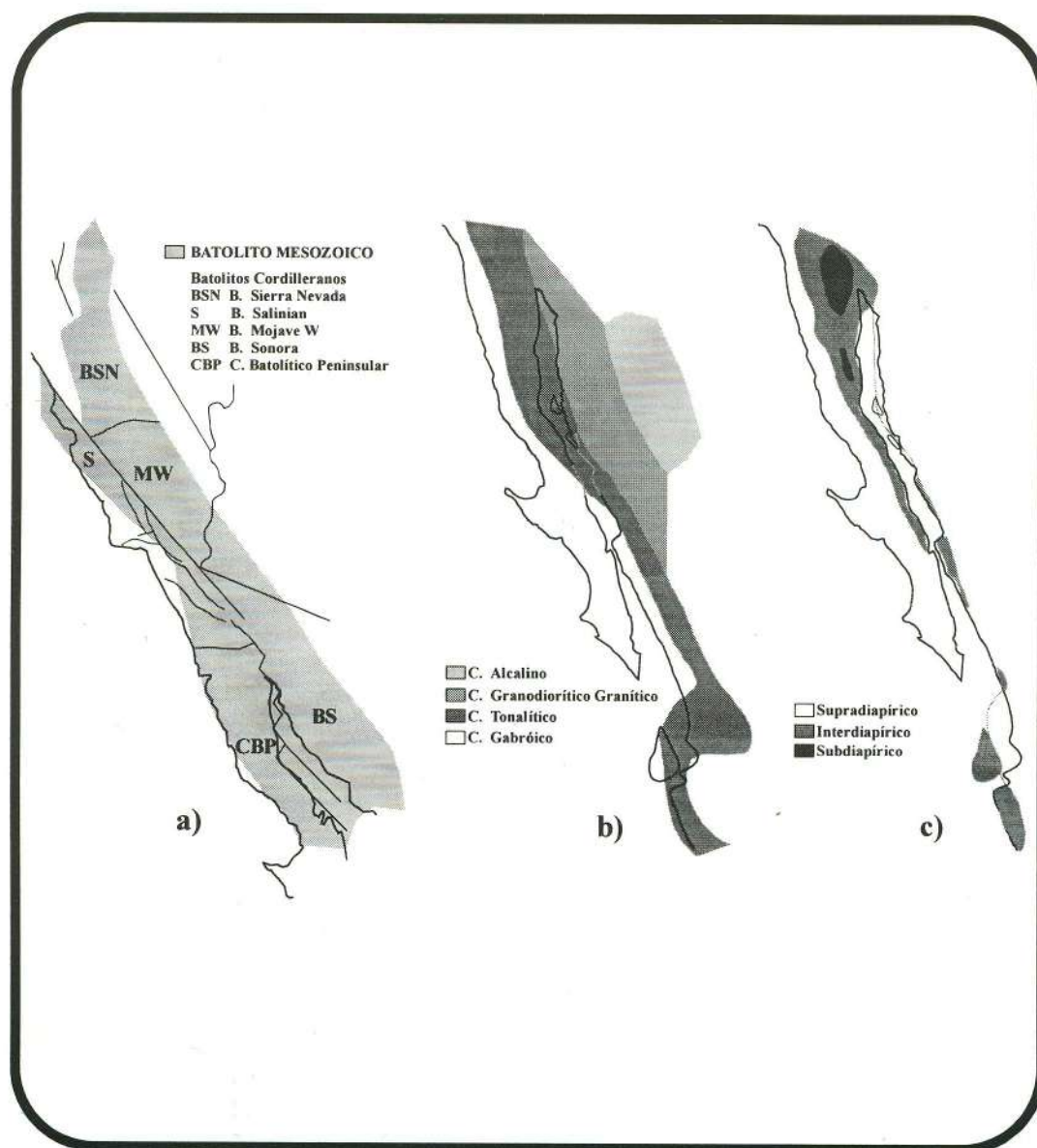


GEOS

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA

BOLETÍN INFORMATIVO

ÉPOCA II



Volumen 17

No. 3

Septiembre de 1997

GEOS
BOLETÍN INFORMATIVO DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA
(ISSN 0186-1891)

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA
MESA DIRECTIVA 96-97

Dr. Juan Manuel Espíndola Castro
Presidente

Dr. Jose Gómez Valdés
Vicepresidente

Dr. Marco Guzmán Speziale
Secretario General

Dr. Juan García Abdeslem
Tesorero

Dr. Cosme Pola Simuta
Secretario de Investigación

M.C. Luis Alberto Delgado Argote
Secretario de Difusión

M.C. Javier Lermo Samaniego
Secretario de Educación

APOYO TÉCNICO EDITORIAL
Victor Manuel Frías Camacho

Luis A. Delgado Argote y Juan García Abdeslem
Editores

COMITE EDITORIAL

Harald Bohnel, Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, UNAM
Juan Brandi, Reflexión Sísmica, DESFI, UNAM
Silvia Bravo, Estudios Espaciales, Instituto de Geofísica, UNAM
Gerardo Carrasco, Vulcanología, Instituto de Geología, UNAM
Ana Luisa Carreño, Paleontología, Instituto de Geología, UNAM
Luis Munguía Orozco, Sismología, Div. de Ciencias de la Tierra, CICESE
Ricardo Díaz N., Exploración Geofísica, IMP
Carlos Flores, Métodos Eléctricos y Electromagnéticos, CICESE
José Luis Frías Salazar, Cartografía, INEGI
Juan García A., Gravimetría y Magnetometría, CICESE
René Garduño, Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Juan Gaviño, Oceanografía Física, CEUNIVO, UCOL
Manuel Grajales N., Estratigrafía, IMP
Irma Guevara, Geoquímica, IIE
Alejandro Hinojosa, Sistemas de Información Geográfica, CICESE
Miguel Lavín, Oceanografía, División de Oceanología, CICESE
Alberto López, Astronomía, Instituto de Astronomía, UNAM
Luis Miguel Mitre, Geología Ambiental, Instituto de Geología, UNAM
Guillermo Pérez, Exploración Petrolera, PEMEX
Domitilo Pereyra, Meteorología, Universidad Veracruz-Jalapa
Francisco José Sánchez Sesma, Ingeniería Sísmica, UNAM
Mario César Suárez, Geotermia, CFE
Oscar Talavera, Petrología, Universidad Autónoma Guerrero
Miguel Téllez, Sedimentología, UABC
Gustavo Tolson, Geología Estructural, Instituto de Geología, UNAM
Joerg Werner, Geohidrología y Paleoclimatología, UANL, Linares

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

GEOS, Boletín Informativo de la UGM publica artículos y notas de investigación, comentarios, noticias, opiniones, anuncios y aspectos relevantes para la vinculación y difusión de la actividad científica y docente de las Ciencias de la Tierra. Los trabajos de investigación enviados para publicación no deben de exceder doce páginas en el formato de la revista. Las figuras deben de ser en blanco y negro y de buena calidad.

En el caso de noticias, comentarios u otro tipo de escritos, los manuscritos no deben de exceder cuatro cuartillas. Los trabajos y notas de investigación deberán ser enviados a los editores, quienes turnarán los documentos a los editores de área para su arbitraje.

Toda correspondencia dirigirla a:

División de Ciencias de la Tierra
At'n: Luis A. Delgado Argote.
Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada,
Ensenada, 22860, Baja California, México
Tel. (61) 744-501 al 05, Ext. 26020
FAX: (61) 744-933
E-mail: ldelgado@cicese.mx

INDICE

EDITORIAL	127
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
INTENSIDADES SÍSMICAS PARA LA REGIÓN DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, A PARTIR DEL POSIBLE ROMPIMIENTO DE LA FALLA LA NACIÓN (MW = 6.5)	128
José G. Acosta Chang y Juan Carlos Montalvo Arrieta	
GRANITOIDES EN EL NORESTE DE SIERRA JUÁREZ, BAJA CALIFORNIA: UNA HISTORIA DE EMPLAZAMIENTO PARA LA PARTE NORTE DEL BATOLITO ORIENTAL DEL CRETÁCICO TARDÍO	139
J.G. Héctor Romero-Espejel y Luis A. Delgado-Argote	
ARTÍCULOS DE DIVULGACIÓN	
CATÁLOGO DE SISMOS RECIENTES (1991-1996) REGISTRADOS POR LA RED DE ACELERÓGRAFOS DEL NOROESTE DE MÉXICO	155
Antonio Vidal, Manuel Luna, Luis Munguía, Miguel Navarro, Victor Wong y Tito Valdéz	
NOTAS CORTAS	
VARIACIÓN ESTACIONAL DEL NIVEL DEL MAR EN EL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE	168
J.I., González, J. Ochoa y P. Ripa	
IMÁGENES ELECTROMAGNÉTICAS DEL INTERIOR DE LA TIERRA: PARTE III	172
Enrique Gómez Treviño	
REPORTES	
SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO	177
GRUPO RESNOM	
NOTICIAS DE LA UGM	
DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 1997	179
PREMIOS DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA	184
COMUNICACIONES	
ANUNCIOS	186
INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	191
FORMA DE ARBITRAJE	193
MONOGRAFÍAS DE PRÓXIMA APARICIÓN	194

EDITORIAL

El pasado agosto, la secretaría de planeación de la UNAM notificó a los académicos de esa dependencia la corrección a las medidas anunciadas en mayo, en las que la administración universitaria dejaría de financiar los gastos y derechos de importación de materiales y equipos destinados a la investigación. El impacto de esa medida se traduciría en una reducción a los recursos de los proyectos hasta en un 40 por ciento. A raíz del anuncio de las medidas de mayo, se generó una intensa discusión que puso de manifiesto una política hacendaria que en poco apoya el desarrollo de la investigación científica. Las discusiones se centraron en los problemas que la UNAM enfrenta, pero al mismo tiempo, dio lugar a la reflexión sobre la situación que se vive en el resto de las universidades y centros de investigación. La situación es similar en todas las instituciones. Los proyectos de investigación más grandes normalmente son financiados a través de organismos externos a las instituciones y son apoyadas administrativamente por éstas. Los proyectos más favorecidos son aquellos que garantizan calidad, impacto, formación de recursos humanos, y que sean sometidos por investigadores con reconocimiento (pertenecientes al SNI de preferencia). Llenar los requisitos anteriores ya significa una selección rigurosa. Antes de la promoción 1997 del SNI, el área 1, que es donde la mayor parte de los miembros de la UGM se encuentra, contaba con 1024 (17.5% del total) investigadores potenciales para solicitar uno de los 465 proyectos de investigación para todas las modalidades, suponiendo que ninguno tuviera un proyecto vigente. Del presupuesto de los 250 proyectos de corta duración (2 a 3 años), hasta el 50% puede ser destinado al rubro de inversión, con el cual se adquiere por primera vez o se actualiza el equipo de laboratorios y de apoyo para hacer investigación de excelencia. Suponiendo que los 250 proyectos son a tres años y que se ejerce el tope de \$500,000 en inversión, entonces el gasto anual del conjunto sería de 41.6 millones de pesos que, si le aplicamos un 15% de impuestos, entre todos le damos a la Federación sólo 6.2 millones de pesos. Esta cantidad es infinitesimal para la Secretaría de Hacienda, pero es lo suficientemente grande para desestabilizar seriamente las actividades de investigación. En vista de que son los propios investigadores quienes vigilan con mayor cuidado sus recursos, ¿no sería conveniente una política que apoyara a la investigación, premiándola con la eliminación de los impuestos por la compra de sus equipos y material de consumo científicos?. Esperemos que la gestión que está iniciando la comisión de la UNAM para solicitar la eliminación de impuestos a la importación de insumos, marque una nueva ruta en las formas de apoyo a la investigación y a la educación superior del país.

INTENSIDADES SÍSMICAS PARA LA REGIÓN DE TIJUANA, BAJA CALIFORNIA, A PARTIR DEL POSIBLE ROMPIMIENTO DE LA FALLA LA NACIÓN (MW = 6.5)

José G. Acosta Chang y Juan Carlos Montalvo Arrieta

Depto. de Sismología, CICESE, A.P. 2732, Ensenada, B.C. E-mail: jchang@cicese.mx

RESUMEN

Se presenta un mapa de intensidades de Mercalli modificada para la región de Tijuana, Baja California, México, elaborado a partir de ecuaciones empíricas adecuadas a la región, considerando el rompimiento de una de las fallas geológicas que representa el mayor peligro para el área, La Nación ($M_w = 6.5$). Se ha incluido el efecto de sitio en el cálculo de las intensidades por medio de un término que depende de las velocidades superficiales de ondas de corte medidas en los diferentes suelos de la región. Los resultados son sensibles a las variaciones en los tipos de suelos. Se obtuvieron intensidades máximas de IX sobre los depósitos aluviales de las zonas centro y norte de Tijuana, donde se concentra la mayor cantidad de estructuras críticas y estratégicas. Los resultados de este estudio demuestran que la combinación de los factores de fuente sísmica y efecto de sitio representan un fuerte riesgo para la Ciudad de Tijuana. El mapa de intensidades predichas es la base para futuros trabajos de creación de escenarios sísmicos y elaboración de planes de prevención anti-sísmica en la región.

INTRODUCCIÓN

En algunas regiones con alto crecimiento demográfico y sujetas a peligro sísmico, no se cuenta con suficientes observaciones instrumentales que permitan realizar una microzonación de la respuesta sísmica. Este es el caso de la región que incluye a la Ciudad de Tijuana, Baja California, en donde existe la urgente necesidad de disponer de mapas del efecto sísmico sobre los suelos del área metropolitana, ya que el explosivo crecimiento urbano debe ser regulado tomando en cuenta el peligro sísmico esperado para las diferentes zonas de la región. Las condiciones topográficas y los tipos de suelos presentes en la ciudad hacen esperar graves peligros de inestabilidad del relieve topográfico y en las estructuras civiles; en particular, en aquellas estructuras cuyo desperfecto podría afectar gravemente a la población, debido a la creación de riesgo adicional al sísmico (estructuras críticas) y en las instalaciones que deben permanecer en operación después de un terremoto grande (estructuras estratégicas). Dada la inexistencia de datos instrumentales, para obtener un mapa con la distribución del peligro sísmico, es necesario recurrir a la predicción del movimiento esperado del suelo para el máximo terremoto probable. El éxito en la aplicación de las técnicas predictivas del movimiento del suelo depende de los siguientes factores:

- La existencia de ecuaciones predictivas obtenidas a partir de una adecuada base de datos sísmicos, o bien, la posibilidad de extender la aplicabilidad de ecuaciones ya existentes hacia otras zonas con características tectónicas similares a las de la región para la cual fueron elaboradas.
- Un buen conocimiento del marco sismotectónico de la región, para la ubicación precisa de los principales sistemas de fallas activas y sus características dinámicas.
- La microzonación detallada de los factores que controlan el efecto de sitio en la región.

Por definición, la intensidad sísmica es el parámetro de medición del tamaño de un terremoto que está más directamente correlacionado con los daños producidos en las estructuras civiles por la ocurrencia del sismo. Aunque en ingeniería sísmica ha sido una práctica común caracterizar el movimiento del suelo a través de un sólo parámetro, como la aceleración pico, ésta no resulta satisfactoria por las siguientes dificultades fundamentales: es inherentemente imposible describir un fenómeno complejo por medio de un solo parámetro, y ha sido documentada una gran cantidad de observaciones sobre la falta de correlación entre la aceleración pico y el umbral al que ceden las estructuras (Housner y Jennings, 1982).

Entre los intentos que se han realizado para caracterizar más apropiadamente el movimiento del suelo y su relación con los daños estructurales, está el empleo de parámetros múltiples. Esta alternativa es irrealizable cuando no existe una base de datos observados amplia, en tiempo y espacio. Ésto sucede en la región de Tijuana, por lo que en este trabajo se ha optado por utilizar la intensidad sísmica; en la cual, por definición, están condensados todos los efectos capaces de causar daño a las estructuras. Con las intensidades sísmicas se puede producir un mapa que sirva de base para la evaluación de daños estructurales esperados, la planificación del desarrollo urbano y la preparación de planes de prevención y respuesta ante un terremoto fuerte.

Reichle *et al.* (1990) y Reichle (1991) presentaron un escenario sísmico para la región San Diego-Tijuana, resultado del rompimiento propuesto para la falla Silver Strand ($M=6.8$) y predijeron intensidades de IX en el centro de San Diego y de VIII en el área urbana de Tijuana, estimadas con relaciones empíricas entre intensidad y aceleración pico; esta última, a su vez, fue estimada con un modelo numérico. En esos trabajos, el rompimiento de falla propuesto fue elegido por la cercanía de esta falla a la zona urbana de San Diego; el efecto de sitio fue introducido a través de una separación simple entre suelo firme y depósitos aluviales.

Sangines *et al.* (1991) presentaron un mapa de Intensidades de Mercalli Modificada (IMM) del área metropolitana de San Diego, para un rompimiento propuesto de la falla Rose Canyon ($M=7$), con un máximo de intensidad X en el centro de la Ciudad. Estos autores utilizaron una técnica predictiva para la aceleración máxima esperada sobre aluvión firme y aplicaron correcciones basadas en condiciones geológicas locales, y una relación empírica entre la aceleración y la intensidad de Mercalli.

Anderson *et al.* (1989) presentaron una discusión de mapas de isosistas observadas para el sur de California y norte de Baja California, generados a partir de los trabajos de Brazee y Cloud (1958), Stover y Von Hake (1981) y Toppozada *et al.* (1981) para tres sismos históricos de magnitudes mayores o iguales que 6.5, todos ellos ocurridos en sistemas de fallas alejados más de 100 km de Tijuana (Imperial (1979), San Miguel (1956) y algún punto entre Tecate y Mexicali, Baja California (1892)), que muestran intensidades máximas de VI para Tijuana. Agnew *et al.* (1979) reportaron un máximo de IMM=VII para la sismicidad histórica en la región desde 1800. El sismo de la falla Imperial 1979 ($M_s=6.5$), produjo intensidades máximas de IMM=V en el área de Tijuana (Reagor *et al.*, 1985).

Montalvo Arrieta (1996) presentó un análisis de estabilidad de laderas en la región de Tijuana, utilizando como factor de inestabilidad la energía sísmica esperada en la superficie del suelo a partir del rompimiento propuesto de la falla La Nación ($M_w=6.5$); concluyó que ese rompimiento produciría deslizamientos de laderas densamente pobladas y el cierre de algunas vías de comunicación importantes.

En trabajos previos realizados en las cercanías de la zona de estudios, se ha puesto énfasis en la estimación de los efectos sísmicos sobre la ciudad de San Diego, aun en aquellos trabajos que han incluido a la ciudad de Tijuana dentro de su área de estudio. Como consecuencia de ello, en esos trabajos se han propuesto los rompimientos de aquellas fallas que implican mayor peligrosidad para San Diego, como es el caso de la falla Silver Strand elegida por Reichle *et al.* (1990) y Reichle (1991). Ninguno de los trabajos previos incluye una clasificación detallada de suelos para la estimación del efecto de sitio en el área de Tijuana.

En este trabajo se presenta una cobertura más apropiada para la región de Tijuana, mediante la elección de la falla más peligrosa para esta ciudad y con un tratamiento de mayor detalle del efecto de sitio, el cual incluye una clasificación de los suelos y la medición *in situ* de las velocidades superficiales de ondas de corte (β).

METODOLOGÍA

En este trabajo, los tres factores del fenómeno sísmico: fuente, trayectoria y sitio son representados de la siguiente manera: el efecto de la trayectoria a través de la atenuación inelástica y la expansión geométrica (Joyner y Boore, 1981, 1982, 1988 y 1993); el efecto de sitio a través de relaciones

empíricas entre la amplificación del movimiento del suelo y la velocidad superficial de ondas de corte (Fumal y Tinsley, 1985; Joyner y Fumal, 1985); el efecto de fuente ha sido representado exclusivamente por la magnitud de momento y la geometría de la falla. No se han considerado efectos de directividad de la fuente por las siguientes razones: recientemente, Somerville *et al.* (1997); propusieron métodos para incluir el efecto de la directividad en las ecuaciones predictivas, tanto en amplitudes como en duraciones, y concluyeron que no es necesario incluir ese efecto para terremotos de magnitudes menores de 6.5 en fallas de cualquier tipo. De acuerdo con los mismos autores, en los terremotos de cualquier magnitud ocurridos en fallas con deslizamiento normal (como La Nación), no son necesarias las consideraciones de directividad en las áreas que se localizan fuera de los extremos de la falla, hasta un límite que forma un ángulo horizontal de 22.5° con la normal al rumbo en cada extremo de la falla. La configuración geométrica entre la falla La Nación y la región estudiada es tal, que esta última queda situada dentro de la zona que Somerville *et al.* (1997) consideraron libre de efectos de directividad.

Se ha demostrado en diversos trabajos (Esteve y Rosenblueth, 1964; Newmark y Rosenblueth, 1976; Trifunac, 1976; Kanai, 1983; Sangines *et al.*, 1991) que existe una clara correlación entre las intensidades sísmicas y los parámetros cuantitativos del movimiento del suelo, como la aceleración y la velocidad máximas. Esto ha dado origen a varios métodos para estimar la intensidad sísmica a partir de parámetros cuantitativos del movimiento del suelo. Uno de esos métodos es el de Esteve y Rosenblueth (1964), que se basa en la correlación entre la IMM y la velocidad pico del movimiento del suelo.

La microzonación del daño sísmico con el uso de relaciones empíricas como la de Esteve y Rosenblueth (1964) será apropiada si se dispone de un conjunto adecuado de datos, con valores de velocidad del movimiento del suelo distribuidos en un arreglo denso de puntos dentro del área que se pretende microzonar. Lo ideal sería obtener esos valores de velocidad a partir de registros instrumentales con una red muy densa de estaciones sismológicas, pero al no existir ésta, puede recurrirse al empleo de técnicas predictivas del movimiento del suelo, siempre y cuando existan ecuaciones empíricas o analíticas lo suficientemente validadas para la región de interés.

En este trabajo, la estimación de los valores de IMM para la región de Tijuana se llevó a cabo usando la relación propuesta por Esteve y Rosenblueth (1964). Es posible determinar los valores de IMM en puntos dentro de una región a partir de los valores de aceleración máxima del movimiento del suelo en esos puntos. Sin embargo, esa aceleración no necesariamente es un buen indicador de los efectos estructurales (Housner y Jennings, 1982). Existe una mayor correlación entre los efectos en las estructuras y otros parámetros sísmicos, en particular con el espectro de respuesta de velocidad relativa (o pseudovelocidad) y con la velocidad máxima del suelo (Newmark y Rosenblueth, 1976). Otro aspecto importante es la ausencia de una correlación clara entre los residuales de la aceleración máxima (valores

observados menos los calculados sin efecto de sitio) y β ; la cual existe para los casos de los espectros de respuesta y la velocidad máxima del terreno (Joyner y Fumal, 1985). Debido a ese problema de falta de correlación, las ecuaciones predictivas de la aceleración máxima, aplicables en el sur de California, no incluyen un término para considerar el efecto de sitio, como es el caso de la ecuación de Joyner y Fumal (1985) y Joyner y Boore (1981, 1982, 1988, 1993), o bien, lo incluyen de forma sólo aproximada (Reichle *et al.*, 1990 y Reichle, 1991, basados en el modelo de Evernden, 1973). Debido a esto, se eligió utilizar la velocidad pico del movimiento del suelo como el parámetro para la estimación de las intensidades sísmicas, a través de la ecuación de Esteva y Rosenbluth (1964), la cual es válida hasta $IMM=IX$ y sobrestima IMM para valores de intensidad mayores.

$$I = \frac{\log 14 v}{\log 2} \quad (2)$$

donde: I = Intensidad de Mercalli Modificada.

v = velocidad horizontal máxima del movimiento del suelo (cm/s)

La velocidad horizontal máxima del movimiento del suelo, con inclusión del efecto de sitio, fue calculada utilizando la ecuación predictiva propuesta por Joyner y Boore (1981, 1982, 1988, 1993) y Joyner y Fumal (1985) para el oeste de Norteamérica:

$$\log v = 2.17 + 0.49(M - 6) - \log r - 0.0026r - 0.45 \log \left(\frac{\beta}{\beta_0} \right) \quad (1)$$

donde: v = velocidad horizontal máxima del movimiento del suelo (cm/s)

$$r = \sqrt{16 + d^2}$$

d = distancia mínima a la proyección superficial de la falla (km)

M = magnitud de momento

β = velocidad de propagación de las ondas de corte en los materiales someros (profundidad $\approx 1/4$ de longitud de onda sísmica)

$$\beta_0 = 1190 \text{ m/s}$$

Algunos autores (Fumal y Tinsley, 1985; Borchardt *et al.*, 1978; Joyner y Fumal, 1985) han encontrado experimentalmente una fuerte correlación inversa entre la velocidad superficial de ondas de corte y la amplificación del movimiento del suelo. La teoría sismológica predice tal efecto, ya que en un medio homogéneo, isotrópico y perfectamente elástico, la energía sísmica que viaja a lo largo de un tubo de rayos es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la impedancia acústica (ρv). Las variaciones en la densidad (ρ) suelen ser pequeñas y correlacionables con la velocidad de propagación (v) (Aki y

Richards, 1980; Bullen y Bolt, 1985), por lo que la amplitud en la superficie, donde se esperan ángulos de incidencia pequeños, será proporcional a la raíz cuadrada del inverso de la velocidad de propagación en los materiales cercanos al sitio de observación.

Para el sur de California, misma provincia tectónica que la región de Tijuana (Legg *et al.*, 1991; Berguer y Schug, 1991), se han derivado relaciones empíricas entre velocidades y amplificaciones (Joyner y Fumal, 1985). Para la derivación del término que representa al efecto de sitio, esos autores partieron de una base de datos consistente en observaciones del movimiento del suelo y valores de β para puntos situados en diferentes tipos de suelos; estimaron los residuales entre los valores observados y los predichos cuando se supone la presencia de roca en todos los puntos. Una regresión lineal entre los logaritmos de los residuales y los logaritmos de β arroja los valores de los coeficientes del término de sitio. El valor β_0 igual a 1190 m/s resulta como parámetro de ajuste en dicha regresión. Si se dispone de mapas con la distribución de β , se pueden emplear tales relaciones para preparar mapas de la amplitud del movimiento del suelo, tomando en cuenta el efecto de sitio.

ÁREA DE ESTUDIO

La Figura 1 muestra la ubicación del área de estudio, que incluye la zona metropolitana de Tijuana, Baja California, México. Esta región se encuentra situada al noroeste del estado de Baja California e incluye hacia el norte la parte sur del área metropolitana de San Diego, California, E. U. A., y hacia el sur la población de Rosarito. Al oeste colinda con el océano Pacífico y al este con la ciudad de Tecate.

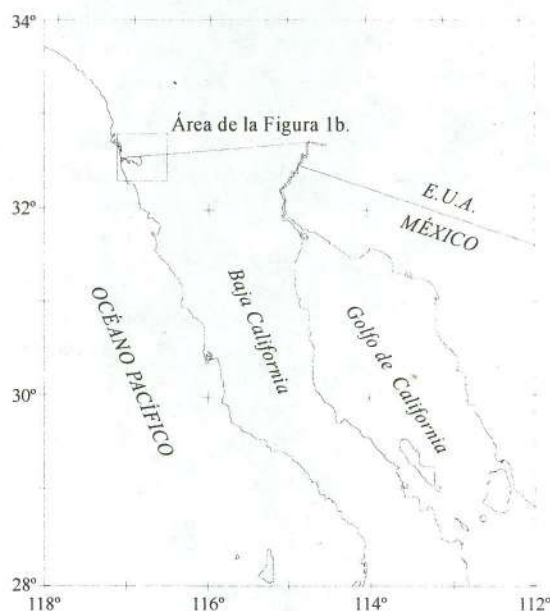


Figura 1.a. Ubicación general del área de estudio con respecto a la Península de Baja California; el recuadro indica la posición del mapa de la Figura 1.b.



Figura 1.b. Ubicación regional del área de estudio (recuadro), en la cual está incluida la zona metropolitana de la Ciudad de Tijuana. La línea discontinua delimita la zona con depósitos aluviales del Río Tijuana y Arroyo Alamar. También se muestra la ubicación de la Falla la Nación, cuyo rompimiento se propone en este trabajo.

TECTÓNICA

La región de estudio está incluida dentro de la llamada zona de cizalla del sur de California (Legg, *et al.*, 1991; Berguer y Schug, 1991), y está expuesta al peligro sísmico originado en varias provincias tectónicas. La sismicidad capaz de afectar al norte de Baja California y sur de California se origina principalmente en los siguientes sistemas de fallas activas (Figura 2): en el oriente, dentro del valle Mexicali-Imperial, los sistemas de fallas Imperial, Cerro Prieto, Cucapá y Laguna Salada; a lo largo del Macizo Rocosó Peninsular, las fallas Agua Blanca y Tres Hermanos y el sistema de fallas San Miguel-Vallecitos-Calabazas; asociada al escarpe del Golfo de California, la falla San Pedro Mártir; al escarpe de la Sierra Juárez, las fallas del mismo nombre; al noroeste de la región, el sistema de fallas Rose Canyon-Silver Strand; al norte, la falla La Nación; hacia el oeste, sobre la plataforma continental del Pacífico, las fallas Coronado Banks y San Clemente (Suárez-Vidal *et al.*, 1991; Munguía y Vidal, 1991; Anderson *et al.*, 1989; Wesnousky, 1986).

SISMICIDAD

Frez y González (1991) concluyeron que la microsismicidad ($M_L < 3.0$) está dominada por enjambres y está bien correlacionada con las fallas mencionadas anteriormente, además de que la mayor parte de los terremotos con $M_L > 6.0$ ocurren a lo largo de las fallas Cerro Prieto, Imperial y San Miguel.

La Figura 3 muestra la sismicidad asociada a las principales zonas sismogénicas situadas dentro y en las vecindades de la región de estudio. En los alrededores de la región de Tijuana-

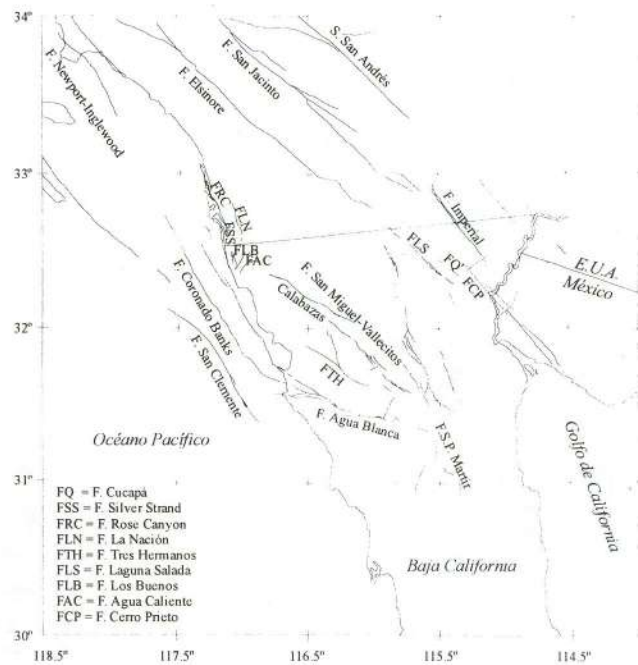


Figura 2. Mapa tectónico del norte de Baja California y sur de California que muestra las principales fallas activas.

San Diego existe una significativa sismicidad asociada a varios sistemas de fallas, como San Miguel-Vallecitos-Calabazas. Por otra parte, las fallas situadas dentro de la región de estudio o muy próximas a ella, tales como los sistemas Rose Canyon-Silver Strand y La Nación, no muestran una clara sismicidad.

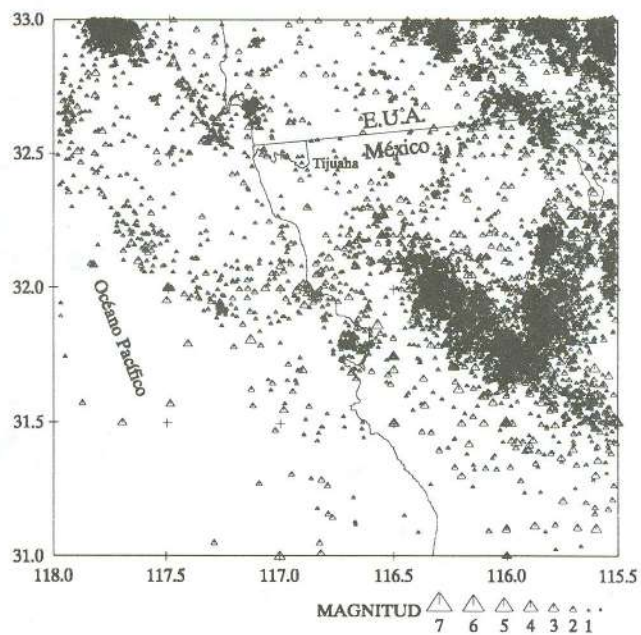


Figura 3. Mapa que muestra la sismicidad del norte de Baja California y sur de California (M2), para el periodo 1937-1997, obtenida del catálogo de Caltech. (La escala de magnitudes se encuentra en el ángulo inferior de la figura).

Algunos autores como Agnew *et al.* (1979), han hecho notar que la sismicidad histórica en la región Tijuana-San Diego es baja en comparación con la sismicidad de toda el área del sur de California y norte de Baja California. Debido a esa quietud sísmica relativa, con frecuencia ha sido calificada esta zona como incapaz de generar sismos con un potencial de daño significativo. Esta calificación se debe al hecho de que las localizaciones exactas de las fallas presentes dentro de la región son poco conocidas por la presencia de zonas urbanizadas o con depósitos aluviales recientes. Esto ocasiona que el conocimiento del peligro sísmico sea incompleto, aun cuando se conozcan las tendencias generales de los principales sistemas de fallas. En años recientes esta interpretación ha cambiado debido a las evidencias concluyentes sobre la actividad en el Holoceno de los sistemas de fallas Rose Canyon-Silverstrand y de la falla La Nación, aportadas por estudios de trincheras en las trazas de estas fallas (Reichle *et al.*, 1990; Lindvall *et al.*, 1990; Treiman, 1984 y 1989; Schug, 1989; Wesnousky, 1986; Anderson *et al.*, 1989; Raines *et al.*, 1990; Artim y Pinckney, 1973; Lindvall y Rockwell, 1995).

Existe una aparente contradicción entre la baja actividad sísmica registrada instrumentalmente en la región y las evidencias de desplazamientos de las fallas durante el Holoceno. Reichle *et al.* (1990) trataron de explicar lo anterior aduciendo que la falta de sismicidad de fondo se debe a un periodo de quietud actual en las fallas, lo cual no implica que los sistemas de fallas asociados a la región no sean peligrosos, sino más

bien que los periodos de recurrencia promedio para terremotos en la región son mayores que la historia de registros instrumentales. Mendoza *et al.* (1992) analizaron la posibilidad de variaciones en la tasa de actividad sísmica reportada en la región, debidas a cambios en la cobertura instrumental del área y concluyeron que no existe variación significativa que pueda ser correlacionada con esa cobertura.

LITOLOGÍA

El basamento en la región de Tijuana está constituido por las secuencias vulcanosedimentarias de la formación Alisitos (Cretácico), rocas ígneas intrusivas del Batolito Peninsular y rocas sedimentarias de la Formación Rosario (Cretácico Superior) (Gastil *et al.*, 1975 y Flynn, 1970). Las formaciones postbatolíticas que sobreyacen al basamento están constituidas por intercalaciones de rocas vulcanoclásticas y sedimentarias de la formación Rosarito Beach y por rocas sedimentarias de las formaciones San Diego y Lindavista del Plio-Pleistoceno (Minch, 1967; Aragón, 1994; Delgado-Argote *et al.*, 1996; Montalvo Arrieta, 1996).

Superficialmente, existen depósitos aluviales del Plio-Cuaternario asociados a los arroyos y cañones que atraviesan el área, como los cauces del Arroyo Alamar y del Río Tijuana. La Figura 4 muestra la distribución de la litología superficial, que conforma los diferentes tipos de suelos de la región.

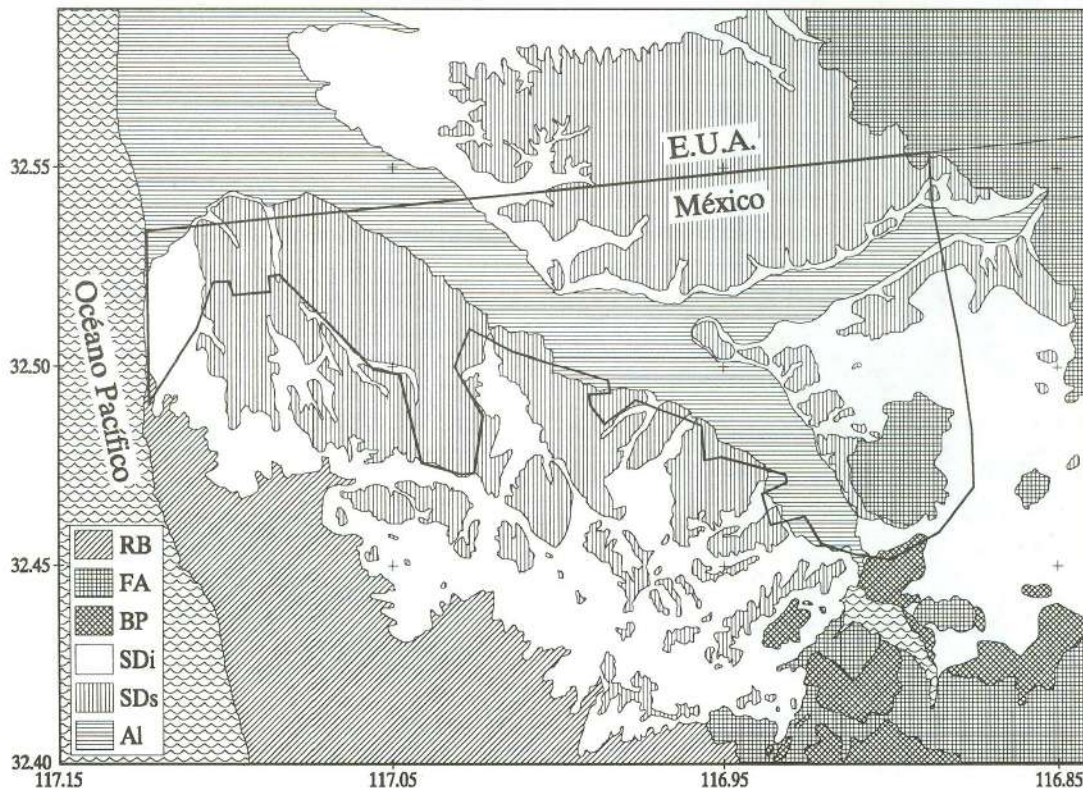


Figura 4. Distribución de las formaciones geológicas que afloran en el área de estudio, Rosarito Beach (RB), Alisitos (FA), Batolito Peninsular (BP), San Diego Inferior (SDi), San Diego Superior (SDs) y Aluvión (Al). Elaborado a partir de cartas geológicas de INEGI (1976, escala 1:50,000); Gastil *et al.* (1975); Aragón (1994); Delgado *et al.* (1996); Montalvo Arrieta (1996).

DATOS

Las consideraciones expuestas sobre la sismicidad asociada a la región de estudio, deja clara la necesidad de considerar la posibilidad del rompimiento de aquella falla sobre la cual existen evidencias de actividad en el Holoceno, y cuyo rompimiento represente el mayor peligro para la región de estudio. Esto nos conduce a presentar el panorama del peor caso posible desde el punto de vista de los efectos sísmicos. Asociadas a la región de estudio existen varias fallas capaces de generar sismos significativos; sin embargo, para algunas de éstas no existen datos completos o fidedignos sobre los parámetros geométricos y dinámicos necesarios para aplicar ecuaciones predictivas. Por ello, la falla cuyo rompimiento propuesto permite fabricar un mapa de intensidades esperadas, se ha seleccionado entre las más peligrosas para las cuales existen en la literatura los parámetros necesarios.

Se propone el rompimiento de la Falla La Nación por las siguientes razones:

- 1) su posición implica un riesgo alto para la región de Tijuana;
- 2) su longitud probable de rompimiento es lo suficientemente grande para generar sismos de magnitud mayor de 6;
- 3) ha mostrado evidencias de actividad en el Holoceno (Artim y Pinckney, 1973).

El rompimiento de la Falla La Nación produciría fuertes daños sobre las zonas urbanas de Tijuana con la mayor densidad de población y donde están asentados comercios, edificios públicos y de asistencia, los aeropuertos civil y militar y las garitas internacionales (zonas norte y centro de Tijuana).

La Figura 1 muestra la ubicación de la Falla La Nación, la cual se extiende en su extremo norte hasta La Mesa y hacia el sur hasta San Ysidro, California, perdiéndose su rastro aproximadamente a 2 km al norte de la frontera internacional México-Estados Unidos. La Tabla 1 muestra los parámetros geométricos y dinámicos para esta falla (Reichle *et al.*, 1990; Lindvall *et al.*, 1990; Treiman, 1984, 1989; Schug, 1989; Wesnousky, 1986; Anderson *et al.*, 1989; Raines *et al.*, 1990; Artim y Pinckney, 1973), los cuales fueron empleados para la estimación del momento sísmico con la ecuación (3) (Aki y Richards, 1980) y la magnitud de momento con la ecuación (4) (Hanks y Kanamori, 1979).

$$M_o = \mu \bar{U} A \quad (3)$$

donde:

M_o = momento sísmico (dinas-cm),

μ = módulo de rigidez promedio para la corteza $\approx 3 \times 10^{11}$ dinas/cm²,

$\bar{U}$ = desplazamiento promedio sobre la falla (cm),

A = área del plano de la falla (cm²).

Con base en lo anterior, la magnitud de momento (M_w) es:

$$M_w = \left(\frac{\log M_o}{1.5} \right) - 10.73 \quad (4)$$

La magnitud de momento obtenida es de 6.5 (ver Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de la Falla La Nación, cuya ruptura se propone (Reichle *et al.*, 1990; Lindvall *et al.*, 1990; Treiman, 1984 y 1989; Schug, 1989; Wesnousky, 1986; Anderson *et al.*, 1989; Raines *et al.*, 1990; Artim y Pinckney, 1973). La última columna muestra el valor calculado en este trabajo para la magnitud máxima esperada por el rompimiento de la falla en toda su extensión.

Falla	Tipo de falla	Longitud estimada (km)	Anchura (km)	Desplazamiento promedio (cm)	Magnitud máxima esperada
La Nación	normal	28	12	80.64	6.5

Para incluir el efecto de sitio en las predicciones de la velocidad máxima del movimiento del suelo, se obtuvieron los valores de las velocidades superficiales de ondas de corte β en los diferentes tipos de suelos existente en la región de estudio. Para ello, se clasificaron los suelos en siete tipos diferentes, indicados en la Tabla 2. Existen valores reportados de β para el estado de California (Fumal y Tinsley, 1985), en materiales similares a los encontrados en la clasificación de la Tabla 2; sin embargo, para un mismo tipo de material se suelen encontrar variaciones significativas en los valores de β , por lo que en la región de Tijuana se llevaron a cabo mediciones *in situ* de esas velocidades. Se hicieron 14 perfiles cortos de refracción dentro de la región, sobre los siguientes suelos: 3 en aluvión, 2 en arenisca, 4 en arenisca-conglomerado, 2 en limolita-arenisca, 1 en basalto, 1 en andesita y 1 en granito. Se utilizó un sismógrafo digital de 24 canales, con longitud de tendido de 115 m. Como fuente de ondas de corte se aplicaron golpes horizontales, con marro, en las paredes verticales de trincheras practicadas en el suelo. La Tabla 2 presenta las velocidades β promedio obtenidas en cada uno de los siete tipos de suelos, como comparación también se muestran los valores reportados en la literatura para el sur de California. La Figura 5 muestra los contornos de igual velocidad superficial de ondas de corte.

Tabla 2. Valores de las velocidades superficiales de ondas de corte (β) de acuerdo a los tipos de suelo presentes en la región. La segunda columna muestra los valores promedio encontrados en la literatura para California. La tercera columna muestra los valores promedio medidos con perfiles cortos de refracción en la región de estudio.

Tipo de suelo	β promedio en la literatura (m/s)	β medida en la región (m/s)
aluvión	195	188
basalto	500	500
limolita-arenisca	250	226
arenisca-conglomerado	315	393
conglomerado	300	300

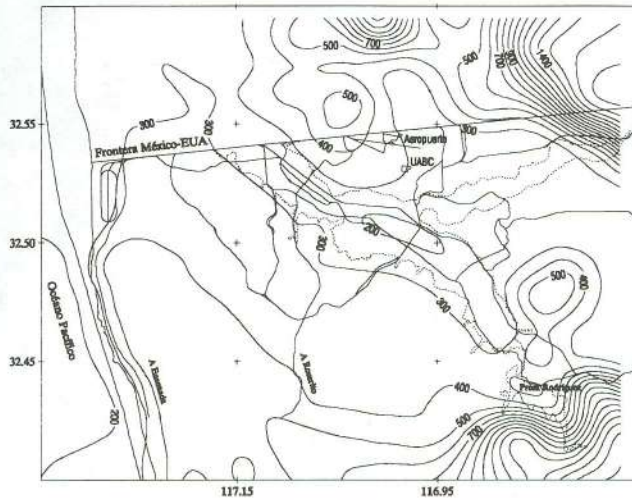


Figura 5. Contornos de la velocidad de propagación de ondas de corte (m/s) en los materiales superficiales de la región de estudio, verificadas en los diferentes tipos de suelos de la región con perfiles cortos de refracción.

Los parámetros de falla de la Tabla 1 fueron sustituidos en las ecuaciones (3) y (4), y la magnitud resultante, junto con los valores de β de la Tabla 2, fueron sustituidos en la ecuación 1 para la estimación de los valores de la velocidad horizontal máxima del movimiento del suelo en 2470 puntos distribuidos dentro de la región de estudio. Estas operaciones se realizaron con un programa computacional que estima las distancias más cortas entre la proyección superficial de la falla propuesta y cada uno de los puntos de cálculo. Los resultados de este proceso se presentan en el mapa de contornos de isovelocidad de la Figura 6.

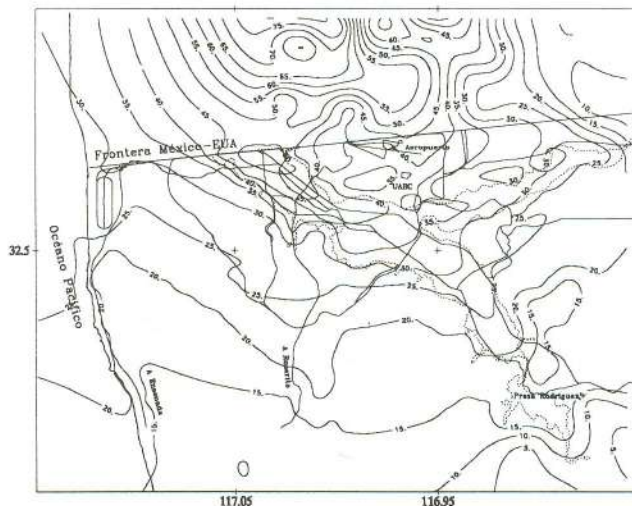


Figura 6. Distribución de los valores de la velocidad horizontal máxima (cm/s) del movimiento del suelo, con efecto de sitio, a partir del rompimiento propuesto de la Falla la Nación ($M_w = 6.5$). Contornos construidos a partir de una rejilla de 2470 puntos donde se calcularon las velocidades.

A partir de estos datos de velocidades máximas, se estimaron los valores de intensidades sísmicas esperadas en la

región como consecuencia del rompimiento de la Falla La Nación ($M_w=6.5$), con base en la ecuación 2. La Figura 7 muestra los valores de intensidades sísmicas sin efecto de sitio, obtenidas al eliminar los valores de β (último término de la ecuación 1). La Figura 8 muestra los contornos de isosistas con efecto de sitio, estimadas al incluir las velocidades β .

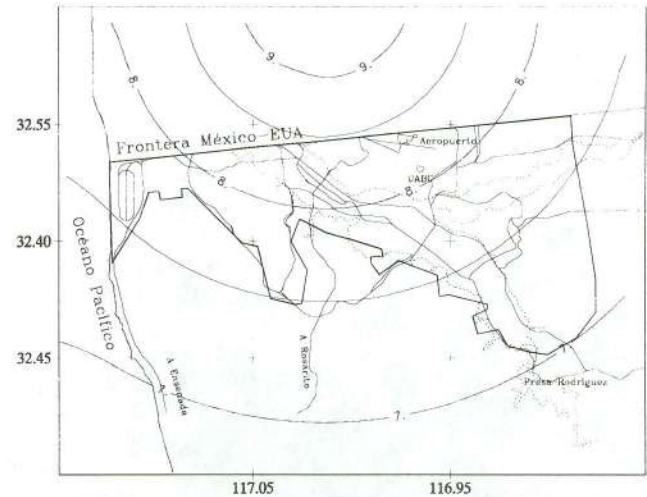


Figura 7. Distribución de las isosistas esperadas, sin efecto de sitio, en el área de estudio, obtenidas a partir del rompimiento propuesto de la Falla la Nación ($M_w = 6.5$).

DISCUSIÓN

Es pertinente hacer las siguientes observaciones sobre los mapas predictivos de intensidades sísmicas:

- Sirven para la caracterización de la respuesta sísmica esperada en la región de interés.
- Sirven para la delimitación de zonas propensas a daños fuertes.
- La distribución de los valores de intensidades sísmicas predichos no debe ser usada como criterio único y definitivo para el diseño de estructuras resistentes a sismos, sino que debe emplearse junto con otro tipo de observaciones sísmicas con el fin de validar la distribución propuesta para el daño.
- Los mapas deben ser usados como guías para llevar a cabo estudios específicos en las zonas marcadas con alto potencial de daño.

La Figura 7 pertenece al tipo de mapas que se basaban en la consideración de dos de los tres factores que intervienen en el fenómeno sísmico; en las características de la fuente, expresadas por medio de la geometría de la falla y la magnitud de momento; y en las características de la trayectoria de propagación, expresadas por medio de las leyes de atenuación inelástica y expansión del frente de onda.

El tercer factor del fenómeno sísmico, obviado en el mapa de isosistas de la Figura 7, se refiere al efecto de las condiciones locales o efecto de sitio. La distribución de intensidades muestra

una dependencia clara con las características geométricas de la falla y el decaimiento con la distancia, uniforme en todas direcciones. El empleo de un mapa de este tipo para propósitos de microzonación de los daños esperados, puede conducir a serios errores de juicio cuando se aplican sus valores al diseño de estructuras críticas y estratégicas.

En contraste, la Figura 8 muestra el mapa de isosistas predicho con la inclusión del efecto de sitio. El decaimiento de la intensidad con la distancia se comporta ahora de manera irregular en comparación con el mostrado en el mapa de la Figura 7, debido a las variaciones en el tipo de suelo.

El efecto más notable se presenta en aquellas zonas donde existen suelos blandos, con una consecuente baja velocidad β . El efecto de sitio en esas zonas se manifiesta como un incremento en los valores de intensidad sísmica, tal como sucede en la zona de depósitos aluviales del río Tijuana, en donde la isosista de intensidad IX se prolonga en dirección sureste, delineando adecuadamente esa zona. La correlación entre los tipos de suelos y la distribución de intensidades es clara al comparar los mapas de las Figuras 4, 5 y 8.

Las velocidades β , medidas con perfiles cortos de refracción, resultaron prácticamente iguales a las reportadas por Fumal y Tinsley (1985) para California (con perfiles sísmicos verticales en pozos), lo que asegura que la técnica utilizada en este trabajo permite obtener estimaciones adecuadas de β hasta profundidades del orden de decenas de metros. Esto es importante ya que los perfiles cortos de refracción son fáciles y rápidos de aplicar en cualquier punto de interés, comparados con los perfiles de pozos.

CONCLUSIONES

Se ha obtenido un mapa de isosistas esperadas para la región de Tijuana, Baja California, como consecuencia del posible rompimiento de la Falla La Nación ($M_w = 6.5$). La ecuación predictiva empleada en los cálculos, la cual incluye el efecto de sitio, produjo resultados sensibles a las variaciones en los tipos de suelo presentes en la región de estudio.

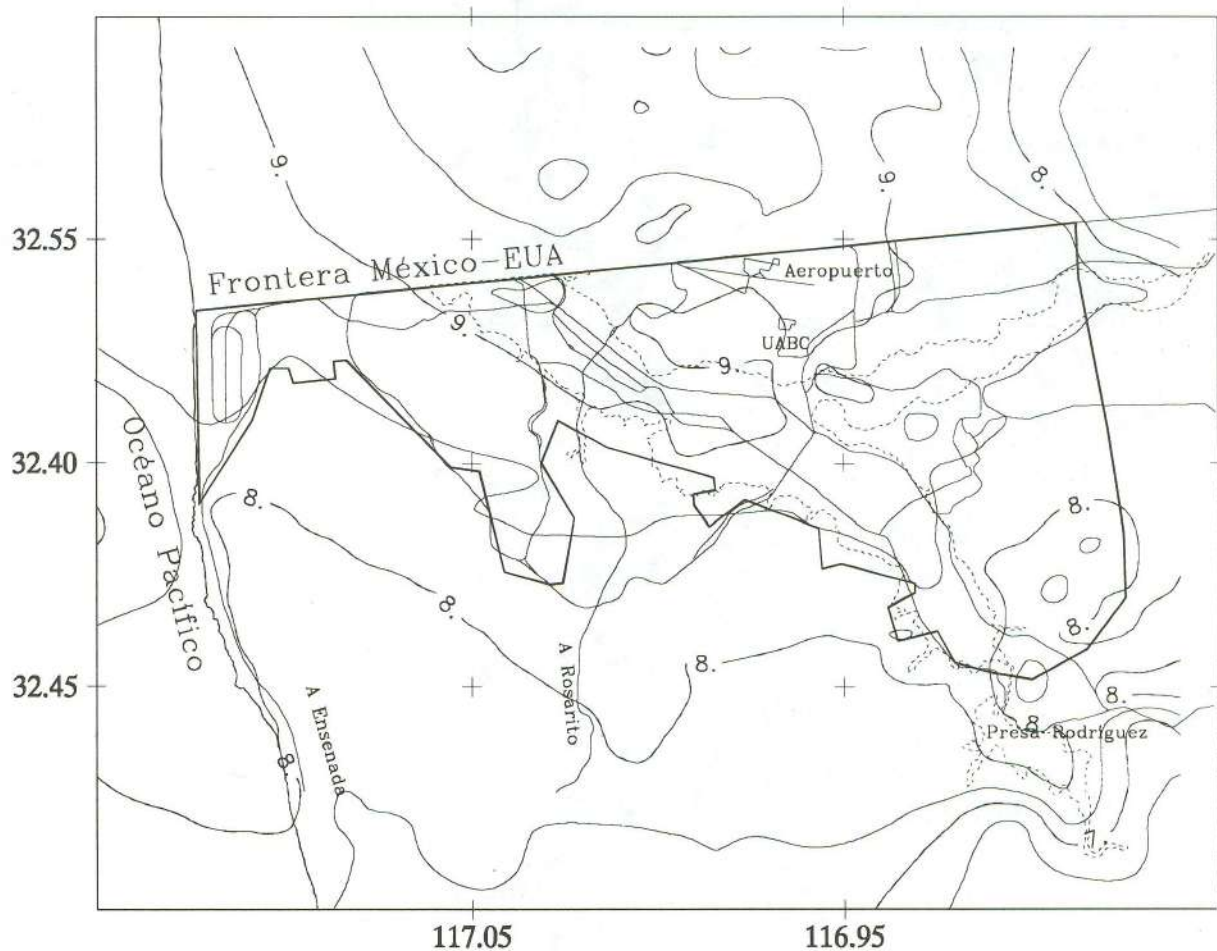


Figura 8. Distribución de las isosistas esperadas, con efecto de sitio, en el área de estudio, obtenidas a partir del rompimiento propuesto de la Falla la Nación ($M_w = 6.5$).

Dentro de la región de Tijuana, la intensidad máxima estimada es de IX, y se localiza en la zona del cauce del río Tijuana y de los aeropuertos civil y militar. Los valores de intensidad disminuyen hacia el sur; la intensidad VIII cubre casi en su totalidad la región de estudio. Se obtuvieron intensidades de VII hacia el sur de la Presa A. L. Rodríguez. Es particularmente importante el comportamiento de la isosista IX ya que, aunque cubra una extensión relativamente pequeña de la región de estudio, es en ésta donde se asienta el mayor desarrollo urbano de la ciudad, donde existe una gran concentración de la población y de instalaciones críticas y estratégicas, muchas de ellas vitales para la atención a la población después de un sismo grande, tales como centros de coordinación, de gobierno, hospitalarios, de abasto y de comunicaciones.

El mapa de isosistas de la Figura 8 puede servir a los especialistas en ingeniería civil para llevar a cabo análisis de los daños estructurales esperados en la zona urbana de Tijuana, en la eventualidad del terremoto que se considera más peligroso para la ciudad. Al presentar los efectos sísmicos por medio de intensidades, se pretende facilitar la interpretación de los daños esperados, dada una clasificación de las estructuras de acuerdo al tipo y calidad de construcción. Queda fuera del alcance de este trabajo conseguir tal clasificación para los edificios asentados en la región, pero se puede describir de forma general el grado de daño esperable dentro de la zona que presenta la mayor intensidad sísmica.

De acuerdo con la descripción de la escala de IMM, la intensidad de IX estimada para la zona del cauce del río Tijuana implica daños con las siguientes características: las edificaciones asentadas en ese cauce sufrirán mayor o menor daño dependiendo del tipo de estructuras. Las estructuras construidas con materiales débiles (tales como adobe) serán destruidas (tipo D, de acuerdo a la clasificación de estructuras especificada en la Escala Modificada de Mercalli; Bolt, 1978; Nava, 1987); las estructuras ordinarias con cemento no reforzado serán severamente dañadas (tipo C); las estructuras bien diseñadas y reforzadas, pero no diseñadas para resistir fuerzas laterales (tipo B) serán seriamente dañadas. Por último, las estructuras del tipo A serán las que menor daño sufran, ya que son edificaciones bien diseñadas, reforzadas y pueden resistir fuerzas laterales, aunque pueden sufrir inclinaciones.

Los mapas predictivos de la respuesta sísmica, como el presentado en este trabajo, sirven como guías para la elaboración de planes de prevención, tales como reforzamiento de estructuras críticas y estratégicas, ubicación y desarrollo de vías de comunicación alternas, etcétera. Asimismo, pueden emplearse en la preparación de planes de respuesta a la contingencia sísmica, tales como movilizaciones, servicios médicos y de bomberos, abastecimiento de agua y alimentos. Además sirven como guías para la planificación del desarrollo urbano.

La elección de la falla cuyo rompimiento se propone, fue hecha con el criterio de crear el peor escenario posible derivado del terremoto asociado a su rompimiento. En la región de

estudio, o en sus cercanías, existen varias fallas capaces de generar sismos fuertes; sin embargo, resulta conveniente presentar los efectos esperados a partir de la ocurrencia de un solo terremoto considerado como más peligroso de acuerdo con la información tectónica que exista. Esta es la práctica común en todos los trabajos previos hechos en diferentes regiones y es la que se siguió en este trabajo. Es imprescindible que se realicen estudios posteriores en la misma región de Tijuana para conseguir escenarios esperados para otras fallas importantes asociadas a la región. Sobre algunas fallas ya existe información suficiente para llevar a cabo tales estudios (Silver Strand, Rose Canyon, Newport-Inglewood, San Jacinto, por ejemplo). Otras fallas podrían ser consideradas en la medida en que existan valores confiables de sus parámetros geométricos y dinámicos (Agua Caliente, Los Buenos, San Miguel-Vallecitos-Calabazas, por ejemplo).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la participación de nuestros colaboradores técnicos Susana Álvarez Tinajero y Gustavo Arellano Zepeda, quienes realizaron trabajo de campo y procesamiento de los datos de velocidades superficiales de ondas de corte. Agradecemos también los arbitrajes de Luis Munguía Orozco y un revisor anónimo, cuyas críticas y recomendaciones ayudaron a mejorar considerablemente el manuscrito.

REFERENCIAS

- Agnew, D. C., Legg, M., and Strand, C., 1979, Earthquake history of San Diego, in: P. Abbot and W. Elliot, editors, Earthquakes and other perils: San Diego region, San Diego Association of Geologists, San Diego, California, 123-128.
- Aki, K., and Richards, P. G., 1980, Quantitative Seismology. Theory and Methods, volume I, Freeman Press, 557 pp.
- Anderson, J. G., M. ERRI, Rockwell, T. K., and Agnew, D. C., 1989, Past and possible future earthquakes of significance to the San Diego region, Earthquake Spectra, 5, 299-333.
- Aragón, M. J., 1994, Evaluación de riesgo geológico debido a movimientos de ladera en la ciudad de Tijuana, B.C., México, tesis de maestría, CICESE. 124 pp.
- Artim, E. R., and Pinckney, C. J., 1973, La Nacion fault system, San Diego California, Geological Society of America Bulletin, 84, 1075-1080.
- Berguer, V., and Schug, D., 1991, Probabilistic evaluation of seismic hazard in the San Diego-Tijuana Metropolitan Region, in: P. L. Abbott and W. J. Elliot, editors, Environmental Perils San Diego, Geological Society of America, Annual meeting and San Diego Association of Geologists, 89-100.
- Borcherdt, R. D., Gibbs, J. F., and Fumal, T. E., 1979, Progress on ground motion predictions for the San Francisco Bay region, California, in: E. Brabb, editor, Progress on seismic zonation in

- the San Francisco Bay region, U.S. Geological Survey, circular 807, 13-25.
- Bolt, B. A., 1978, Earthquakes, Freeman and Company, New York, 241 pp.
- Brazee, R. J., and Cloud, W. K., 1958, United States earthquakes 1956, U. S. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey, Washington.
- Bullen, K. E., and Bolt, B. A., 1985, An introduction to the theory of seismology, Cambridge University Press, 499 pp.
- Delgado-Argote, L. A., Hinojosa-Corona, A., Aragón-Arreola, M. y Frías-Camacho, V. M., 1996, Estudio de riesgo geológico en Tijuana, Baja California, con base en rasgos estructurales y la respuesta del terreno, *Geos, Unión Geofísica Mexicana*, 16, 57-89.
- Esteve, L. y Rosenblueth, E., 1964, Espectros de temblores a distancias moderadas y grandes, *Boletín de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica*, 2, 1-18.
- Evernden, J. F., Hibbard, R. R., and Schneider, J. F., 1973, Interpretation of seismic intensity data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 63, 399-422.
- Flynn, C., 1970, Post-Batholithic geology of the La Gloria-Presa Rodriguez area, Baja California, Mexico, *Geological Society of America Bulletin*, 81, 1789-1806.
- Frez, J., and González, J., 1991, Crustal structure and seismotectonics of the northern Baja California, *in: J. P. Dauphin and B. R. T. Simoneit, editors, The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, American Association of Petroleum Geologists, memoir 47, 261-283.
- Fumal, T. E., and Tinsley, J. C., 1985, Mapping shear-wave velocities of near-surface geologic materials, *in: J. I. Ziony, editor, Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region*, U. S. Geological Survey, professional paper 1360, 127-150.
- Gastil, R. G., Phillips, R. P., and Allison, E. C., 1975, Reconnaissance geology of the state of Baja California, *Geological Society of America, memoir 140*, 1-170.
- Hanks, T. C., and Kanamori, H., 1979, A moment magnitude scale, *Journal of Geophysical Research*, 84, 2981-2987.
- Housner, G. W., and Jennings, P. C., 1982, Earthquake design criteria, National Science Foundation, 140 pp.
- Joyner, W. B., and Boore, D. M., 1981, Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71, 2011-2038.
- Joyner, W. B., and Boore, D. M., 1982, Prediction of earthquake response spectra, proceedings of the 51st. anniversary convention, Structural Engineering Association of California, also U.S. Geological Survey, open-file report, 82-977, 1-16.
- Joyner, W. B., and Fumal, T. E., 1985, Predictive mapping of earthquake ground motion, *in: J.I. Ziony, editor, Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region*, An earth-science perspective, U.S. Geological Survey, professional paper 1360, 203-220.
- Joyner, W. B., and Boore, D. M., 1988, Measurement, characterization and prediction of strong ground motion, *in: proceedings. conference on earthquake engineering and soil dynamics II*, GT Div/ASCE, Park City, Utah, 27-30 June 1988, 43-102.
- Joyner, W. B., and Boore, D. M., 1993, Methods for regression analysis of strong-motion data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83, 469-487.
- Kanai, K., 1983, Engineering Seismology, University of Tokyo Press, 251 pp.
- Legg, M. R., Wong ortega, V., and Suarez Vidal, F., 1991. Geologic structure and tectonics on the inner continental borderland of northern Baja California, *in: J. P. Dauphin, and B. R. T. Simoneit, editors, The gulf and peninsular province of the Californias*, American Association of Petroleum Geologists, memoir 47, 145-177.
- Lindvall, S. C., Rockwell, T. K., and Lindvall, C. E., 1990, The seismic hazard of San Diego revised: new evidence for magnitude 6+ Holocene earthquake on the Rose Canyon fault zone, *in: proceedings 4th U.S. conference on earthquake engineering*, Earthquake Engineering Research Institute, 1, 679-688.
- Lindvall, S. C., and Rockwell, T. K., 1995, Holocene activity of the Rose Canyon fault zone in San Diego, California, *Journal of Geophysical Research*, 100(B12), 24121-24132.
- Mendoza, L. H., Acosta, J. G., Huerta, C. I., González, J. J., Delgado, L. A. y Martín, A., 1992, Estudio para la estimación del riesgo geológico y sísmico en la colonia Del Río y anexa en la ciudad de Tijuana, B.C., Informe técnico preparado para la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas del Estado de Baja California, 150 pp.
- Minch, J.A., 1967, Stratigraphy and structure of Tijuana-Rosarito Beach area, northwestern Baja California, Mexico, *Geological Society of America Bulletin*, 78, 1155-1178.
- Montalvo Arrieta, J. C., 1996, Deslizamientos de laderas inducidos por terremotos en la ciudad de Tijuana, B.C, tesis de maestría, CICESE, 128 pp.
- Munguía, L., and Vidal, A., 1991, Seismicity of the northern Baja California region: 1980-1990, *in: P. L. Abbott, and W. J. Elliot, editors, Environmental Perils San Diego*, Geological Society of America, annual meeting, and San Diego Association of Geologists, 61-74.
- Nava, A., 1987, Terremotos, La ciencia desde México / 34, Fondo de Cultura Económica, México, 158 pp.
- Newmark, N. M. y Rosenblueth, E., 1976, Fundamentos de ingeniería sísmica, Editorial Diana, México, 663 pp.
- Raines, G. L., Hatch, M. E., and Haley, S. C., 1991, Liquefaction potential in the San Diego-Tijuana area, *in: P. L. Abbott, and W. J. Elliot, editors, Environmental perils San Diego*, Geological Society of America, annual meeting, and San Diego Association of Geologists, 109-118.

- Reagor, B. G., Stover, C. W., Steinbruge, K. V., Hubiak, P., Hopper, M. G., and Barnhard, L. M., 1985, Preliminary evaluation of the distribution of seismic intensities, *in*: The Imperial Valley California, earthquake of october 15, 1979, U. S. Geological Survey, professional paper 1254, 251-258.
- Reichle, M., Kahle, J. E., Atkinson, T. G., Johnson, E. H., Olson, R. A., Lagario, H. J., Steinbruge, K. V., Cluff, L. S., Haney, T. P., and Powers, J. E., 1990, Planning scenario for a major earthquake, San Diego-Tijuana metropolitan area, California Department of Conservation, Division of Mines and Geology, special publication 100, 189 pp.
- Reichle, M., 1991, Earthquake planning scenario for the San Diego-Tijuana area, *in*: P. L. Abbott, and W. J. Elliot, editors, Enviromental perils San Diego, Geological Society of America, annual meeting, and San Diego Association of Geologists, 127-136.
- Sangines, E. M., Campbell, K. W., and Seligson, H. A., 1991, Ground motion, intensity, and damage expected in the metropolitan San Diego area as a result of a M=7 earthquake on the Rose Canyon fault, *in*: P. L. Abbott, and W. J. Elliot, editors, Enviromental perils San Diego, Geological Society of America, annual meeting, and San Diego Association of Geologists, 101-108.
- Schug, D., 1989, Impacts of the Rose Canyon fault zone in downtown San Diego, California, *in*: proceedings, workshop on the seismic risk in the San Diego region, special focus on the Rose Canyon fault system 14-16.
- Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W., and Abrahamson, N. A., 1997, Modification of empirical strong ground motion attenuation ralations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity, *Seismological Research Letters*, 68, 199-222.
- Stover, C. W., and Von Hake, C. A., 1981, United States earthquakes, 1979, U. S. Department of the Interior, Geological Survey, and U. S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Golden, Colorado 23 pp.
- Suarez-Vidal, F., Armijo, R., Bodin, P., and Gastil, R. G., 1991, Framework of recent and active faulting in northern Baja California, *in*: J. P. Dauphin, and B. R. T. Simoneit, editors, The gulf and peninsular province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists, memoir 47, 285-299.
- Toppozada, T. R., Parke, D. L., and Real, C., 1981, Preparation of isoseismal maps and summaries of reported effects for pre-1900 California earthquakes, California Division of Mines and Geology, open-file report 82-17, 65 pp.
- Treiman, J.A., 1984, The Rose Canyon fault zone; a review and analysis, California Division of Mines and Geology, report to the Federal Emergency Management Agency, Cooperative Agreement EMG-83-k-0148,106.
- Treiman, J., 1989, The Rose Canyon fault zone: a historical review, *in*: proceedings, workshop on the seismic risk in the San Diego region, special focus on the Rose Canyon fault system 10-13
- Trifunac, M. D., 1976, A note on the range of peak amplitudes of recorded accelerations, velocities and displacements with respect to the Modified Mercalli Intensity scale, *Earthquake Notes* 47, 9-24.
- Wesnousky, S. G., 1986, Earthquakes, quaternary faults, and seismic hazard in California, *Journal of Geophysical Research*, 91(B12), 12587-12631.

GRANITOIDES EN EL NORESTE DE SIERRA JUÁREZ, BAJA CALIFORNIA: UNA HISTORIA DE EMPLAZAMIENTO PARA LA PARTE NORTE DEL BATOLITO ORIENTAL DEL CRETÁCICO TARDÍO

J.G. Héctor Romero-Espejel y Luis A. Delgado-Argote

Depto. de Geología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, B.C.

E-mail: hromero@cicese.mx

RESUMEN

En la parte E del *Complejo Batolítico Peninsular*, el *Batolito Oriental* está constituido por rocas intrusivas de composición tonalítica a granítica que representan fases de intrusiones múltiples derivadas principalmente por fusión de la corteza continental baja. Su emplazamiento ocurrió durante el desarrollo del arco magmático del Cretácico Tardío. En este trabajo se presentan las variaciones de los granitoides de una área poco estudiada en el N del escarpe del golfo y en la margen NW de la Laguna Salada.

A partir de la cartografía geológica a escala 1:25,000, análisis petrográfico y estructural, se discriminaron cuatro granitoides principales y cuatro variaciones menores que delinean dos cinturones composicionales con orientación NNW, cortados por diques aplítico-pegmatíticos. La parte E contiene al cinturón tonalítico, con tres cuerpos principales que incluyen enclaves alargados de composición diorítica, cuerpos tabulares tonalíticos con textura de segregación tipo *schlieren* y una posible variación de composición granodiorítica que contiene granate, cercana al contacto con rocas metamórficas carbonatadas. El cinturón granodiorítico está en la parte W del área y está formado por un cuerpo granodiorítico ligeramente anisotrópico del que se segregaron diques con orbículas de feldespato, cuarzo y esfena, emplazados en las inmediaciones del contacto con el cuerpo tonalítico más antiguo.

Los cuerpos mayores ascendieron y se emplazaron por procesos diapíricos y de expansión. Los enclaves son producto de la asimilación incompleta de magmas antiguos o de anfíbolitas. Las segregaciones tipo *schlieren* parecen ser producto de diferenciación en los granitoides de tonalita. Los diques con orbículas la granodiorita con granate se derivaron por procesos de diferenciación. Los diques aplítico-pegmatíticos fueron producto de la segregación y circulación de las soluciones residuales derivadas de los cuerpos principales y su emplazamiento fue dominado por los patrones de fracturamiento y fallamiento asociados con la disminución de volumen en los cuerpos principales. Estos granitoides fueron generados en dos ciclos de magmas de tercera derivación. Los granitoides tonalíticos son similares a los plutones tipo *Pre La Posta* de más de 107 Ma, y los granodioríticos son equivalentes a los plutones tipo *La Posta* de más de 95 Ma. Este proceso de intrusiones múltiples acentuó la foliación magmática y desarrolló el clivaje en un ambiente sintectónico a una profundidad de ~10 km e indujo procesos de advección de calor que disminuyeron posiblemente en 83 Ma. Finalmente, se produjeron varios sistemas de fracturamiento inducidos por la eliminación de la cubierta ígneo-metamórfica y las deformaciones tectónicas del Cenozoico.

INTRODUCCIÓN

La actividad magmática en la margen W de Norteamérica sugiere un arco continuo caracterizado por una fase volcánico-intrusiva durante el Jurásico-Cretácico y otra fase plutónica migratoria de W a E sobre el continente durante el Cretácico Tardío y Paleoceno. La segunda fase desarrolló un complejo batolítico mayor a los 2,000 km de longitud emplazado a lo largo de la margen continental (Silver y Chapell, 1988), posiblemente sobre un segmento de litósfera oceánica pre-jurásica, separado de la litósfera cratónica por una familia de fallas transformes jurásicas (Silver y Anderson, 1974). La reconstrucción de la margen californiana pre-Terciario permite suponer la continuidad inicial del complejo de los batolitos cordilleranos (Figuras 1 y 2a), *Mojave W*, *Salinian*, *Sierra Nevada*, *Sierras Peninsulares* y *Sonora* (Silver, 1982; Ross,

1984; Silver y Mattison, 1986; Silver y Chapell, 1988; Nicholson *et al.*, 1994).

Los estudios efectuados en los granitoides de la Península de Baja California y S de California indican variaciones petrológicas (Figura 2b), de emplazamiento (Figura 2c) y geocronológicas importantes en el Batolito de las Sierras Peninsulares (Gastil *et al.*, 1975; 1983; Walawender y Smith, 1980; Silver y Chapell, 1988; Walawender *et al.*, 1991). Las conclusiones de estos estudios sugieren: la intrusión de cientos de plutones de 1 a 50 km de diámetro, con múltiples diques y troncos irregulares pequeños que fueron emplazados en una secuencia simple y continua (Silver y Chapell, 1988); que fueron derivados de fuentes composicionalmente diferente (Gromet y Silver, 1987); que existen variaciones geoquímicas sistemáticas de W a E (e.g., Baird *et al.*, 1974; Baird y Miesch, 1984; Silver y Early, 1977; Silver y Chapell, 1988); que las variaciones en

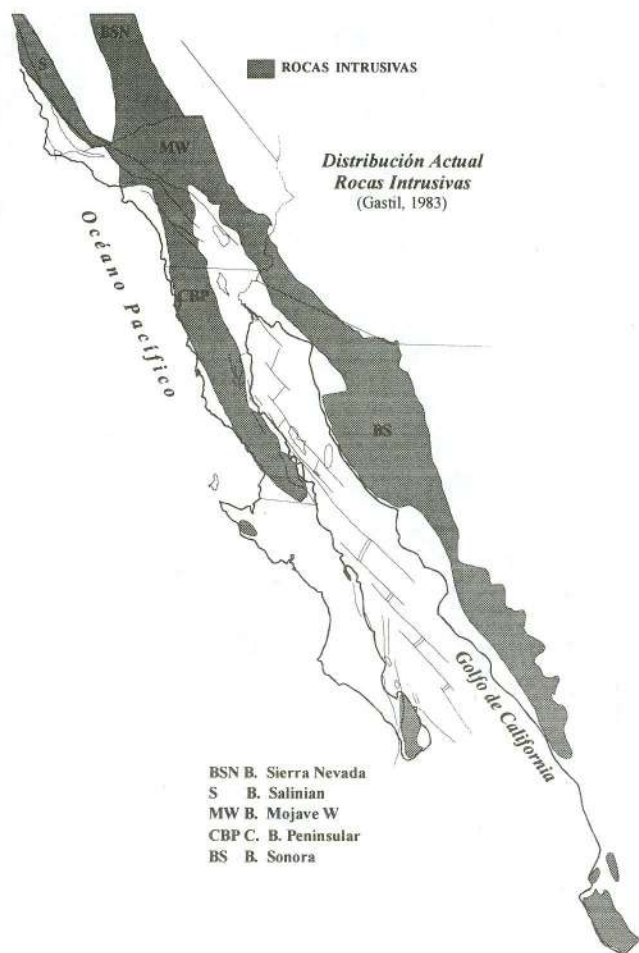


Figura 1. Distribución de las rocas intrusivas que constituyen a los Batolitos Cordilleranos del Cretácico en la margen SW de Norteamérica.

las relaciones isotópicas de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Early y Silver, 1977; Silver *et al.*, 1975), $\delta^{18}\text{O}$ (Taylor y Silver, 1978; Silver *et al.*, 1979; Taylor, 1986; 1988), $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (DePaolo, 1980; 1981) y Pb (Silver, 1987) parecen independientes de la litología, pero de correlación notable con la posición geográfica hasta Sonora.

La síntesis propuesta por Silver y Chapell (1988), donde reúnen los diversos estudios que se han efectuado sobre los granitoides del Batolito de las Sierras Peninsulares, es relevante y enmarca las características de los procesos principales asociados al magmatismo intrusivo en esta parte del arco Mesozoico. Sin embargo, en la península existen múltiples y extensas áreas constituidas por rocas intrusivas de las que se conoce muy poco.

El objetivo fundamental de este trabajo es mostrar la distribución y las variaciones de las rocas intrusivas que se identificaron en la región del escarpe al NE de Sierra Juárez, comprendida entre la parte alta de la sierra y la margen NW de la cuenca Laguna Salada (Figura 3). Aunque los conceptos que soportan al trabajo son básicamente petrológicos, se harán comparaciones con las rocas intrusivas aledañas para incorporar a los granitoides del área en el contexto propuesto para el

Batolito Oriental del Complejo Batolítico Peninsular. Esta perspectiva pretende mostrar los resultados e interpretación de una extensa área con granitoides pobremente estudiados, como resultado parcial del estudio de la deformación asociada a la formación del escarpe en Sierra Juárez.

METODOLOGÍA

Se efectuaron fotogeología y cartografía geológica a escala 1:25,000 sobre una superficie aproximada a 600 km², comprendidos en las cartas topográficas escala 1:50,000 editadas por INEGI (CETENAL, 1972-1980), El Centinela (I11D64), Neji (I11D73) y La Poderosa (I11D74). La foliación de los granitoides se midió sistemáticamente y es la base fundamental para delinear los dominios intrusivos en el área; además se midieron el clivaje, los diques aplítico-pegmatíticos y el fracturamiento donde fueron diferenciables. La nomenclatura utilizada para indicar la actitud de los elementos estructurales obedece a la regla de la mano derecha y para graficarlos se utilizó la proyección de igual área de Schmidt. Durante el periodo también se obtuvieron muestras de las principales variaciones en los granitoides, de las que se seleccionaron y obtuvieron 25 secciones delgadas para su descripción petromicrográfica. Para determinar e interpretar sus variaciones composicionales y posibles tendencias magmáticas, las descripciones se graficaron en los diagramas *Fk-Qz-Plg* y *Bio-II-Hbl*, definidos por Streckeisen (1973) y modificados por Clarke (1992).

COMPLEJO BATOLÍTICO PENINSULAR

El Batolito de las Sierras Peninsulares o Complejo Batolítico Peninsular (CBP) expone afloramientos continuos de rocas intrusivas desde el S de Los Angeles, California hasta el Paralelo 28°N, en donde se ven interrumpidos por una extensa cubierta de rocas volcánicas, del límite S de Baja California hasta prácticamente La Paz, B.C.S., y extenderse nuevamente hasta la punta de la península (Figura 1). Este segmento mayor a los 1,000 km de longitud de rocas intrusivas ha sido estudiado desde Larsen (1948. *en*: Gastil *et al.*, 1975) hasta la actualidad. El CBP ha sido dividido con criterios petrológicos (Gastil, 1983. Figura 2b) y geoquímicos (Silver *et al.*, 1979). A partir del predominio de magnetita o ilmenita (Gastil *et al.*, 1986), en los Batolitos Occidental (BW) y Oriental (BE) (Figura 3), a los que Todd y Shaw (1985) llamaron granitoides deformados *tipo 1* a los del W y no deformados *tipo S* a los del E, con el límite ligeramente al W de la línea de magnetita-ilmenita definida por Gastil *et al.* (1986). Silver y Hill (1986) indicaron que el BW incluye complejos anulares con diámetros expuestos de 1 a 2 km, alojados en ambientes sub-volcánicos frágiles con diques, cuerpos irregulares y rocas volcánicas, volcanoclasticas y sedimentarias de *Fm. Alisitos*. El BE incluye diapiros y plutones con diámetros expuestos de aproximadamente 10 a 12 km, alojados en rocas cuarzofeldespáticas, pelíticas, carbonatadas y metasedimentarias del Paleozoico y Mesozoico con

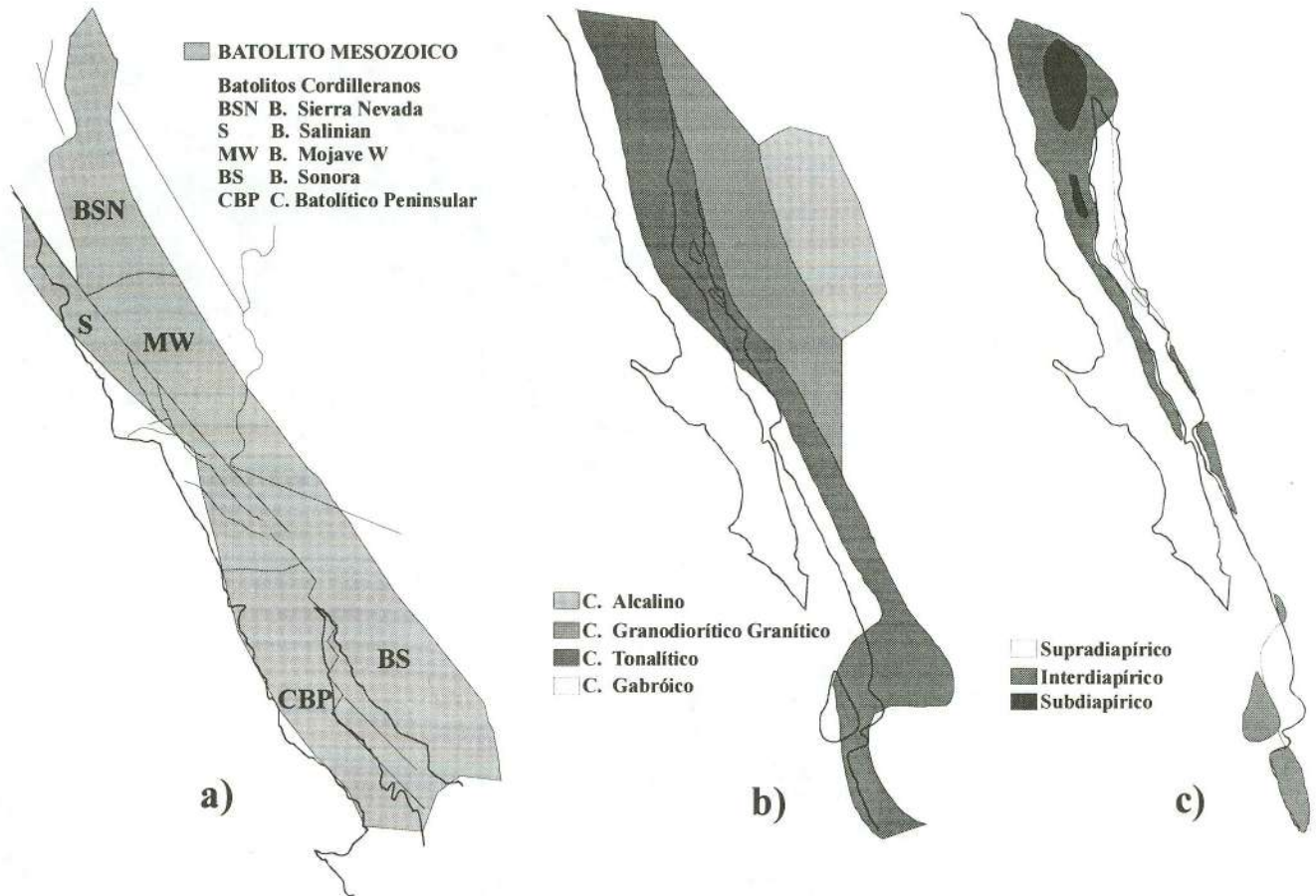


Figura 2. Distribución de los batolitos principales del Complejo Batolítico Peninsular en la Península de Baja California y el S de California: a. Reconstrucción palinspástica para 15 Ma de los Batolitos Cordilleranos (Silver y Chapell, 1988); b. Cinturones composicionales (Gastil, 1983); c. Estructuras de emplazamiento (Gastil, 1983).

deformación dúctil. Silver y Chapell (1988) indicaron que el *BW* forma una franja de 60 a 70 km de amplitud, paralela a la costa del Océano Pacífico, que incluye desde gabro hasta leucogranito con edades entre 140 y 105 Ma, alojados en rocas volcánicas con edades entre 125 y 118 Ma, producto de un arco magmático estático y activo durante aproximadamente 35 Ma. El *BE* forma una franja paralela inmediata al E del *BW* (Figura 3), que incluye desde tonalita hasta granito con edades entre 105 y 80 Ma, con escasos plutones zonados asociados a un arco magmático transgresivo que es sistemáticamente más joven hacia el E.

La mineralogía en el *CBP* está compuesta por 5 fases: plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, hornblenda y biotita, pero se observa olivino y piroxenos en algunos plutones gabróicos y tonalíticos máficos. El ortopiroxeno puede estar presente en algunos granitos y otros cuerpos graníticos de dos micas pueden estar asociados a remanentes de rocas metamórficas pelíticas en el *BE*. En el *BW* la hornblenda es subhedral y aparentemente tardía, la biotita es anhedral e intersticial, mientras que en el *BE* la hornblenda es prismática subhedral y la biotita es euhedral, lo que implicaría una fase de cristalización temprana. La mineralogía accesoria es similar en ambos batolitos, aunque texturalmente discrepante: la asociación

zircón, esfena, apatito, allanita es el arreglo radiactivo principal; la esfena es tardía y granular en el *BW*, mientras que en el *BE* es euhedral. La allanita aparece tardía y temprana en ambos batolitos; el apatito es abundante en el *BE* y la magnetita e ilmenita son los minerales opacos más comunes (Silver y Chapell, 1988).

La roca más abundante en el *CBP* es la tonalita (Larsen, 1948, en: Gastil *et al.*, 1975. Figura 2b), con el gabro, gabro cuarcífero y diorita agrupables en dos amplios grupos: casi saturados con alto Al y subsaturados con plagioclasa y hornblenda cálcicas u olivino, clinopiroxeno y hornblenda (Walawender y Smith, 1980). La granodiorita baja en K es la segunda roca más abundante, con poco feldespato potásico intersticial y raramente porfídico. La tonalita y la granodiorita dominan en el *BE* y el gabro es raro (Walawender y Smith, 1980). Silver y Chapell (1988) sugirieron que la distribución tridimensional de las tendencias petrológicas, geoquímicas e isotópicas son una evidencia clara de migración lateral. Los cambios en la composición de los elementos mayores es menos pronunciada que la de los elementos traza y se ha sugerido (Silver y Chapell, 1988) que la composición del batolito debió ser menos máfica que la fuente, en términos generales basáltica, por lo que las variaciones observadas en el *CBP* implicarían: 1)

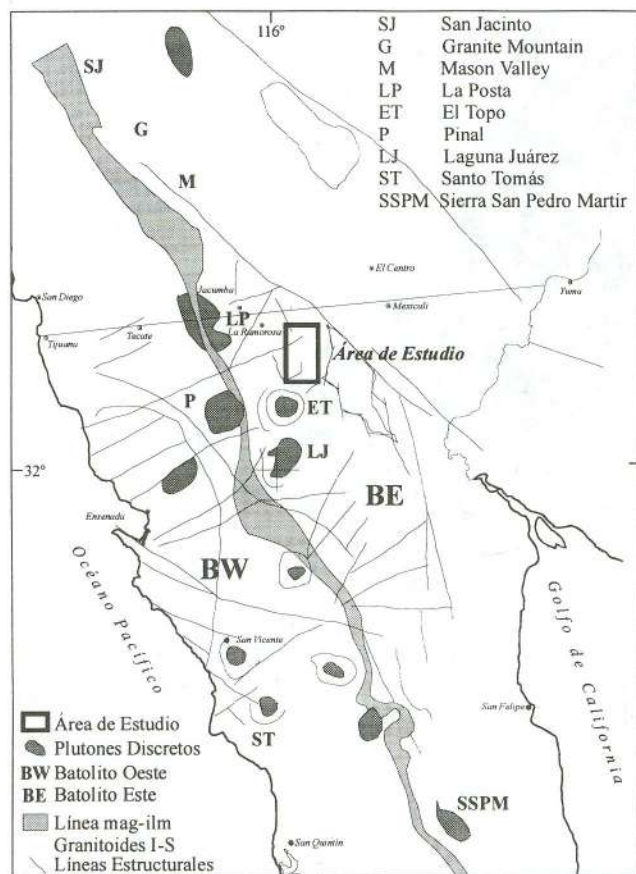


Figura 3. Ubicación del área de estudio en el contexto del Batolito Oriental del CBP. Se muestran los rasgos estructurales y los plutones principales identificados en imagen de satélite. La línea magnetita-ilmenita se tomó de Gastil *et al.* (1983).

una margen convergente y uniforme composicionalmente, con una dinámica cambiante en los procesos generadores de magma; 2) arreglos mineralógicos y geoquímicos heterogéneos en la región fuente; 3) que el BW es más primitivo y que se emplazó en litósfera relativamente joven de un arco insular; 4) que el BE fue generado de fuentes más profundas y niveles subcorticales ricos en componentes basálticos (eclogíticos). Las asimetrías petrológicas y geoquímicas sistemáticas en el CBP parecen sugerir que los procesos de alto nivel (convección, cristalización fraccionada y asimilación magmática) no debieron ser importantes (Silver y Chapell, 1988), dado que los cambios químicos e isotópicos aparentan ser independientes al tipo de roca, relacionándose a una mineralogía derivada por fusión parcial en la fuente. Silver y Chapell (1988) concluyeron que, en general, las variaciones químicas evidentes en el CBP no pueden ser atribuidas a un sistema simple de dos o tres componentes extremos (manto, corteza y sedimentos oceánicos). La tasa de producción de magma osciló entre 20 km³/kmMa para el BW y más de 1,000 km³/kmMa en el BE. El espesor mínimo de acumulación magmática para el arco de el BW fue de 10 km, mientras que en el BE fue de 20 km. Los centros de actividad magmática parece que formaron arreglos lineales cubiertos por volcanes, abastecidos por pequeños conductos alimentadores que generaron el emplazamiento de plutones

individuales cada 0.1 Ma, dada la constante de tiempo deducida de estudios isotópicos U-Pb en zircones, del orden de 2 a 6 Ma (Silver y Chapell, 1988).

BATOLITO ORIENTAL

El BE, donde se ubica el área de estudio (Figura 3), está contenido en el cinturón tonalítico (Figura 2b) y se caracteriza por emplazamientos subdiapíricos a interdiapíricos (Gastil, 1983. Figura 2c), en la zona de ilmenita (Gastil *et al.*, 1991) o en la zona de granitoides tipo I y S posttectónicos, derivados de la fusión parcial de una corteza sedimentaria (Todd y Shaw, 1985). Walawender *et al.* (1990) sugirieron que el extenso BE está constituido por plutones sin deformación y características petrográficas y estructurales distintivas a sus similares del BW. Sin embargo, Todd *et al.* (1988) indicaron que los plutones de la etapa tardía a posttectónica en el BE, sugeridos por Silver *et al.* (1979), mostrados en la Figura 3 y representados por Granite Mountain (100 Ma, U-Pb), La Posta (98-97 Ma, Todd *et al.*, 1988) y el plutón cercano a Alpine (103 a 101 Ma, K/Ar en hornblenda. Todd *et al.*, 1988), sólo corresponde a los de la parte SE, ya que los plutones de la parte NE presentan deformación fuerte. El BE parece haberse emplazado en una gruesa corteza sílica, observando una disminución notable de minerales máficos (Gastil *et al.*, 1991).

Los granitoides del BE no tiene rocas volcánicas o subvolcánicas asociadas, los plutones se alojaron en rocas metasedimentarias y parecen haber sido severamente deformados durante el segundo pulso magmático, ocurrido hace un poco más de 100 Ma. Este último también es de origen profundo y alcanza la corteza superficial sin modificaciones mayores, salvo la contaminación marginal con la roca encajonante (Gastil *et al.*, 1991). Walawender *et al.* (1990) sugirieron que los plutones de tonalitas y monzogranitos del BE, con tamaños de algunos cientos de kilómetros cuadrados, se caracterizan por tener zoneamiento concéntrico, variando de una margen tonalítica a núcleos granodiorítico-monzograníticos; que los contactos internos son gradacionales por decenas de metros; que contienen cristales idiomórficos de biotita, esfena y hornblenda y que la muscovita primaria coexiste con la biotita en la parte interna de los plutones; que desarrollan megacristales de cuarzo y oikocristales de feldespato potásico y que son carentes de foliación. Gastil *et al.* (1991) dividieron a los plutones del BE en: Pre La Posta, La Posta y Post La Posta.

Plutones Pre La Posta

Estos plutones incluyen granitoides de dos micas, con granate y sillimanita, emplazados en rocas metasedimentarias en la facies anfibolita alta. Generalmente son peraluminosos, con deformación fuerte y son comunes los enclaves de roca encajonante. Trabajos preliminares sobre zircones indican edades de 160 a 101 Ma (Gastil y Girty, 1993). Su distribución comprende desde el N de San Diego, California hasta el S de la Sierra de San Pedro Mártir, B.C.. También se observan granitoides con granate y muscovita en contacto con rocas metamórficas, los cuales tienen núcleos de tonalita de

hornblenda y biotita. Están menos deformados y las edades varían entre 119 y 107 Ma, como *El Topo* (Wernicke, 1987) y *Rajadura* (Chadwick, 1987). Los granitoides tonalíticos del área de estudio podrían incluirse en este tipo de plutones.

Plutones La Posta

Estos granitoides incluyen a los plutones más grandes, como *La Posta* (1400 km²), *Laguna Juárez* (600 km²) y *Sierra San Pedro Mártir* (400 km²); tienen variaciones desde tonalita a granodiorita y se extienden de las Montañas San Jacinto hasta el Paralelo 28°N. A este tipo de plutones pertenecen los granitoides de *San Jacinto Mount* (Hill, 1984), *Granite Mountain* (Walawender *et al.*, 1990), *Mason Valley* (Lampe, 1987. *en*: Walawender *et al.*, 1991), *La Posta* (Kimzey, 1982; Clindenbeard, 1987; Walawender *et al.*, 1990) en California. En Baja California los plutones estudiados son *El Pinal* (Duffield, 1968. *en*: Walawender *et al.*, 1991), *Laguna Juárez* (Gunn, 1984) y *Sierra San Pedro Mártir* (Eastman, 1986; McCormick, 1986). Walawender *et al.* (1990) sugieren que existe una gran similitud textural y modal en los plutones de este grupo, son comunes los diques pegmatíticos en la parte externa de la zona con muscovita y la margen externa de hornblenda; la turmalina negra se presenta en las pegmatitas, pero el granate y la muscovita sólo se presentan en pegmatitas de la zona de muscovita. También es común observar diques de granodiorita de grano fino con orbículas deformadas incluyendo esfena. Menos comunes y limitados a la zona de hornblenda y biotita se presentan los diques de granodiorita de grano fino con orbículas similares a las de esfena, pero en este caso con magnetita idiomórfica libre de Ti y con epidota en recubrimientos ocasionales. A este grupo se asignan las granodioritas del área.

Post La Posta

Los plutones más jóvenes en el *BE* son pequeños cuerpos cortantes de granito con muscovita y granate, similares a los descritos cerca de los plutones *La Posta* (Parrish, 1990) y *Sierra San Pedro Mártir* (Eastman, 1986; McCormick, 1986). Los análisis de U-Pb en zircón indican edades del orden de 90 a 86 Ma (Parrish, 1990). El estado de oxidación de Fe y el contenido de amonía es distintivamente más cercano a los de las rocas metasedimentarias que al de las facies de muscovita de los plutones tipo *La Posta* (Gastil *et al.*, 1991).

En el N de Baja California (Figura 3), los plutones cercanos al área de estudio son: al NW el *Plutón La Posta* (Kimzey, 1982; Walawender, 1991); al W un *plutón sin nombre* (Gastil *et al.*, 1975; Krummenacher *et al.*, 1975) y al SW el *Plutón El Topo* (Wernicke, 1987).

RESULTADOS

Las rocas intrusivas en el N de Sierra Juárez cubren más del 50% del área y están constituidas por ocho unidades mineralógicamente distintas que delinean dos cinturones con

ilmenita en la fase opaca y magnetita subordinada. La parte W está formada por rocas granodioríticas y la E por rocas tonalíticas principalmente (Figura 4). Los granitoides del área de estudio también se dividieron en cuerpos discretos al interpretar sus patrones de foliación (Figura 4). Las características petrológicas de los granitoides ubicados se resumen en la Tabla 1 y se grafican en la Figura 11. A continuación se describen en orden cronológico tentativo.

Diorita (*Kdi*)

Está representada básicamente por los abundantes xenolitos o enclaves que se ubican en los cuerpos tonalíticos, además de los remanentes pequeños sobre el E del área. Esta roca es meso a melanocrática, de estructura foliada y orientada en los enclaves elipsoidales con 0.01 a 0.30 m de ancho y 0.02 a 1 m de longitud. Presenta textura holocristalina equigranular, hipidio a alotriomórfica a cristaloblástica de grano fino. Está constituida por plagioclasa (An_{27-35}), biotita y hornblenda, con cuarzo ondulado y feldespato subordinados, y trazas de apatito y zircón. La alteración en los minerales esenciales es irregular y está controlada por las fracturas y la foliación, con clorita a partir de biotita, e illita y montmorillonita a partir de plagioclasa.

Tonalita El Escarpe (*Ktne*)

Este intrusivo leucocrático cubre la parte central del área y se ubica en la pendiente del escarpe de Sierra Juárez. Se caracteriza por la estructura foliada con echado mayor a 40° hacia el W típicamente, con frecuentes enclaves orientados de diorita (*Kdi*) y cuerpos subtabulares de tonalita con texturas de *segregación schlieren* (*Ktmd*) de espesores irregulares. Presenta textura fanerítica, holocristalina equigranular e hipidiomórfica de grano medio a grueso. Su mineralogía principal está definida por plagioclasa (An_{27-33}), cuarzo deformado, biotita y hornblenda, con ortoclasa, esfena, apatito, ilmenita, zircón y allanita(?) como accesorios. El fracturamiento es moderado y la alteración hidrotermal es selectiva, con clorita, óxidos de Fe e illita y montmorillonita. Con base en la foliación, este granitoide se dividió en dos cuerpos diferentes, *Ktne*₁ en la parte central del área y *Ktne*₂ en la parte NE (Figura 4).

Tonalita-Granodiorita La Ponderosa (*Ktnp*)

Este segundo cuerpo tonalítico en tamaño es muy similar a *Ktne*, se localiza intrusionándolo en la parte S del área y se diferenció por el patrón de foliación (Figura 4). Esta unidad también es leucocrática y de estructura foliada con echado menor a 50° hacia el W, incluye enclaves orientados de *Kdi* y cuerpos subtabulares de *Ktmd*. Presenta textura fanerítica, holocristalina equigranular, hipidiomórfica media a gruesa. Su mineralogía consiste en plagioclasa (An_{27-33}), cuarzo deformado, biotita y hornblenda, así como proporciones menores de ortoclasa y microclina, con apatito, esfena, ilmenita y zircón como accesorios microscópicos. La alteración produjo clorita a partir de biotita y hornblenda y montmorillonita e illita a partir de la plagioclasa y el feldespato.

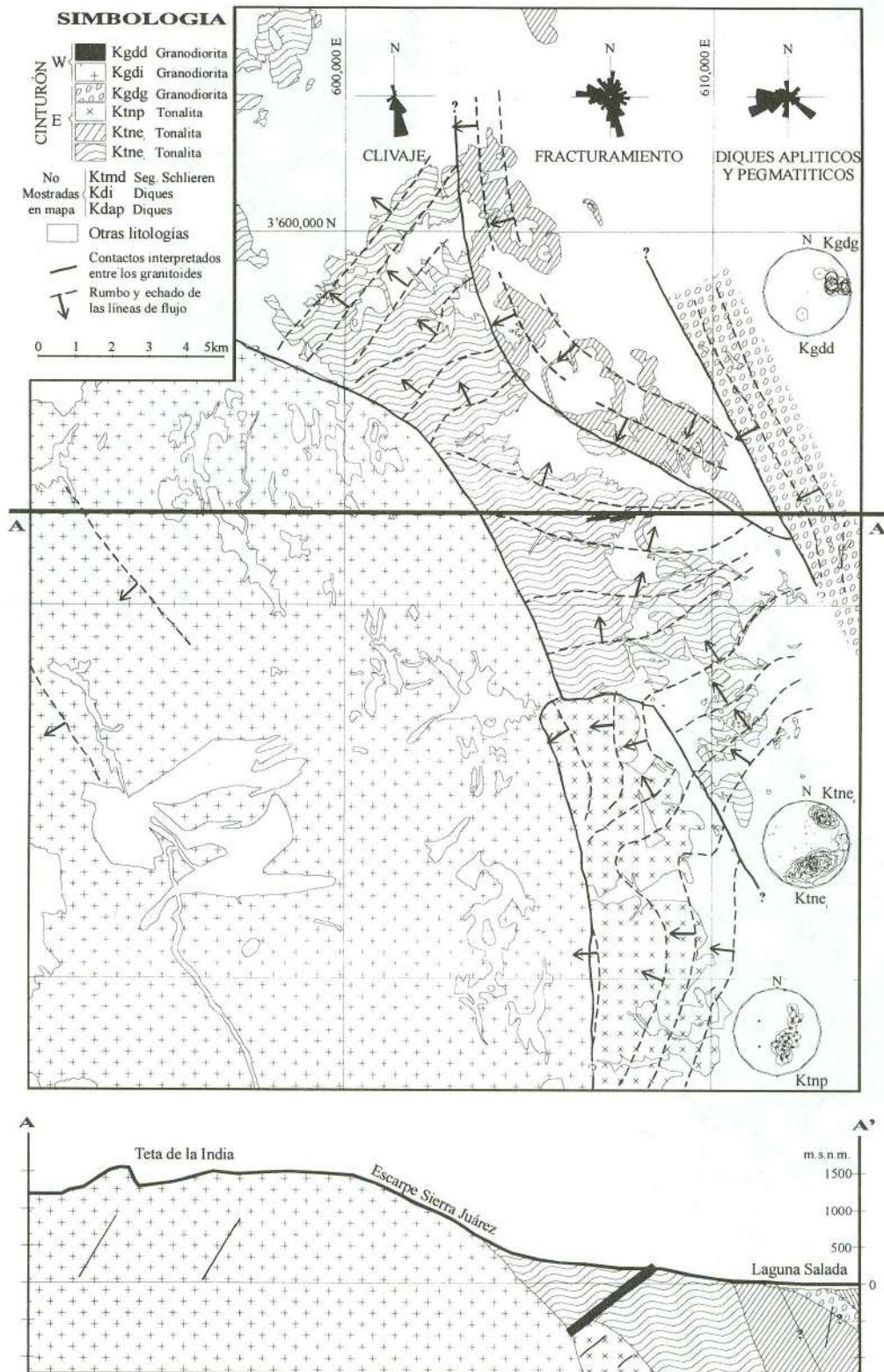


Figura 4. Dominios intrusivos en el N de la Sierra Juárez. Es dominante el cinturón granodiorítico de la parte W del área, constituido únicamente por Kgdi. El cinturón tonalítico en la parte E incluye a una granodiorita con granate (Kgdg) aparentemente diferenciada de una tonalita (Ktne). Los estereogramas muestran la foliación de los granitoides principales, mientras que las rosas de fracturamiento muestran el clivaje, fracturamiento y la orientación de los diques aplítico-pegmatíticos en ambos cinturones. La sección geológica sugiere intrusiones múltiples, con Ktne, deformado por Ktne, y Ktnp. El cinturón granodiorítico es similar a los plutones tipo *La Posta* y las tonalitas del cinturón E son equivalentes a los plutones tipo *Pre La Posta* (Gastil et al., 1991).

Tabla 1. Variaciones mineralógicas y texturales de los diferentes granitoides en el N de Sierra Juárez, Baja California.

Roca	Inclusiones	Minerales	Sec. De cristaliz.	Otras Observaciones.
<i>Kdi</i>	il, z, ap en hn il, ap, z y pla en bi il, ap, hn, bi y pla en pla (oy-ad); hn, bi y pla en qz.	fk (or) intersticial pla zonadas qz deformado.	il, z, ap, hn, bi, pla, qz, fk.	Plagioclasas zonadas sugieren variación de X del magma durante su crecimiento. La deformación en qz sugiere deformación posterior al <i>subsolidus</i> .
<i>Ktne</i>	il, z y ef en hn il, z y ef en bi il, ap, z, hn, bi y ef en pla (oy-ad) hn, bi, pla en qz.	fk (or), allanita(?). pla zonada mirmequita qz y maclas deformadas	il, z, ap, hn, bi, ef, pla, qz, fk, all.	Plagioclasas zonadas sugieren la variación de X del magma durante su crecimiento. Mirmequita desmezcla en estado sólido de qz-pla. La deformación en qz y las maclas de pla sugiere deformación posterior al <i>subsolidus</i> .
<i>Ktnp</i>	il, z en hn, crecimientos de corona (tm en hn) il, ap, z en bi il, z, ap, ef en pla (oy-ad) bi, hn, pla en qz	pla zonada; mirmequita fk granofirico; micrográfico y microperitítico. qz deformado.	il, z, ap, hn, bi, ef, pla, qz, fk.	Los crecimientos de corona y plagioclasas zonadas sugieren variación de X del magma durante crecimiento. Mirmequita desmezcla en estado sólido de qz-pla; granofirico y micrográfico desmezcla qz-fk. Deformación qz sugiere deformación posterior al <i>subsolidus</i> .
<i>Ktmd</i>	il en hn; il y hn en bi il, hn y bi en pla (ad>oy) hn, bi, pla en qz	fk (or) Mirmequita qz deformado.	il, hn, bi, pla, qz, fk.	Mirmequita desmezcla en estado sólido de qz-pla. La deformación en qz sugiere deformación posterior al <i>subsolidus</i> .
<i>Kgdi</i>	il, ap, z en hn; il, ap en bi il, z, ap, ef en pla (oy-ad) hn, bi, pla en qz ap, hn, bi en fk (or) interstici.	pla zonada fk micrográfico qz deformado.	il, z, ap, hn, bi, ef, pla, qz, fk.	Plagioclasas zonadas sugieren variación de X del magma durante su crecimiento. fk micrográfico desmezcla en estado sólido de qz-fk. La deformación en qz sugiere deformación posterior al <i>subsolidus</i> .
<i>Kgdg</i>	bi, gr, pla en pla (oy>ad) il, bi, gr en qz gr, bi, t en fk (or>mi).	pla zonada mirmequita fk granofirico, micrográfico. y peritítico. qz y maclas deformadas.	il, gr, bi, hn, pla, t, qz, fk.	Plagioclasas zonadas, variación de X del magma durante crecimiento. Mirmequita desmezcla en estado sólido de qz-pla. Fk micrográfico desmezcla qz-fk. La deformación en qz y las maclas de pla sugiere deformación posterior al <i>subsolidus</i> .
<i>Kgdd</i>	il en bi il, hn, bi, ef en pla (oy-ad) ap, t, pla en qz t, pla, qz en fk.	pla zonada mirmequita fk micrográfico orbículas (qz-fk) ef qz y maclas deformadas.	il, ap, hn, bi, pla, t, qz, fk.	Plagioclasas zonadas sugieren variación de X del magma durante su crecimiento. Mirmequita desmezcla en estado sólido de qz-pla. La deformación en qz y las maclas de pla sugiere deformación posterior al <i>subsolidus</i> .

Opaco fue definido por molienda de rocas, sometidas al influjo de un imán y en muy baja selección, sugirió el predominio de ilmenita sobre magnetita. ad= andesina; all= allanita; ap= apatito; bi= biotita; ef=esfena; fk= feld. K; gr= granate; hn=hornblenda; il= ilmenita; oy= oligoclasa; pla= plagioclasa; qz= cuarzo; t= turmalina; tr= tremolita; z= zircón.

Segregaciones de Tonalita Melanocrática (*Ktmd*)

Esta unidad se localiza irregularmente dentro de los dos intrusivos tonalíticos principales; su estructura es subtabular foliada con apariencia de diques cíclicos pseudoestratificados con menos de 5m de espesor y longitud variable. La alternancia de bandas oscuras y claras resalta la foliación marcada por la orientación de la hornblenda y la biotita, con lineación casi perpendicular. Estos diques son de textura glomerofídica, holocristalina equigranular, de grano medio a grueso. Están constituidos por agregados subparalelos de biotita, hornblenda, plagioclasa (An_{35-27}) y cuarzo ondulante, con trazas de ortoclasa intersticial e ilmenita. La alteración es selectiva e incluye clorita y óxidos de Fe a partir de biotita y hornblenda, así como illita y montmorillonita a partir de feldespatos.

Granodiorita de Granate (*Kgdg*)

Esta unidad se localiza en pequeños remanentes al E-NE del área, muy cerca o en contacto con rocas metamórficas (Figura 4); es leucocrática con estructura foliada burda. Su textura es fanerítica, holocristalina, equigranular, hipidio a alotriomórfica de grano fino a medio y constituida por plagioclasa (An_{25-30}), cuarzo ondulante, ortoclasa, microclina y biotita orientada. Su característica principal es la presencia de granate rojo isotrópico y turmalina prismática como accesorios. Los minerales de alteración frecuentes son la illita y

montmorillonita a partir de plagioclasas y feldespatos.

Granodiorita-Tonalita La India (*Kgdi*)

Esta es la unidad más ampliamente distribuida (Figura 4). Es leucocrática de estructura masiva ligeramente foliada, sin variaciones mineralógicas importantes, y su relieve relativo bajo es característico. Presenta textura holocristalina hipidiomórfica de grano medio a grueso, formada por plagioclasa (An_{26-32}), cuarzo, ortoclasa, biotita y hornblenda, con apatito, esfena, ilmenita y zircón como accesorios. La alteración hidrotermal es selectiva y se desarrolla a partir de las fracturas y planos de exfoliación, con clorita en biotita y hornblenda e illita y montmorillonita en feldespatos. El fracturamiento moderado controla las geoformas y el drenaje.

Dique Granodiorítico (*Kgdd*)

Este dique está expuesto en la parte central del área e intrusión a *Ktne* con una amplitud mayor de 100 m por más de 500 m de longitud (Figura 4). Sus contactos son irregulares y difusos, aunque presenta un sistema de fracturamiento sistemático y distintivo. Es leucocrático gris, de estructura tabular ligeramente foliada y con textura holocristalina inequigranular fina a media e hipidio a alotriomórfica. Su mineralogía está constituida por plagioclasa (An_{27-33}), cuarzo ondulante, biotita, ortoclasa y microclina, con hornblenda como

accesorio y trazas de apatito, esfena, ilmenita y turmalina microscópicos. Este dique presenta orbículas blancas elipsoidales deformadas menores de 3 cm, constituidas por agregados de cuarzo y feldespato, incluyendo a esfena de hasta 3 mm. Los minerales de alteración (clorita, illita) son escasos, el fracturamiento es también escaso y paralelo a los contactos.

Diques Aplítico-Pegmatíticos (*Kdap*)

Se distribuyen irregularmente en *Ktne*, *Ktnp* y *Kgdi*; son leucocráticos, de estructura tabular irregular menor a 1 m y no son mostrados en las figuras. Los diques aplíticos y vetas de cuarzo son generalmente menores a 0.1 m, mientras los pegmatíticos son menores a 0.5 m. La textura en los diques aplíticos es alotriomórfica de grano fino a sacaroide, con feldespato potásico, cuarzo y poca biotita. Las pegmatitas son idio a hipidiomórficas con feldespato potásico, cuarzo y biotita suborientada. Sólo en *Ktnp* se observó un dique pegmatítico con agregados hojosos de muscovita de hasta 5 cm. El fracturamiento y la alteración son incipientes.

Deformación

Las patrones estructurales más importantes y relacionados a los procesos intrusivos incluyen la foliación, el clivaje y el fracturamiento que controló la circulación y emplazamiento de las soluciones residuales. La foliación de origen magmático es clara en las dos variaciones de *Ktne* (Figura 5), en *Ktnp* (Figura 6) y en *Kgdg* (Figura 7); es perceptible en *Kgdd* (Figura 7) por la deformación en las orbículas con esfena; pero no es muy evidente en *Kgdi*. El clivaje en los granitoides (Figura 8) está representado por foliación anastomosada con buzamiento hacia el W.

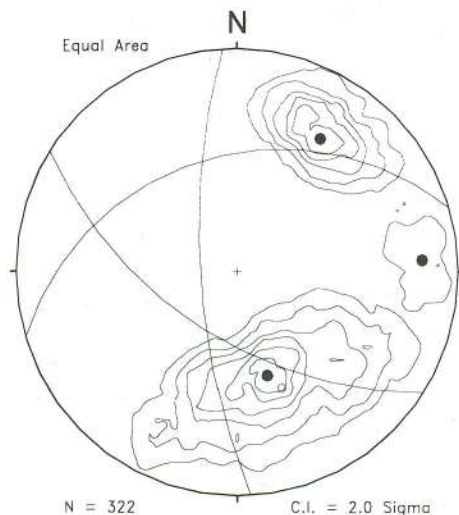


Figura 5. Foliación en *Ktne*. La foliación en las dos variaciones de *Ktne* fue definida por la tendencia paralela de los enclaves de *Kdi*, hornblenda, biotita y las segregaciones de *Ktmd*. La figura muestra los contornos de los polos de la foliación; el polo promedio (●) para *Ktne*, varía de $162^{\circ}/43^{\circ}$ en la parte NW, a $085^{\circ}/10^{\circ}$; en la central, con planos $252^{\circ}/47^{\circ}$ a $175^{\circ}/80^{\circ}$ hacia ambos cuadrantes; en la parte NE, el polo promedio de *Ktne*, es $030^{\circ}/25^{\circ}$ y plano $120^{\circ}/65^{\circ}$.

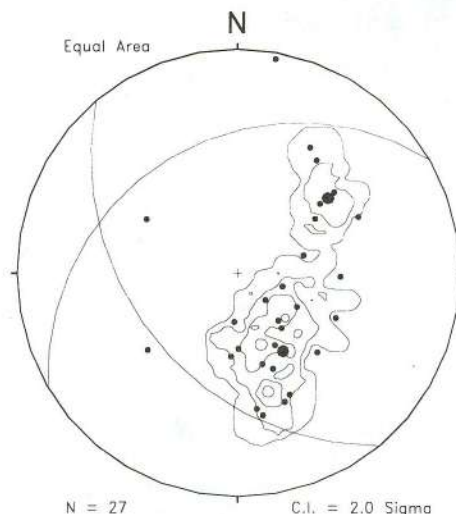


Figura 6. Foliación en *Ktnp* definida por la orientación subparalela de hornblenda, biotita, los enclaves de *Kdi* y las segregaciones de *Ktmd*. La figura muestra los polos de la foliación, el polo promedio (●) varía de $148^{\circ}/55^{\circ}$ a $050^{\circ}/43^{\circ}$, distribuidos en dos patrones principales y equivalentes a los planos de foliación promedio que varían de $140^{\circ}/47^{\circ}$ a $238^{\circ}/35^{\circ}$.

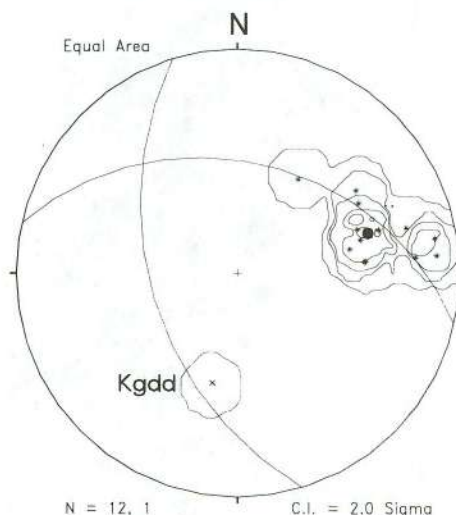


Figura 7. Foliación en *Kgdg* y *Kgdd*. La foliación en *Kgdg* es débil y está definida por biotita de grano fino suborientada; el polo promedio (●) es $70^{\circ}/30^{\circ}$ y el plano de foliación promedio es $160^{\circ}/60^{\circ}$. La foliación en el dique *Kgdd* se definió por la biotita orientada y las orbículas deformados de cuarzo-feldespato potásico con esfena; el polo es $205^{\circ}/40^{\circ}$ con plano de foliación $305^{\circ}/50^{\circ}$.

Los patrones de foliación para *Kdi* y *Ktmd* deben ser similares a los propuestos para las tonalitas (Figuras 5 y 6) ya que son sus rocas encajonantes. La foliación en *Kdi* corresponde a los enclaves orientados, alargados e incluidos en los cuerpos tonalíticos. Los enclaves son elípticos, aplastados y orientados, con dimensiones que varían de 0.01 a 1.0 m de longitud por 0.01 a 0.30 m de amplitud. La foliación en *Ktmd* muestra agregados subparalelos de hornblenda y biotita, con lineación perpendicular a la foliación. El patrón de clivaje (Figura 8) sugiere compresión WSW-ENE, diferente a la deducida para la

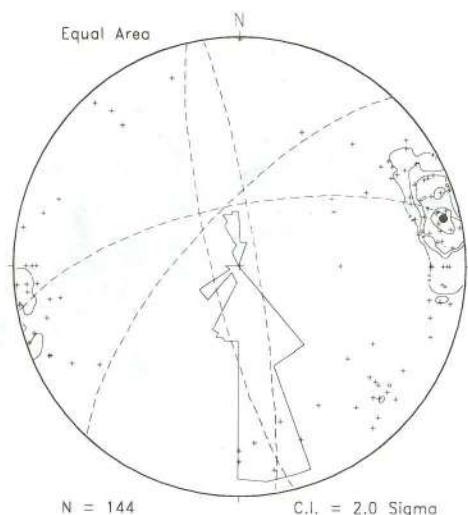


Figura 8. Clivaje en Granitoides. Comprende la foliación anastomosada espaciada generada por flujo en estado sólido sin tener minerales orientados. Se presenta el diagrama de rosa unidireccional de las orientaciones. El clivaje varía de 160° a 180° con echado fuerte al WSW, así como tres posibles patrones secundarios con echado fuerte: $222^{\circ}/75^{\circ}$, $258^{\circ}/80^{\circ}$ y $351^{\circ}/85^{\circ}$.

secuencia metamórfica y que sugiere transporte hacia 305° . El patrón de clivaje podría relacionarse a la fase compresiva, pero los patrones de diques (Figura 9) parecen asociados a la disminución de volumen en los granitoides.

La interpretación de los diques aplítico-pegmatíticos ubicados en *Ktne*, *Ktnp*, *Kgdg* y *Kgdi* (Figura 9) podría corresponder con los sistemas de fracturamiento primario en rocas intrusivas propuestos por Balk (1937), controlando el ascenso y emplazamiento de soluciones residuales derivadas por la cristalización de los granitoides, pero modificados por la fase de intrusiones múltiples; el fracturamiento cruzado es casi W-E y el longitudinal casi N-S, aunque los sistemas diagonal (quizá al SE) y el planar primario son poco claros (Figura 10).

Los patrones de deformación dúctil expuestos en los cuerpos intrusivos sugieren fases de intrusión múltiple, distribuidas en dos posibles ciclos magmáticos (Figura 11), con ascenso controlado especialmente por procesos de inyección forzada y mecanismos tipo *ballooning* o de expansión (Tabla 2). Los granitoides principales parecen sintectónicos, derivados y emplazados durante la Orogenia Sevier en el Cretácico Temprano a Tardío.

DISCUSION

Esta discusión pretende explicar las características de las rocas intrusivas identificadas en la parte N de Sierra Juárez y proponer un modelo geológico del magmatismo plutónico del área. La base para esta interpretación considera la anisotropía en la estructura, textura, mineralogía e inclusiones observados durante la cartografía y petrografía efectuadas en los afloramientos con granitoides de la parte NE del Batolito



Figura 9. Diques aplítico-pegmatíticos. Su distribución puede asignarse a por lo menos dos de los sistemas primarios en las rocas intrusivas, que controlan la circulación y el emplazamiento de las soluciones residuales: sistema cruzado de 225° a 285° y el diagonal de 120° a 135° .

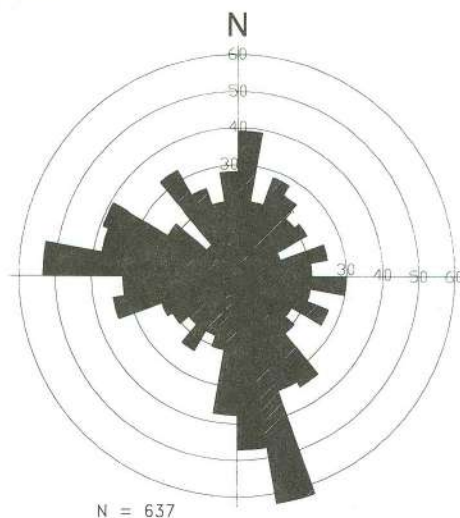


Figura 10. Fracturamiento en los granitoides. El diagrama muestra dispersión en las orientaciones, resaltando las tendencias entre 160° y 190° con buzamiento fuerte hacia el W y de 270° a 290° buzando hacia el N. Parte del fracturamiento puede estar relleno o recubierto por óxidos de Fe o caliche.

Oriental contenido en el Complejo Batolítico Peninsular, como producto del arco magmático Mesozoico. Sin embargo, existen muchas dificultades al tratar de caracterizar a un sistema tan dinámico como el enfriamiento y cristalización de un granitoide, donde la viscosidad varía desde muy baja en el magma, hasta extremadamente alta cuando el plutón tiene cristalización avanzada, con variaciones sistemáticas en la composición, que además puede ser modificada por la composición de la roca encajonante (dependiendo de la reactividad, profundidad, condiciones de *P-T* durante el emplazamiento y de los esfuerzos compresionales, cortantes y/o tensionales involucrados). Las relaciones de contacto se vuelven complejas al ocurrir dos o más periodos de intrusión, desarrollándose estructuras dúctiles

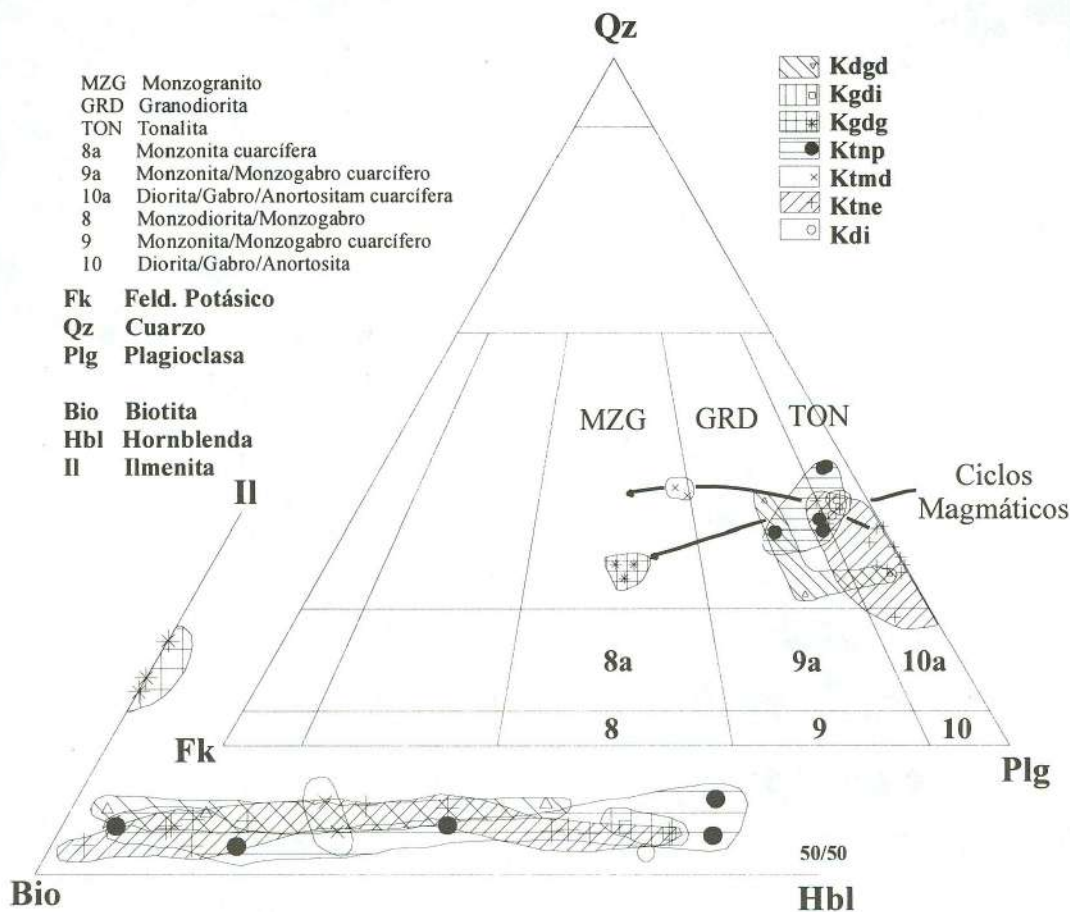


Figura 11. Clasificación mineralógica de los granitoides del N de Sierra Juárez, Baja California, en espacios Fk-Qz-Pla y Bi-II-Hn (Streckeisen, 1973, modificado por Clarke, 1992). La ubicación de las muestras en las zonas MZG, GRD y TON sugiere la posible trayectoria evolutiva de dos fases magmáticas diferentes de magmas de tercera derivación con tendencia a rocas sobresaturadas en sílice.

y frágiles (foliación, juntas, fallas, etc.) durante periodos largos de emplazamiento.

MINERALOGÍA Y TEXTURA

La mineralogía de los granitoides está circunscrita a cinco fases esenciales: plagioclase (andesina a oligoclase), cuarzo, biotita, hornblenda y feldespato potásico (ortoclase a microclina) y siete fases accesorias como inclusiones: esfena, allanita, granate, muscovita, apatito, zircón y turmalina, al igual que ilmenita. La biotita y la hornblenda subparalelas definen la foliación. La textura de los cuerpos principales (*Ktne*, *Ktne*₂, *Ktnp* y *Kgdi*) sugiere cristalización lenta y emplazamiento profundo. Las características texturales y mineralógicas de los diferentes granitoides se indican en la Tabla 1, mientras que en la Figura 11 se graficaron los 25 análisis petrográficos de los intrusivos descritos.

ENDOCONTACTOS

Los contactos entre los granitoides principales del área de estudio no fueron identificados durante el trabajo de campo, se interpretaron con base al comportamiento de la foliación y las

descripciones petrográficas y se consideran discordantes (Figura 4). El único contacto observado fue *Kgdd* intrusionando a *Ktne*. La mineralogía y textura de *Kgdd* sobre la margen E del área y en contacto con mármoles, así como su cercanía con *Ktne*₂, podrían sugerir que *Kgdd* representa sólo una variación de *Ktne*₂ en la zona de contacto.

XENOLITOS

Los enclaves de *Kdi* en *Ktne* y *Ktnp* son elipsoidales, aplanados y muestran contacto abrupto, sin halos de reacción y textura de grano fino a granoblástica. Los enclaves forman parte de la foliación del granitoide y sugieren la inclusión de sólidos inmiscibles de la roca encajonante preservados en el magma. La textura de los xenolitos parece haber sido generada por procesos de recrystalización, limitada reacción química con el magma y fusión parcial selectiva; su forma sugiere la reducción de volumen en una dirección. Los remanentes de *Kdi* en la parte centro-oriental del área y los enclaves en los cuerpos principales, que bien podrían ser fragmentos de anfibolita no asimilados, parecen sugerir una etapa de intrusión(?) previa y más máfica (diorítica) al emplazamiento de los granitoides mayores.

Tabla 2. Resumen de los procesos de ascenso y emplazamiento para los magmas responsables de los granitoides en el N de Sierra Juárez, Baja California utilizando los criterios de Clarke (1992).

Estilo de Emplazamiento	Tipo	Exocontactos	Contacto	Endo-contactos	Plutones del Area
<i>Diapirismo</i> (Marsh 1982, 1984; Bateman, 1984; 1985)	Forzada	Foliación paralela al contacto; aureola de porfiroblastos sin-cinemáticos con foliación diapírica; características compresionales con estructuras desviadas.	Cizalla posible a lo largo del contacto.	Plutones circulares en planta; foliación marginal paralela al contacto	<i>Ktne</i> <i>Ktnp</i> <i>Kgdg</i> <i>Kgdd</i>
<i>Expansión</i> (<i>Ballooning</i>) (Pitcher y Read, 1963; Bateman, 1985; Ramsey, 1989)	Forzada	Aureola deformación continua con el plutón; deformación disminuye al alejarse de los contactos; minerales sincinemáticos.	Deformación paralela al contacto	Aplastamiento	<i>Ktne</i> <i>Ktnp</i> <i>Kgdi</i>
<i>Post-Magmático</i> (Marre, 1986; Guineberteau <i>et al.</i> , 1987; Jamieson <i>et al.</i> , 1987)	Forzada	Deformación frágil y/o dúctil; cizalla cataclasis, milonitización, pliegues de arrastre, fracturas tensionales, aureola termal ausente.	Abrupto a difuso; recto a arqueado; salvanda; estrias	Deformación frágil y/o dúctil; cizalla; cataclasis; milonitización.	<i>Clivaje</i>

SEGREGACIONES SCHLIEREN

Aunque la interpretación de las características que exhibe *Ktmd* es compleja, parece que la alternancia de bandas claras y oscuras, con espesores irregulares y subparalelas a la foliación representan cambios en la concentración de la plagioclasa y el cuarzo, así como de la hornblenda y la bitotita, respectivamente. Los contactos transicionales, gradacionales a difusos, con las tonalitas *Ktne* y *Ktnp* que las aloja, y la lineación, casi perpendicular, permiten sugerir que las bandas cíclicas son sincrónicas a los granitoides. Uno de los mecanismos que podría responder a la formación de las bandas está relacionado a procesos de segregación derivadas por flujo en estado subsólido, similares a la nucleación de cristales por crecimiento *in situ* (Wilson, 1993), propiciando la linealidad acentuada en *Ktmd* y el desarrollo de la lineación casi perpendicular a la foliación. No obstante, es posible la intervención de algún otro proceso que motivó la gradación aparente y la ciclicidad de bandas claras y oscuras (*schlieren layering*) o capas de segregación asociadas localmente a fábricas de flujo producidas por alguna clasificación durante los procesos de flujo o acentamiento de los cristales (Best, 1982).

EXOCONTACTOS

Todos los contactos externos de los granitoides en el área de estudio son discordantes, no obstante que la foliación en las rocas metamórficas es muchas veces subparalela. En particular, el contacto entre los granitoides y las rocas metamórficas está constituido típicamente por las variaciones tonalíticas y la granodiorita de granate con mármoles.

FOLIACIÓN

La foliación de los granitoides estudiados está representada por los enclaves dioríticos orientados y deformados, con hornblenda y biotita euhedrales subparalelas, foliación deformada alrededor de los enclaves, segregaciones subparalelas (*schlieren layering*) de *Ktmd*, que implican flujo en estado subsólido. En forma descriptiva, la orientación subparalela de minerales tabulares y/o prismáticos presenta variaciones continuas y espaciadas, donde las rocas con foliación continua presentan menor resistencia y/o reflejan mayor intensidad de los esfuerzos que las rocas con foliación espaciada (Twiss y Moores, 1992). En los granitoides del área domina la foliación

espaciada, con variedad composicional bandeada en las tonalitas, mientras que en las granodioritas es composicional difusa, en *Kdi* es continua fina y en *Ktmd* es composicional bandeada.

La foliación en granitoides puede desarrollarse por procesos magmáticos o en estado sólido, como miembros finales de una serie continua (Paterson *et al.*, 1989), involucrando flujo durante el ascenso del magma, expansión (*ballooning*) y emplazamiento diapírico, emplazamiento durante la deformación regional, deformación regional post-emplazamiento o la combinación de las anteriores. Aplicando estos conceptos a los granitoides identificados en el área, se puede suponer que la foliación de *Ktne*, incluiría el flujo, la expansión y el emplazamiento diapírico y la deformación regional; la de *Ktne*₂, *Ktnp* y posiblemente *Kgdg* se asociaría al flujo y al emplazamiento diapírico; la de *Kgdi* controlada por el flujo y por el emplazamiento durante la deformación regional; la de *Kgdd* a la deformación post-emplazamiento, al igual que el clivaje; la de *Ktmd* incluida en *Ktne* y *Ktnp* se relaciona al emplazamiento de los cuerpos intrusivos; los enclaves de *Kdi* fue producto de la combinación de todos los procesos. El predominio de las foliaciones composicionales en los granitoides es coherente con el origen magmático propuesto para la foliación identificada. La foliación de los granitoides estudiados está relacionada principalmente a la mecánica propia de la forma de emplazamiento, con influencia posterior y restringida del ambiente tectónico.

CLIVAJE

El clivaje identificado es un rasgo conspicuo de todos los granitoides en el área y está representado por foliación anastomosada espaciada, como una variación de la foliación (Twiss y Moores, 1992). Este clivaje sistemático se considera producto de flujo en estado sólido, con un sistema principal y dos subsistemas pobremente desarrollados (Figura 8). Sin embargo, bajo análisis meso y microscópicos cuidadosos sería factible identificar algún otro tipo de foliación generada por flujo en estado sólido.

ASCENSO Y EMPLAZAMIENTO

Los mecanismos involucrados durante el ascenso y emplazamiento de los granitoides aún no están bien entendidos.

El concepto de espacio es uno de los más discutidos, en vista de que no existe espacio disponible en la corteza para alojar un cuerpo magmático. Paterson *et al.* (1996) sugieren que durante el ascenso deben verificarse procesos de transferencia de masas, de distribución amplia y/o corta, para explicar el emplazamiento de los cuerpos intrusivos y que la roca encajonante debe registrar esta deformación. Sin embargo, los estudios efectuados en las inmediaciones de los contactos intrusivos (*e.g.*, Paterson y Fowler, 1993) muestran generalmente un déficit considerable de deformación en las rocas intrusionadas.

Aunque podría ser posible que la formación de las masas magmáticas se inicie a través de fracturas del tipo *I* o *tensiles* (Suppe, 1985), el ascenso de los cuerpos magmáticos voluminosos es también materia de discusión y dependiente del ambiente tectónico. De acuerdo con Clarke (1992), el movimiento del magma en tectónica vertical es dominado por el diapirismo; mientras que durante eventos de deformación horizontal se presentan el emplazamiento forzado, la explotación de fracturas y la expansión (o *ballooning*); y en un régimen de tectónica transpresiva y transcurrente las irregularidades del movimiento posibilitarían la creación del espacio, al igual que en tectónica transtensional y tensional. Al aplicar estos conceptos para explicar las características de los granitoides estudiados, se observa que el mecanismo dominante es el diapirismo. No obstante, es posible la combinación de varios procesos para explicar el ascenso de los diferentes magmas.

Por otro lado, aplicando los conceptos de campo (Clarke, 1992) para interpretar las características principales de los mecanismos involucrados y el nivel de emplazamiento de los granitoides estudiados se interpreta que los contactos abruptos y discordantes de *Kdi* y *Kdap* y su anisotropía discreta sugieren emplazamiento somero a intermedio. Sin embargo, *Ktne*, *Ktmd*, *Ktnp*, *Kgdi* y *Kgdg* parecen de emplazamiento profundo, dado que muestran contactos discordantes y difusos con las rocas parametamórficas, aunque sensiblemente concordantes con la forma de los plutones; con foliación similar a la roca encajonante y ausencia de texturas de grano fino y/o contactos fríos; las evidencias de la aureola termal, sin migmatitas importantes, y la intensidad de metamorfismo en la roca encajonante es ubicable en facies de anfíbolita (Romero-Espejel, 1996).

Así, parece que el ascenso de los granitoides estudiados pudo estar dominado por diapirismo y ocurrió en un ambiente de densidad, viscosidad y contrastes térmicos bajos entre el magma y la roca encajonante. Sin embargo, con el ascenso de los magmas se incrementaron los contrastes de densidad, viscosidad y térmicos, con la deformación consecuente de la roca encajonante y la tendencia para acentuar los otros mecanismos, principalmente de la explotación de fracturas. La Tabla 2 resume la interpretación efectuada para los procesos de emplazamiento y ascenso de los magmas responsables de los diferentes granitoides en el área de estudio y es una adaptación de la propuesta por Clarke (1992).

ORIGEN

Las características de los diferentes granitoides del área y su ubicación en el contexto batolítico permiten establecer que: a) la composición modal de las diferentes rocas intrusivas sugiere rocas sobresaturadas en SiO_2 (Figura 11); b) la hornblenda invariable como mineral característico y la biotita común, con apatito, zircón y allanita como accesorios relaciona a los granitoides con ambientes de subducción (Clarke, 1992); c) si estas rocas plutónicas se asocian a subducción, les asigna un carácter calcialcalino (Best, 1982); d) su asociación al ambiente tectónico destructivo, continente-océano, les otorga un carácter metaluminoso (Clarke, 1992); e) el predominio de ilmenita como la fase opaca ubica al conjunto de granitoides dentro de la zona de ilmenita (Gastil *et al.*, 1975; 1986) y los granitoides tipo *S* (Todd y Shaw, 1985); g) la fuente precursora del Batolito Oriental combinó elementos ígneos y sedimentarios (Gastil *et al.*, 1975; Todd y Shaw, 1985; Silver y Chapell, 1988).

CLASIFICACIÓN GENÉTICA

La clasificación genética de los granitoides es también otro aspecto controversial, en el que se han propuesto diversas clasificaciones: con base en los minerales opacos accesorios (Gastil *et al.*, 1986), por su fuente posible (Todd y Shaw, 1985), netamente químicas (alcalinos, calcialcalinos, etc.), su combinación (Ague y Brimhall, 1987) y otras más. Sin embargo Clarke (1992) considera el número de eventos de fusión parcial experimentados por una fuente de manto peridotítico, donde los magmas de primera generación están relacionados a la fuente basáltica. Los granitoides de segunda derivación o granitoides secundarios (*i.e.* granitoides metaluminosos de arco continental y la asociación tonalita, trondhjemitita y granodiorita) son producto de la mezcla parcial de las rocas basálticas que sufrieron un evento previo de fusión parcial. Los granitoides de tercera derivación o terciarios son producto de la mezcla parcial de detritos alterados (sedimentos continentales) formados por mezclas parciales (tonalitas) de mezclas parciales del manto (basaltos).

La serie de rocas plutónicas en el área refleja la intervención de sedimentos incorporados a un magma de segunda derivación y la producción de magmas parentales que generaron granitoides terciarios en un régimen quizá sintectónico. El ambiente magmático-metamórfico del área estudiada se puede ubicar en la parte alta de la corteza media, a una profundidad de 10-12 km, implícita en los 3.75 ± 0.5 kb de presión y $625 \pm 20^\circ\text{C}$ de temperatura, condiciones aparentes y más cercanas al equilibrio termodinámico implícito por la geotermobarometría efectuada sobre la asociación granate, biotita, plagioclasa y sillimanita de un esquistos de grano grueso ubicado aproximadamente a 120m del contacto ígneo-metamórfico con *Ktne*, en la parte N del área estudiada (Romero-Espejel, 1996).

CORRELACIÓN

La correlación de los diferentes granitoides identificados en el área con los principales granitoides incluidos en el *Batolito Oriental del Complejo Batolítico Peninsular* son:

Kdi

Los xenolitos y remanentes pequeños de diorita incluidos en *Ktne* y *Ktnp*, su forma, textura, estructura y mineralogía permiten sugerir la presencia de cuerpos volcánicos a hipabisales previos al emplazamiento de los granitoides. La explicación posible a la presencia típica de xenolitos dioríticos en los granitoides podría relacionar condiciones de *P-T-X* cercanas a la línea del *solidus*. Esto explicaría la segregación de *Ktmd*, la conservación de los xenolitos de *Kdi* y la incorporación al magma de los xenolitos cuarzofeldepáticos mediante asimilación selectiva. *Kdi* podría corresponder a una etapa de magmatismo más máfico, tal como lo sugiere Kimzey (1982) al referirse a los afloramientos dioríticos al E del *Plutón La Posta* o ser correlacionable con los diques y sills de composición basáltica(?) incluidos en el *Esquisto Julian* (Germinario, 1993).

Ktne

La tonalita expuesta en la parte central del área que constituye parte del escarpe corresponde a un granitoide terciario formado por dos cuerpos diferentes de composición similar y parece corresponder al principal inductor de los agentes de metamorfismo que propiciaron la asociación biotita, granate, sillimanita y feldespato en la secuencia de rocas parametamórficas del área estudiada. Este granitoide se emplazó a alrededor de 10 km de profundidad, bajo mecanismos de ascenso y emplazamiento atribuibles a diapirismo y expansión, con el desarrollo de la foliación por flujo magmático, acentuada por procesos tectónicos. Posiblemente se correlacione con los plutones deformados tipo *Pre La Posta* (160 a 101 Ma en zircones. Gastil *et al.*, 1991).

Ktnp

Esta tonalita se ubica en la parte S del área y presenta características similares a *Ktne*; los mecanismos de ascenso y emplazamiento sugieren diapirismo y expansión(?) menos desarrollado que en *Ktne*. Las características y emplazamiento de *Ktnp* parecen similares al *Plutón El Topo* (Wernicke, 1987) con edad de 109 a 107 Ma, deducida a partir de zircones de la facies periférica, y consolidado hace 83 Ma.

Ktmd

Esta tonalita corresponde a segregaciones melanocráticas terciarias en *Ktne* y *Ktnp*, con hornblenda y biotita orientadas desarrollando parte de la foliación. Estas segregaciones podrían relacionarse a la cristalización temprana en las cámaras magmáticas, sujetas a flujo y deformación magmática y en estado sólido. La foliación y lineación que presentan posiblemente se generaron muy cerca de la línea de *solidus*,

como en el *Plutón El Topo* (Wernicke, 1987) donde se describen rocas derivadas por procesos quizá similares.

Kgdg

Esta granodiorita está expuesta sólo en la margen E del área estudiada y parece intrusar(?) a *Ktne*. La foliación incipiente puede ser producto del ascenso y emplazamiento de un magma terciario fraccionado similar a *Ktne*₂ o a *Kgdi*. Esta variación sugiere patrones similares a los descritos en el *Plutón El Topo* (Wernicke, 1987).

Kgdi

Esta granodiorita constituye prácticamente la mitad de los afloramientos de rocas intrusivas y cubre la parte W del área. La foliación incipiente permite sugerir expansión con ascenso por diapirismo de un magma terciario. Su fraccionamiento, por enfriamiento, pudo generar las segregaciones de *Kgdg* y *Kgdd*, emplazados en *Ktne*. Parece correlacionable con el *Plutón La Posta* de 94±2 Ma (Kimzey, 1982; Walawender *et al.*, 1991; Gastil *et al.*, 1991) aunque no se lograron establecer sus variaciones características.

Kgdd

Esta granodiorita tabular se aloja en la parte central de *Ktne*, se caracteriza por las orbículas menores a 3 cm deformadas, constituidas por esfena incluida en feldespato y cuarzo. Este dique podría corresponder a la segregación y emplazamiento, por explotación de fracturas, de soluciones residuales terciarias derivadas del enfriamiento de *Kgdi*. Las orbículas deformadas y la foliación que presenta *Kgdd* sugieren un periodo de deformación posterior al *subsolidus*, que podría ser de origen tectónico o relacionada al emplazamiento de un granitoide posterior. Este cuerpo semeja a los diques derivados del *Plutón La Posta* (Gastil *et al.*, 1991).

Kdap

Estos diques están expuestos irregularmente sobre los granitoides, su estructura tabular sugiere ascenso y emplazamiento por explotación de fracturas de las soluciones residuales generadas por la consolidación de los magmas terciarios anteriores. Los patrones estructurales podrían tener correspondencia con los sistemas de fracturamiento cruzado, longitudinal, diagonal y planar propuestos para caracterizar el fracturamiento primario en intrusivos (Balk, 1937).

CONCLUSIONES

La posible historia magmático-plutónica, fundamentada en la interpretación de las características mineralógicas, petrológicas y estructurales, para los granitoides de la parte N en Sierra Juárez, Baja California sugiere la migración hacia el E del arco magmático que propició la formación del *Complejo Batolítico Peninsular* y en particular del *Batolito Oriental*. Los

procesos magmáticos parece que generaron magmas de tercera derivación en dos ciclos diferentes, con cuatro granitoides principales y cuatro granitoides secundarios, que posiblemente propiciaron un ambiente de temperatura anómalamente alta durante el transcurso de 20 millones de años y procesos de advección de calor durante el metamorfismo de las rocas preexistentes. El responsable principal de los efectos de la temperatura puede atribuirse al emplazamiento de *Ktne*₁ a una profundidad entre 10 y 12 km, seguido por el emplazamiento de *Ktne*₂ y de *Ktnp* hace aproximadamente 107 Ma.

Aunque es difícil establecer la posición de *Kgdg*, estos granitoides fueron deformados por el emplazamiento posterior de *Kgdi*, el cual es correlacionable con el *Plutón La Posta* de 94±2 Ma, y ligeramente después, por la segregación del dique de *Kgdd*, en condiciones quizá más someras y favorecido por estructuras preexistentes. Este proceso de intrusiones múltiples acentuó la foliación magmática de los granitoides principales y provocó el desarrollo del clivaje en un ambiente posiblemente sintectónico. La segregación y emplazamiento de las soluciones residuales generadas por la consolidación durante el enfriamiento de los diferentes magmas provocó la formación de los diques aplítico-pegmatíticos, dominados posiblemente por los patrones de fracturamiento y fallamiento asociados a los procesos de disminución de volumen en los magmas emplazados. El sistema magmático parece que recobró su enfriamiento normal después de aproximadamente 83 Ma. Finalmente, y como producto de la eliminación de la cubierta superior del paquete ígneo-metamórfico y por la deformación del Terciario Tardío se desarrollaron nuevos sistemas de fracturamiento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos los arbitrajes del M.C. Jorge Ledezma Vazquez y de un revisor anónimo, cuyas críticas y recomendaciones ayudaron a mejorar este trabajo. Los resultados presentados forman parte del estudio de la *Estructura y Petrología en el norte de Sierra Juárez, Baja California*, como proyecto de tesis de Maestría en Ciencias del primer autor. Esta investigación formó parte del proyecto "Evolución tectónica del área de la Laguna Salada", financiado parcialmente por el CONACyT (3250-T9308) y el CICESE (proyecto interno 5069). El primer autor también agradece a los Dres. Gary Axen y Arturo Martín su apoyo durante distintas fases de esta investigación. La Geological Society of America otorgó a J.G.H. Romero-Espejel el apoyo de investigación No. 5452-94.

REFERENCIAS

Ague, J.J., and Brimhall, G.H., 1987, Granites of the batholiths of California: products of local assimilation and regional-scale crustal contamination. *Geology*, 15, 63-66.

Baird, A.K., and Miesch, A.T., 1984, Batholithic rocks of southern California- a model for the petrochemical nature of their source

materials, U. S. Geological Survey, Professional Paper 1284.

Baird, A.K., Baird, K.W., and Welday, E.E., 1974, Chemical trends across Cretaceous batholithic rocks of southern California, *Geology*, 2, 493-495.

Balk, R., 1937, Structural Behavior of Igneous Rocks, Geological Society of America, Memoir 5, 177.

Best, M.G., 1982, Igneous and metamorphic petrology, W. H. Freeman and Company, First Edition, 630.

Chadwick, B., 1987, Petrology, geochemistry, and geochronology of the Tres Hermanos-Santa Clara Region, Baja California, Mexico, Master of Science thesis, San Diego State University, 207.

Clarke, D.B., 1992, Granitoid Rocks, Chapman & Hall, First Edition, London, 283.

Clinkenbeard, J.P., 1987, The mineralogy, geochemistry, and geochronology of the La Posta pluton, San Diego and Imperial counties, California, Master of Science thesis, San Diego State University, 215.

DePaolo, D.J., 1980, Source of continental crust: neodymium isotope evidence from the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, *Science*, 209, 684-687.

DePaolo, D.J., 1981, A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California, *Journal of Geophysical Research*, 86, 10470-10488.

Eastman, B.G., 1986, The geology, petrography, and geochronology of the Sierra San Pedro Martir pluton, Baja California, Mexico, Master of Science thesis, San Diego State University, 154.

Gastil, R.G., Phillips, R.P., and Allison, E.C., 1975, Reconnaissance Geology of the State of Baja California, Geological Society of America, Memoir 140, 170.

Gastil, R.G., 1983, Mesozoic and Cenozoic granitic rocks of Southern California and Western Mexico, in: J.A. Roddick, editor, Circumpacific plutonic terranes, Geological Society of America, Memoir 159, 265-275.

Gastil, R., Diamond, J., and Knaack, C., 1986, The magnetite ilmenite line in peninsular California, Geological Society of America, Abstracts with Programs 18, 109.

Gastil, R.G., Kimbrough, J., Tainosho, Y., Shimizu, M., and Gunn, S., 1991, Plutons of the eastern peninsular ranges, southern California, USA and Baja California, Mexico, in: M.J. Walawender, and B.B. Hanan, editors, Geological excursions in southern California and Mexico, Guidebook, Geological Society of America, San Diego State University, 1991 annual meeting, 319-331.

Gastil, R.G., and Girty, M.S., 1993, A reconnaissance U-Pb study of detrital zircon in sandstones of Peninsular California and adjacent areas, in: R.G. Gastil, and R.H. Miller, editors, The prebatholithic stratigraphy of Peninsular California, Geological Society of America, Special Paper 279, 135-144.

Germinario, M., 1993, The Early Mesozoic Julian Schist, Julian, California, in: R.G. Gastil, and R. H. Miller, editors, The

- prebatholithic stratigraphy of Peninsular California, Geological Society of America, Special Paper 279, 107-118.
- Gromet, L.P., and Silver, L.T., 1987, REE variations across the Peninsular Ranges Batholith: implications for batholithic petrogenesis and crustal growth in magmatic arcs, Part I, *Journal of Petrology*, 28, 75-125.
- Gunn, S.H. 1984, The geology, petrography and geochemistry of the Laguna Juarez pluton, Baja California, Mexico, Master of Science thesis, San Diego State University, 166.
- Hill, R.I., 1984, Petrology and Petrogenesis of batholithic rocks, San Jacinto Mountains, southern California, Ph.D. Dissertation California Institute of Technology, Pasadena, CA., 660.
- INEGI (CETENAL), 1976, Cartas Geológica y Topográfica El Centinela, I11D64, escala 1:50,000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F.
- INEGI (CETENAL), 1976, Cartas Geológica y Topográfica La Poderosa, I11D74, escala 1:50,000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F.
- INEGI (CETENAL), 1976, Cartas Geológica y Topográfica La Rumorosa, I11D63, escala 1:50,000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F.
- INEGI (CETENAL), 1976, Cartas Geológica y Topográfica Mexicali, I11-12, escala 1:250,000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F.
- INEGI (CETENAL), 1976, Cartas Geológica y Topográfica Neji, I11D73, escala 1:50,000, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D. F.
- Kimzey, J.A., 1982, Petrography and geochemistry of the La Posta Granodiorite, Master of Science thesis, San Diego State University, San Diego, CA., 81.
- Krummenacher, D., Gastil, R.G., Bushee, J., and Doupont, J., 1975, K-Ar apparent ages, Peninsular Ranges Batholith, southern California and Baja California, *Geological Society of America Bulletin*, 86, 760-768.
- McCormick, W.V., 1986, The geology, petrography, and geochronology of the Sierra San Pedro Martir pluton, Baja California, Mexico, Master of Science thesis, San Diego State University, 123.
- Nicholson, C., Sorlien, C.C., Atwater, T., Crowell, J.C., and Luyendyk, B.P., 1994, Microplate capture, rotation of the Western Transverse Ranges and initiation of the San Andreas transform as a low-angle fault system, *Geology*, 22, 491-495.
- Parrish, K.E., 1990, Geology, Petrography, Geochronology, and Isotopic character of the Indian Hill pluton, Jacumba Mtns., California, Master of Science thesis, San Diego State University, 136.
- Paterson, S.R., Vernon, R.H., Tobish, O.T., 1989, A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids, *Journal of Structural Geology*, 11, 3, 349-363.
- Paterson, S.R., and Fowler, T.K., 1993, Re-examining pluton emplacement processes. *Geology*, 15:2, 191-206.
- Paterson, S.R., Fowler, T.K., and Miller, R.B., 1996, Pluton emplacement in arcs: a crustal exchange process, *Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 87, 115-123.
- Romero-Espejel, J.G.H., 1996, Estructura y Petrología en el norte de Sierra Juárez, Baja California, Maestría en Ciencias Tesis, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, B. C., 157.
- Ross, D.C., 1984, Possible correlations of basement rocks across the San Andreas, San Gregorio-Hosgri and Rinconada-Reliz-King City Faults, California, U. S. Geological Survey, Professional Paper, 137.
- Silver, L.T., and Mattinson, J.M., 1986, Orphan Salinia, has a home, *EOS Transactions*, 67, 1215.
- Silver, L.T., and Hill, R.I., 1986, U-Th-Pb microdiscordance in young zircons: a case study in the San Jacinto Mountains, California, *EOS Transactions*, 67, 399-400.
- Silver, L.T., and Anderson, T.H., 1974, Possible left-lateral early to middle Mesozoic disruption of the southwestern North America craton margin, *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 6, 955-956.
- Silver, L.T., Early, T.O., and Anderson, T.H., 1975, Petrological, geochemical and geochronological asymmetries of the Peninsular Ranges batholith, *Geological Society of America, Abstract with Programs* 7, 375-376.
- Silver, L.T., and Early, T.O., 1977, Rubidium-strontium fractionation domains in the Peninsular Ranges batholith and their implications for magmatic arc evolution, *EOS Transactions*, 58, 532.
- Silver, L.T., Taylor, H.P., and Chapell, B., 1979, Some petrological, geochemical and geochronological observations of the Peninsular Ranges batholith near the international border of the U.S.A. and Mexico, in: P.L. Abbott, and V.R. Todd, editors, *Geological Society of America, Guidebook* 1979, 83-110.
- Silver, L.T., 1982, Evidence and a model for west-directed early to mid-Cenozoic basement overthrusting in southern California, *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 14, 617.
- Silver, L.T., 1987, Lead isotopes and the petrogenesis of Cordilleran batholiths, *Geological Society of America, Abstracts with Programs* 19, 845.
- Silver, L.T., and Chapell, B.W., 1988, The Peninsular Ranges Batholith: an insight into the evolution of the cordilleran batholiths of southwestern North America, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 79, 105-121.
- Streckeisen, A.L., 1973, Classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks, *Geotimes*, October 1973, 26-30.
- Suppe, J., 1985, *Principles of Structural Geology*, Prentice Hall, First Edition, New Jersey, 537.
- Taylor, H.P., and Silver, L.T., 1978, Oxygen isotope relationships in plutonic igneous rocks of the Peninsular Ranges batholith, southern and Baja California, U.S. Geological Survey, Open File Report 78-701, 423-426.

- Taylor, H.P., 1986, Igneous rocks: II, Isotopic case studies of circumpacific magmatism, *in*: J.W. Valley, H.P. Taylor, and J.R. O'Neil, editors, Stable isotopes in high temperature geological process, Mineralogical Society of America, Rev. Mineral, 16, 273-317.
- Taylor, H.P., 1988, Oxygen, hydrogen and strontium isotope constraints on the origin of granites, Royal Society of Edinburgh Earth Sciences, Transactions 79, 317-338.
- Todd, V.R., and Shaw, S.E., 1985, S-type granitoids and an I-S line in the Peninsular Ranges batholith, southern California, *Geology*, 13, 231-233.
- Todd, V.R., Erskin, B.G., and Morton, D.M., 1988, Metamorphic and tectonic evolution of northern Peninsular Ranges Batholith, southern California, *in*: W.G. Ernst, editor, Metamorphic and crustal evolution for the western United States, Prentice Hall, Ruby Volume VII, 894-937.
- Twiss, R.J., and Moores, E.M., 1992, Structural Geology, W.H. Freeman and Co., New York, 532.
- Wallawender, W.J., and Smith, T.E., 1980, Geochemical and petrologic evolution of the basic plutons of the Peninsular Ranges batholith, southern California, *Geology*, 88, 233-242.
- Walawender, M.J., Gastil, R.G., Clinkenbeard, J.P., McCormick, W.V., Eastman, B.G., Wernicke, R.S., and Gunn, S.H., 1990, Origin and Evolution of the zoned La Posta-type plutons, eastern Peninsular Ranges batholith, southern and Baja California *in*: The Geology of North America, Geological Society of America Memoir 174, 1-18.
- Walawender, W.J., Girty, G.H., Lombardi, M.R., Kimbrough, D., Girty, M.S., and Anderson, C., 1991, A synthesis of recent work in the Peninsular Ranges Batholith, *in*: M.J. Walawender, and B.B. Hanna, editors, Geological excursions in southern California and Mexico, Geological Society of America, San Diego State University Guidebook annual meeting 1991, 297-318.
- Wernicke, R.S., 1987, Geology, petrography and geochemistry of the El Topo Pluton, Baja California Norte, Mexico, Master of Science thesis, San Diego State University, 226.
- Wilson, M., 1993, Igneous Petrogenesis, a global tectonic approach, Chapman & Hall, London, Third Edition, 466.

CATÁLOGO DE SISMOS RECIENTES (1991-1996) REGISTRADOS POR LA RED DE ACELERÓGRAFOS DEL NOROESTE DE MÉXICO

Antonio Vidal, Manuel Luna, Luis Munguía, Miguel Navarro, Victor Wong y Tito Valdéz
Depto. de Sismología, División Ciencias de la Tierra, CICESE
A.P. 2732, Ensenada, Baja California, México.

RESUMEN

El presente documento tiene la finalidad de dar a conocer los resultados del funcionamiento de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México en su etapa más reciente (1991 a 1996). La red está constituida por 24 estaciones distribuidas en el norte de Baja California y la parte occidental de Sonora. Del total de estaciones, 19 están equipadas con instrumentación digital y 5 con instrumentación de tipo analógico. Los sismos registrados por la red han permitido formar un catálogo consistente en 228 registros de aceleración de 3 componentes cada uno. Para el procesamiento de los datos optamos por desarrollar nuestra propia programación en lenguaje C. El Volumen I de datos, corregidos sólo por la sensibilidad del instrumento, se obtiene para todos los sismos registrados mediante el programa RANM y únicamente en los casos de sismos relevantes ($M \geq 4.0$) se obtienen los Volúmenes II y III de datos con el programa DINT94. El Volumen II está constituido por la aceleración, la velocidad y el desplazamiento del terreno y el Volumen III lo constituyen los espectros de Fourier y de respuesta. En lo que respecta a los sismos registrados, éstos tienen magnitudes comprendidas en un intervalo de 2.0 a 5.0. La aceleración máxima absoluta registrada durante el periodo que comprende este estudio es de 358 cm/s^2 y fue producida por un temblor de magnitud 4.7 (lat. N 32.413, lon. W 115.238) registrado a una distancia epicentral de 7.4 km. De 148 sismos registrados, fue posible establecer la localización epicentral de 105 de ellos. La mayoría de los sismos (95) se localizan en la región del Valle Mexicali-Imperial y sólo diez fueron ubicados en la región del Macizo Rocos Peninsular. No obstante de ser pocos los sismos pertenecientes a esta región, seis de ellos tienen magnitudes entre 4 y 5.

INTRODUCCIÓN

Con el propósito de registrar los movimientos fuertes causados por sismos relevantes de la región norte de Baja California, durante los últimos 21 años ha estado en funcionamiento la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México (RANM). Durante su periodo de existencia la red ha experimentado múltiples cambios, tales como reubicación de estaciones, reemplazo de instrumentación obsoleta por instrumentación de tecnología moderna y electrificación de sitios, por mencionar sólo algunos de ellos. Estos cambios obedecen a la necesidad de contar con una red moderna que produzca registros de buena calidad (no saturados, completos, sin señales espurias, con buen control de tiempo) en la eventualidad de la ocurrencia de un sismo fuerte ($M > 6.0$). Por otro lado, ha sido necesario documentar estrictamente todos los cambios realizados con el propósito de procesar correctamente los acelerogramas registrados.

La finalidad del presente documento es dar a conocer el procesamiento realizado a los datos de aceleración registrados por la red durante el periodo de 1991 a 1996 y presentar información de los sismos que generaron algún acelerograma. La base de datos está formada por los acelerogramas, localizaciones hipocentrales, valores de aceleración máxima y la documentación de la instrumentación utilizada. La información de sismos registrados durante la primera etapa de

la red, que comprende de diciembre de 1976 a diciembre de 1991, se encuentra ya documentada por Munguía *et al.* (1995) y además está integrada a la Base Mexicana de Sismos Fuertes (antes llamada Base Nacional de Sismos Fuertes, Quass *et al.*, 1995).

LA RED DE ACELERÓGRAFOS DEL NOROESTE DE MÉXICO

Munguía *et al.* (1995) dieron ya una descripción muy completa de como está estructurada la red y de las características físicas de las estaciones. En esta sección solamente nos limitaremos a describir los cambios hechos a la fecha. Uno de los principales logros ha sido tener un mayor número de estaciones digitales en funcionamiento (19) en comparación con las reportadas en 1995 (11) y sólo 5 estaciones analógicas en lugar de las 14 que funcionaban en el mismo año. La distribución geográfica de las estaciones abarca principalmente la región norte del estado de Baja California y la parte occidental del estado de Sonora (Figura 1). La mayor densidad de estaciones se encuentra en la región del Valle Mexicali-Imperial (VMI), a lo largo del sistema de fallas Imperial-Cerro Prieto, debido a que este sistema genera con mayor frecuencia los sismos más fuertes de la región (algunos ejemplos son: el sismo del Valle Imperial del 15 de octubre de 1979 [$M = 6.6$] y el sismo de Victoria del 9 de junio de 1980 [$M = 6.1$]).

Sin embargo, otros sistemas con potencial para generar sismos de magnitud moderada a fuerte son los formados por las fallas San Miguel y Vallecitos, la falla Sierra Juárez y el área de Pino Solo, ubicados en la región del Macizo Rocos Peninsular (MRP). En octubre y noviembre de 1954 y febrero de 1956 ocurrieron sismos fuertes en esta región (6 sismos con magnitudes de 6.0 a 6.8). Los temblores de la secuencia de febrero de 1956 fueron los que definieron el segmento sur de la falla San Miguel (Shor y Roberts, 1958). Por tal motivo se ha tratado de ir mejorando gradualmente la cobertura de estos sistemas de fallas. Un ejemplo de ello lo constituye la instalación durante 1996 de 2 estaciones (RSA y RAC) en la región del MRP, además del reemplazo de equipo analógico por instrumentación digital en las estaciones VTR e IZA. Adicionalmente se instaló instrumentación con resolución de 24 bits en tres estaciones (DEL, GEO y SAL) ubicadas en la región del VMI. Estos cambios se han realizado con el propósito de que, en la eventualidad de un sismo fuerte, la red produzca registros cercanos a la fuente y que sean de excelente calidad.

INSTRUMENTACIÓN

Las estaciones de la red están equipadas con instrumentación de tipo analógico (SMA-1) e instrumentación de tipo digital (SSA-1, SSA-16, SSR-1/SA-102, K2 y ETNA). La mayoría de estos instrumentos fueron fabricados por la compañía Kinemetrics, con excepción de los acelerómetros SA-102 (de Terra Technology) utilizados en combinación con las grabadoras SSR-1. Una descripción sucinta de los instrumentos SSR-1/SA-102, K2 y ETNA, se presentan en los siguientes párrafos; el resto de los instrumentos (SMA-1, SSA-1 y SSA-16) ya fueron descritos por Munguía *et al.* (1995).

SISTEMAS SSR-1/SA-102

Estos sistemas están formados por grabadoras digitales de memoria de estado sólido SSR-1 y tres acelerómetros SA-102 dispuestos en un arreglo ortogonal. Los acelerómetros, fabricados por la compañía Terra-Technology, tienen una frecuencia natural de 30 Hz y un amortiguamiento del 70% del valor crítico. Las grabadoras tienen una capacidad de

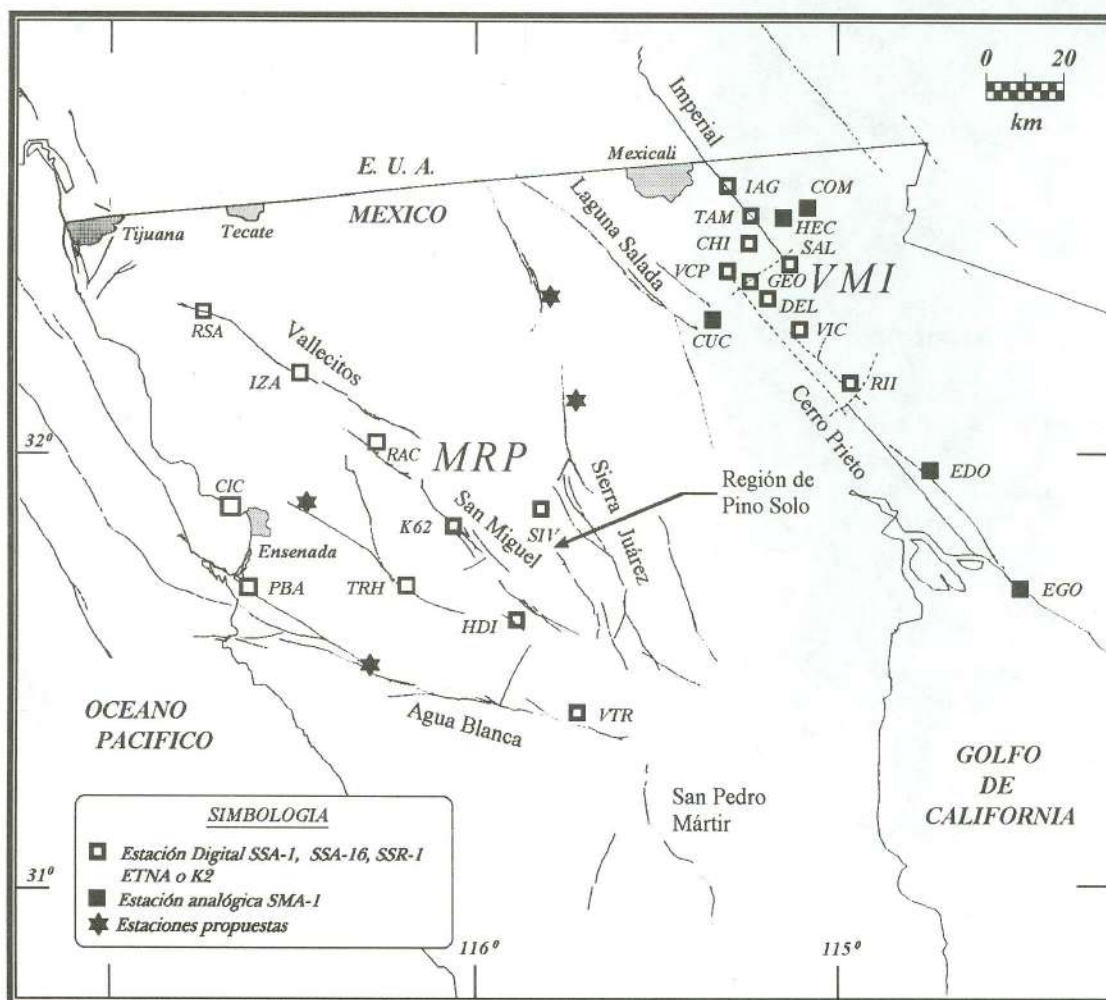


Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones de la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México. Las abreviaturas MRP y VMI indican las regiones del Macizo Rocos Peninsular y del Valle Mexicali-Imperial, respectivamente.

almacenamiento de 1 megabyte de memoria, están equipadas con convertidores analógico/digital de 16 bits y tienen un rango dinámico de 96 db. En estos sistemas se efectúa el muestreo de la señal a una razón de 200 muestras por segundo y por canal.

ACELERÓGRAFOS DIGITALES K2 Y ETNA

Estos instrumentos detectan 3 componentes ortogonales de aceleración y las registran en tarjetas del tipo PCMCIA (*Personal Computer Memory Card International Association*, [ver Kinematics, 1994, 1995]). Estas tarjetas son dispositivos de almacenamiento en masa. Los acelerógrafos están equipados con convertidores analógico/digital de 24 bits y tienen un rango dinámico de 114 y 108 db para K2 y ETNA, respectivamente. Los acelerómetros tienen una frecuencia natural de 50 Hz y un amortiguamiento correspondiente al 70 % del valor crítico. En la configuración actual de la red, este tipo de acelerógrafos operan a una escala de ± 2 g ($1 \text{ g} = 980 \text{ cm/s}^2$) con valores de umbral de disparo comprendidos entre 0.2 a 1% de g. La razón de muestreo usada es también de 200 muestras por segundo por cada canal.

Con el propósito de que todos los registros estén referidos al Tiempo Universal Coordinado, a las estaciones equipadas con instrumentación SMA-1 y SSA-1 se les han instalado receptores de tiempo WWVB (código emitido por una estación de radio localizada en Colorado, EUA.), mientras que las estaciones equipadas con instrumentación SSA-16 y SSR-1/SA-102 funcionan con receptores de tiempo Omega. Estos receptores reciben la señal emitida por el Sistema Global Omega de Navegación por Radio y la convierten a Tiempo Universal Coordinado. En el caso de estaciones equipadas con instrumentos K2 y ETNA la señal de tiempo es proporcionada por receptores del tipo GPS (*Global Positioning System*).

De acuerdo a la experiencia adquirida en la operación de los equipos digitales, estos fueron programados para que funcionen con memorias pre-evento de entre 15 y 15.36 s y post-evento de 60 s. Estos parámetros han permitido el registro apropiado de la señal sísmica, tanto de los primeros arribos como de la longitud de la señal. La mayoría de los registros de aceleración que se han obtenido son de buena calidad en virtud a que incluyen los primeros movimientos causados por la onda P, las amplitudes están registradas a escala y la longitud de las señales es apropiada.

En la Tabla 1 se presenta información concerniente a las estaciones de la red. En ella se incluye el nombre y código de las estaciones, sus coordenadas geográficas, la orientación de cada componente de registro (vertical y horizontales [longitudinal y transversal al eje largo del instrumento]), el tipo de instrumentación instalada y algunas de las características instrumentales importantes para el procesamiento de datos, tales como la frecuencia natural, el amortiguamiento y la sensibilidad.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

El procesamiento de los datos de aceleración se realiza siguiendo la secuencia estándar descrita por Trifunac y Lee (1973). Esta secuencia consiste en obtener los Volúmenes I, II y III de datos. El Volumen I está constituido por los registros de aceleración corregidos únicamente por la sensibilidad del instrumento y por línea de base. El Volumen II consiste de acelerogramas corregidos por el efecto del instrumento y de registros de velocidad y desplazamiento obtenidos a partir de la integración de los acelerogramas corregidos. Finalmente, el Volumen III lo constituyen los espectros de Fourier y de respuesta, obtenidos estos últimos para varios valores de amortiguamiento. Rutinariamente, todos los datos de aceleración registrados por la red, ya sea en formato analógico o digital, son procesados hasta la obtención del Volumen I. Solamente en los casos de acelerogramas de sismos importantes por su magnitud, por los efectos sentidos durante su ocurrencia, por el número de estaciones que los registraron o por formar parte de algún estudio en particular, son procesados hasta la obtención de los Volúmenes II y III.

Munguía *et al.* (1995) describieron con detalle el tipo de procesamiento que se realiza a los datos registrados por la red y presentaron ejemplos de los resultados que se obtienen. En esta sección solo complementaremos tal descripción con información respecto a la programación desarrollada para el procesamiento y la forma en como se catalogan los datos procesados. La explicación que se proporciona en los párrafos siguientes está basada en el diagrama de bloques de la Figura 2.

VOLUMEN I

Una vez extraída la información en los sitios de registro, con programación proporcionada por la compañía fabricante de los equipos, se procede en el laboratorio a efectuar el procesamiento de los datos. Si bien la compañía proporciona también programas para el procesamiento estándar de los datos registrados, éstos son muy rígidos en su uso y el usuario solamente los puede manejar como "cajas negras", por lo que consideramos conveniente desarrollar nuestra propia programación. El programa desarrollado para la obtención del Volumen I es RANM, escrito en lenguaje C. Este programa puede decodificar los archivos de datos producidos por acelerógrafos SSA-1, SSA-16 y por grabadoras SSR-1, lo cual lo hace un programa muy conveniente. El resultado de este programa es un archivo que contiene las series de tiempo (en ASCII) grabadas en el formato estándar de datos de aceleración propuesto para la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes. En este formato las series de tiempo van precedidas de un encabezado con información concerniente al sitio de registro, a la instrumentación usada y también al sismo y a las características del acelerograma generado. A continuación se escriben, en columnas contiguas, las series de tiempo de las tres componentes de aceleración (longitudinal, vertical y transversal) registradas.

Tabla 1. Estaciones de la Red de acelerógrafos del noroeste de México que han funcionado durante el periodo que abarca el presente estudio.

Estación	Coordenadas		Comp.	Or. ¹	Sen. ²	Frec. (Hz)	Am. ³	Instrumento
	Latitud	Longitud						
Chihuahua (CHI)	32°29'11.80"	115°14'30.60"	long vert tran	10 + 100	2.50 2.50 2.50	50.35 50.00 50.00	0.57 0.55 0.55	SSA-16
CICESE (CIC)	31°52'06.00"	116°39'50.70"	long vert tran	0 + 90	2.50 2.50 2.50	30.00 30.00 30.00	0.70 0.70 0.70	SSR-1/SA-102
Compuertas (COM)	32°34'12.00"	115°04'48.00"	long vert tran	90 + 180	1.68 2.03 1.80	25.89 25.00 25.37	0.63 0.51 0.61	SMA-1
Cucapah (CUC)	32°18'23.50"	115°19'58.90"	long vert tran	90 + 180	1.68 1.89 1.88	25.76 26.64 25.86	0.57 0.57 0.57	SMA-1
Delta (DEL)	32°21'18.90"	115°11'14.20"	long vert tran	0 + 90	1.25 1.25 1.25	51.20 52.30 51.00	0.64 0.64 0.66	ETNA
El Doctor (EDO)	31°57'32.00"	114°44'40.10"	long vert tran	280 + 190	1.61 1.98 1.75	27.11 24.44 26.66	0.56 0.57 0.58	SMA-1
El Golfo (EGO)	31°41'13.80"	114°29'51.20"	long vert tran	320 + 230	1.98 1.66 1.83	25.00 26.30 26.00	0.54 0.56 0.60	SMA-1
Geotermica (GEO)	32°24'00.00"	115°14'24.00"	long vert tran	0 + 90	1.25 1.25 1.25	51.10 52.10 53.40	0.64 0.64 0.64	ETNA
Héroes de la Independencia (HDI)	31°36'55.00"	115°52'55.70"	long vert tran	8 + 98	1.25 1.25 1.25	55.50 55.18 56.86	0.59 0.60 0.59	SSA-1
Hechicera (HEC)	32°32'47.70"	115°08'43.30"	long vert tran	62 + 332	1.94 2.03 1.59	24.80 25.00 27.80	0.55 0.47 0.53	SMA-1
Islas Agrarias (IAG)	32°37'12.00"	115°18'00.00"	long vert tran	0 + 90	2.50 2.50 2.50	51.44 50.68 50.29	0.54 0.59 0.57	SSA-16
Ignacio Zaragoza (IZA)	32°11'33.80"	116°29'05.30"	long vert tran	0 + 90	5.00 5.00 5.00	30.00 30.00 30.00	0.70 0.70 0.70	SSR-1/SA-102
Kilometro 62 (K62)	31°49'48.00"	116°03'36.00"	long vert tran	0 + 90	1.25 1.25 1.25	56.70 55.47 56.88	0.60 0.59 0.60	SSA-1
Punta Banda (PBA)	31°41'24.00"	116°37'12.00"	long vert tran	0 + 90	2.50 2.50 2.50	30.00 30.00 30.00	0.70 0.70 0.70	SSR-1/SA-102
Rancho Agua Caliente (RAC)	32°01'13.02"	116°18'04.26"	long vert tran	0 + 90	1.25 1.25 1.25	55.43 56.28 56.18	0.62 0.61 0.61	SSA-1
RIITO (RII)	32°09'50.80"	114°57'37.30"	long vert tran	0 + 90	2.50 2.50 2.50	50.12 52.11 50.09	0.54 0.54 0.56	SSA-16
Rancho Santa Alicia (RSA)	32°22'33.00"	116°46'43.20"	long vert tran	0 + 90	1.25 1.25 1.25	51.00 53.50 51.10	0.66 0.66 0.64	K2
Saltillo (SAL)	32°25'20.08"	115°07'49.30"	long vert tran	0 + 90	1.25 1.25 1.25	50.08 50.06 50.07	0.64 0.65 0.64	ETNA
Santa Isabel Viejo (SIV)	31°52'15.10"	115°48'57.60"	long vert tran	15 + 105	1.25 1.25 1.25	55.96 55.27 56.30	0.60 0.59 0.60	SSA-1
Tamaulipas (TAM)	32°32'58.30"	115°14'08.40"	long vert tran	0 + 90	2.50 2.50 2.50	49.91 50.59 49.54	0.57 0.55 0.57	SSA-16
Tres Hermanos (TRH)	31°41'24.00"	116°11'24.00"	long vert tran	0 + 90	1.25 1.25 1.25	56.20 55.45 56.21	0.60 0.60 0.61	SSA-1
Volcan Cerro Prieto (VCP)	32°25'12.00"	115°18'00.00"	long vert tran	0 + 90	1.25 1.25 1.25	54.92 56.31 55.31	0.60 0.59 0.59	SSA-1
Victoria (VIC)	32°17'24.00"	115°06'00.00"	long vert tran	62 + 152	2.50 2.50 2.50	50.13 50.51 50.13	0.51 0.53 0.52	SSA-16
Valle de la Trinidad (VTR)	31°23'54.40"	115°42'51.20"	long vert tran	0 + 90	2.50 2.50 2.50	30.00 30.00 30.00	0.70 0.70 0.70	SSR-1/SA-102

Abreviaturas utilizadas: Comp. = Componente, Or. = Orientación geográfica (acimut) de los componentes (long y tran) y polaridad de la componente vertical, Sen. = Sensibilidad, Frec. = Frecuencia natural y Am. = Amortiguamiento de los acelerómetros.

1. Con base en resultados preliminares de pruebas hechas a los instrumentos SSA-1 y SSA-16, se ha determinado que un movimiento hacia arriba (+) en el registro vertical (vert) significa un movimiento hacia abajo del terreno. No obstante, para la combinación SSR-1/SA-102 el movimiento hacia arriba en el registro vertical, significa un movimiento hacia arriba del terreno. En el caso de los registros horizontales (long y tran) obtenidos con instrumentos SSA-1 y SSA-16, un movimiento hacia abajo de la traza indicará que el terreno se movió en la dirección positiva (dirección de orientación) del acelerómetro. En contraparte, en los registros horizontales obtenidos con la combinación SSR-1/SA-102 el movimiento del terreno en la dirección de orientación del acelerómetro estará indicado por un movimiento hacia arriba de la traza.

2. Las unidades utilizadas en los instrumentos analógicos (SMA-1) son cm/g y V/g para los digitales (SSA-16, SSA-1, SSR-1/SA-102, K2 y ETNA).

3. Los valores de amortiguamiento son expresados como un porcentaje del valor crítico.

VOLÚMENES II Y III

Similarmente al caso de la generación del Volumen I de datos, en que decidimos hacerlo con programación propia, para la generación de los Volúmenes II y III optamos por diseñar los programas DINT94 y TPL94 (escritos también en lenguaje C). DINT94 es el programa que efectúa la corrección por efecto del instrumento y por línea de base y aplica filtros pasabanda, a la ventana de interés seleccionada por el usuario. A continuación integra los datos de aceleración corregidos para obtener la velocidad y el desplazamiento del terreno (Volumen II de datos). Adicionalmente DINT94 permite efectuar cálculos tales como: determinar el valor raíz cuadrático medio de la aceleración, obtener sismogramas Wood-Anderson equivalentes y calcular la magnitud local, filtrar la señal en proceso (aceleración, velocidad o desplazamiento), calcular el espectro de Fourier y finalmente calcular los espectros de respuesta. Los espectros, tanto el de Fourier como los de respuesta, constituyen el Volumen III de datos y son graficados con el programa TPL94.

BASE DE DATOS

A partir de la información registrada por RANM hemos formado una base de datos de aceleración, la cual está constituida esencialmente por los datos del Volumen I y para los sismos de

mayor relevancia, además del Volumen I, por los datos de los Volúmenes II y III. La forma de cómo está estructurada esta base se comenta a continuación.

ARCHIVOS DE DATOS

Los archivos con los datos de aceleración corregidos por la línea de base y por la sensibilidad del instrumento, Volumen I, se agrupan y guardan en forma compacta por evento en discos de 3.5 pulgadas para computadoras personales y en cartuchos de cinta magnética para computadoras SUN. El nombre que reciben los archivos con los datos de aceleración se forma de la siguiente manera: tres letras que indican el código de la estación que registró el sismo, dos dígitos que indican el año y tres dígitos más que indican el día juliano. La extensión de estos archivos está formada por tres caracteres. El primero de ellos indica el tipo de archivo de que se trate, por ejemplo A (ASCII), y los otros dos indican el número de evento registrado en esa estación durante el día correspondiente, esto es:



Adicionalmente, existen otros dos archivos asociados a cada archivo tipo A:

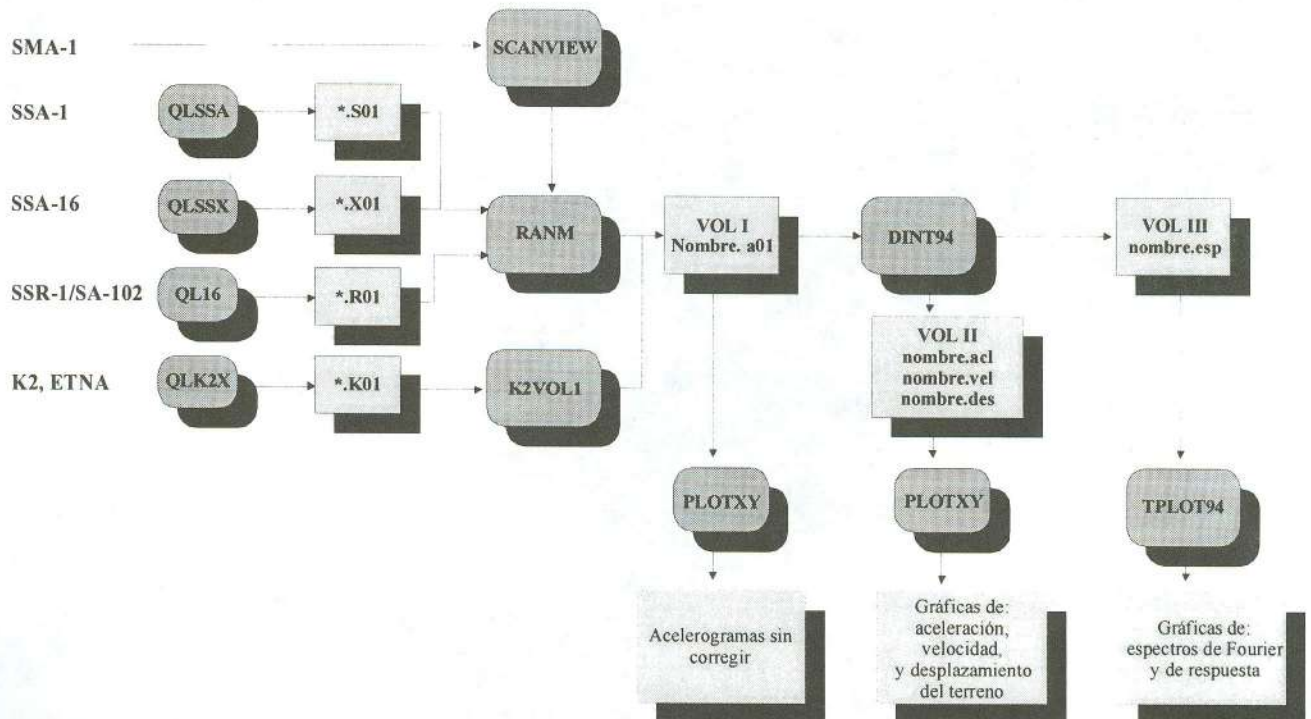


Figura 2. Esquema del procesamiento realizado a los datos registrados por RANM. Los programas QLSSA, QLSSX, QL16 y QLK2X. permiten efectuar, si se desea, una inspección visual rápida de la información grabada (archivos con extensión S, X, R y K). Con excepción de la utilidad SMA SCANVIEW, utilizada en la digitalización de los acelerogramas analógicos, y K2VOL1 para la obtención del Volumen I para los datos del K2 y ETNA, el resto de los programas RANM, DINT94 y TPL94 fueron diseñados para obtener el Volumen I, los Volúmenes II y III y las gráficas del Volumen III, respectivamente.

- 1) El primero de ellos tiene un nombre similar al anterior pero con la extensión ". P01". En este caso, la P indica que se trata de un archivo con instrucciones para el programa de graficado PLOTXY (Parker, 1994), que dará como resultado una gráfica con las tres componentes de aceleración.
- 2) El segundo archivo contiene los datos crudos y tiene también un nombre similar, pero en la extensión se indica el tipo de instrumento que registró el sismo de acuerdo al siguiente código: S para acelerógrafos SSA-1, X para acelerógrafos SSA-16, R para el sistema grabadora/acelerómetro SSR-1/SA-102 y K para acelerógrafos K2 y ETNA.

ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Con el propósito de hacer un uso eficiente de la capacidad de almacenamiento en los discos, los archivos de datos de aceleración, de instrucciones de graficado, y de datos crudos se almacenan, como ya se mencionó, en forma compacta. Para compactar y descompactar los archivos se emplean, respectivamente, los programas comerciales PKZIP y PKUNZIP de PKWARE Inc.

La nomenclatura de los archivos compactos está formada por las letras SI (letras iniciales de la palabra sismo), y seis dígitos que indican la fecha de registro: los primeros dos dígitos indican el año, los siguientes dos indican el mes y los últimos dos indican el día respectivo. La extensión de los archivos está formada por tres caracteres, por ejemplo: ".Z01". La Z indica que se trata de un archivo compacto y 01 indica el número secuencial del evento en ese día. Por ejemplo el archivo



corresponde al primer sismo registrado el día 12 de enero de 1996. Como este sismo fue registrado en las estaciones Chihuahua (CHI) y Volcán Cerro Prieto (VCP), el archivo compacto contiene seis archivos: dos de datos crudos, en binario (CHI96012.X01 y VCP96012.S01), dos correspondientes al Volumen I de datos (CHI96012.A01 y VCP96012.A01), y finalmente otros dos (CHI96012.P01 y VCP96012.P01) con instrucciones para la obtención de la gráfica respectiva.

INTEGRACIÓN DE LOS DATOS DE RANM A LA BASE MEXICANA DE SISMOS FUERTES

Los acelerogramas generados por RANM desde 1976 hasta 1995, e información concerniente a ellos, forman ya parte de la Base Mexicana de Sismos Fuertes. En esta base está integrada la información de las diferentes redes de acelerógrafos que funcionan (o que han funcionado) en el país y los acelerogramas registrados. Esta información está contenida en tres volúmenes

y en discos CD-ROM, los cuales se pondrán próximamente en venta. El primer volumen (Quass *et al.*, 1993), contiene información de las estaciones tal como: nombre de la estación, coordenadas, ubicación y tipo de suelo, entre otros datos. El segundo volumen (Quass *et al.*, 1995) contiene información de los acelerogramas registrados tal como: estación de registro, fecha de registro del sismo, tiempo de la primera muestra, intervalo de muestreo, aceleraciones máximas, etcétera. El tercer volumen (Quass *et al.*, 1996) es una actualización de las estaciones instaladas hasta 1995, de los acelerogramas registrados a 1994 y de los acelerogramas producidos por 3 sismos relevantes ocurridos en 1995 en Copala ($M = 7.2$), Colima ($M = 7.5$) y Chiapas ($M = 6.5$). Finalmente, las series de tiempo grabadas en el formato estándar de la Base Mexicana de Sismos Fuertes, estarán disponibles próximamente en discos CD-ROM.

SISMICIDAD REGISTRADA

LOCALIZACIÓN DE EPICENTROS

Durante el periodo que cubre el presente documento, 1991-1996, fue posible obtener la localización para 105 de 148 sismos registrados por la red. De 1991 a 1993, y en los casos en que el sismo había sido detectado sólo por una estación, la localización epicentral se tomaba de boletines de la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM), en la mayoría de los casos, o de catálogos del California Institute of Technology (CIT). A partir de 1994, y conforme se ha tenido un mayor número de estaciones con el tiempo de referencia universal en sus registros, hemos incluido los tiempos de arribo de estas estaciones en el proceso rutinario de localización. Para un sismo dado, nuestras lecturas se complementan con lecturas de tiempos de arribo de estaciones de RESNOM y, en ocasiones, de estaciones analógicas temporales que han funcionado principalmente en el Valle Mexicali-Imperial. En el caso de sismos de esta región, el modelo de velocidades de la corteza que se utiliza en la localización de hipocentros es el propuesto por Munguía (1995), el cual es una simplificación del modelo publicado por McMechan y Mooney (1980) para el Valle Imperial. Para el caso de sismos del Macizo Rocos Peninsular, el modelo de velocidades que se utiliza es el propuesto por Nava y Brune (1982). Estos modelos se usan en combinación con el programa de localización HYPO71 de Lee y Lahr (1975).

DISTRIBUCIÓN DE EPICENTROS

Los epicentros obtenidos del proceso de localización se muestran en el mapa de la Figura 3. En esta figura se aprecia que la mayoría de los sismos registrados por la red fueron generados en la región del Valle Mexicali-Imperial y sólo 10 de ellos ocurrieron en la región del Macizo Rocos Peninsular. Estos últimos están ubicados a lo largo de la falla San Miguel, al este de la falla Vallecitos y entre las fallas Sierra Juárez y San Miguel. Los epicentros de los noventa y cinco sismos restantes se concentran entre los extremos sur y norte de las fallas Imperial y Cerro Prieto, respectivamente y al oeste del volcán Cerro Prieto. Finalmente, sólo cinco sismos están

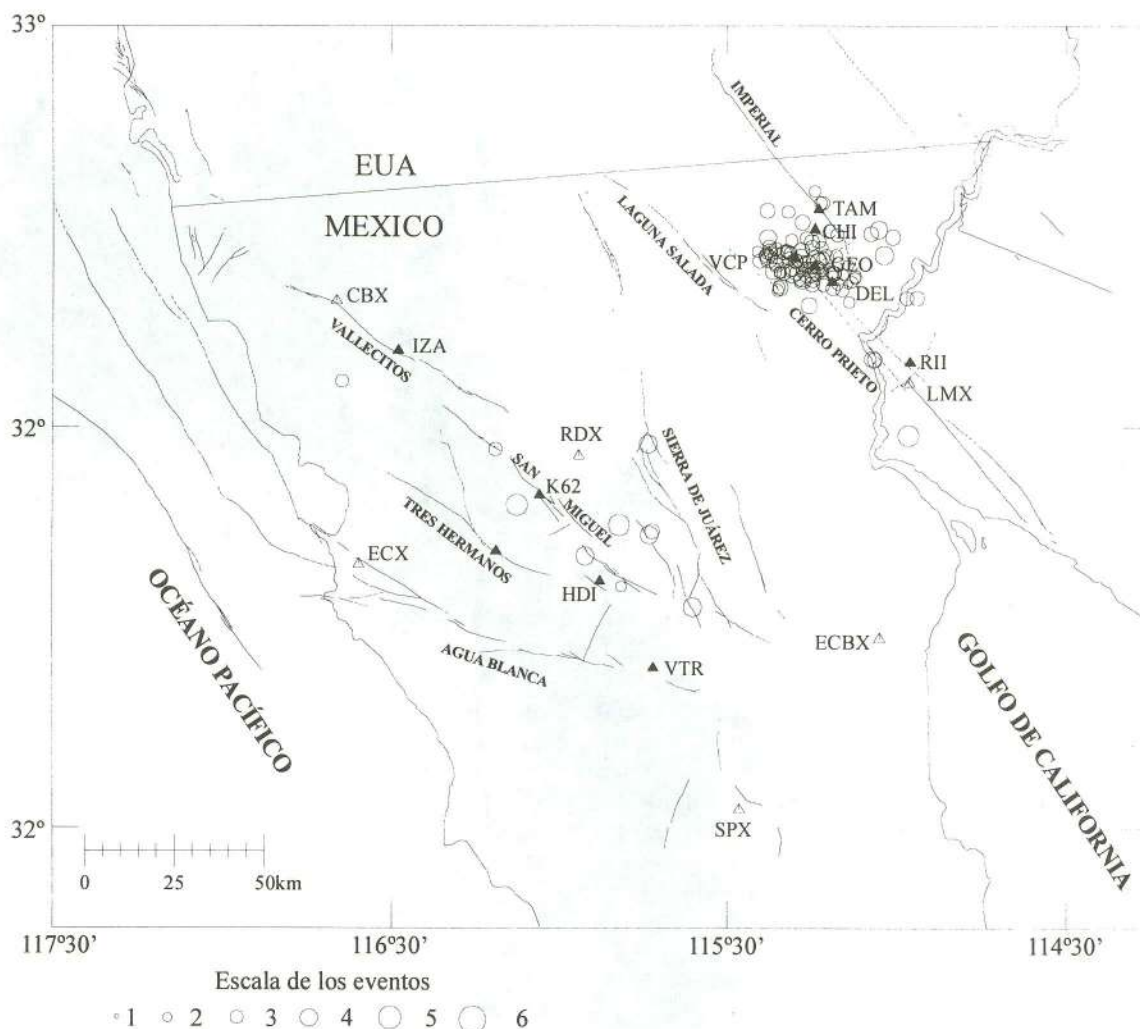


Figura 3. Sismicidad registrada por RANM durante el periodo 1991 a 1996. Los epicentros (círculos) fueron localizados con datos de estaciones de RANM (triángulos en negro), complementados con datos de estaciones de RESNOM (triángulos en blanco).

ubicados hacia el sur de la zona descrita: dos de ellos al norte de la estación Riito (RII), otros dos al oeste y uno más al sur de la misma estación. Las profundidades obtenidas están comprendidas entre 0.1 y 16.0 km. Es importante resaltar que durante 1996 ocurrieron sismos de magnitud ($M \geq 4.0$) en ambas regiones.

En la Figura 4 se presenta un histograma comparativo de los sismos localizados y los no localizados con respecto al total de eventos registrados. El porcentaje de sismos localizados durante el periodo representa el 71% del total de sismos registrados. El 29% restante está representado por sismos que solamente fueron registrados en una estación de RANM y que no existieron lecturas de estaciones de otras redes para obtener la localización respectiva. Otro aspecto que resalta en la Figura 4 es que 1993 fue el año más productivo en el número de sismos registrados, representados en gran parte por la secuencia de sismos ($2.6 \leq M \leq 4.0$) de septiembre y diciembre de 1993 ocurridos en la región del VMI (ver Tabla 2).

COMENTARIO SOBRE LAS MAGNITUDES REPORTADAS

Las magnitudes de los sismos están comprendidas en un intervalo de 2.0 a 5.0. El tipo de magnitud reportada es la magnitud local o bien la magnitud de duración. Estos valores de magnitud son los reportados en boletines de sismicidad de RESNOM o en catálogos de CIT. Si bien se tiene la capacidad para calcular la magnitud local (como se mencionó anteriormente) el cálculo de esta magnitud con datos de las estaciones de RANM no se ha incluido aún en el procesamiento de rutina. Lo anterior obedece a que, con base en pruebas que hemos hecho con sismos del VMI registrados a distancias cortas, en estaciones ubicadas en esta región, y utilizando la curva de atenuación de Richter (1958), hemos obtenido valores muy altos de magnitud que en algunos casos han sobrepasado hasta en 1.5 unidades el valor reportado por las dos agencias mencionadas. Estas dos agencias determinan la magnitud de los sismos de nuestra zona de interés a partir de registros obtenidos a distancias intermedias (de entre 40 a 120 km,

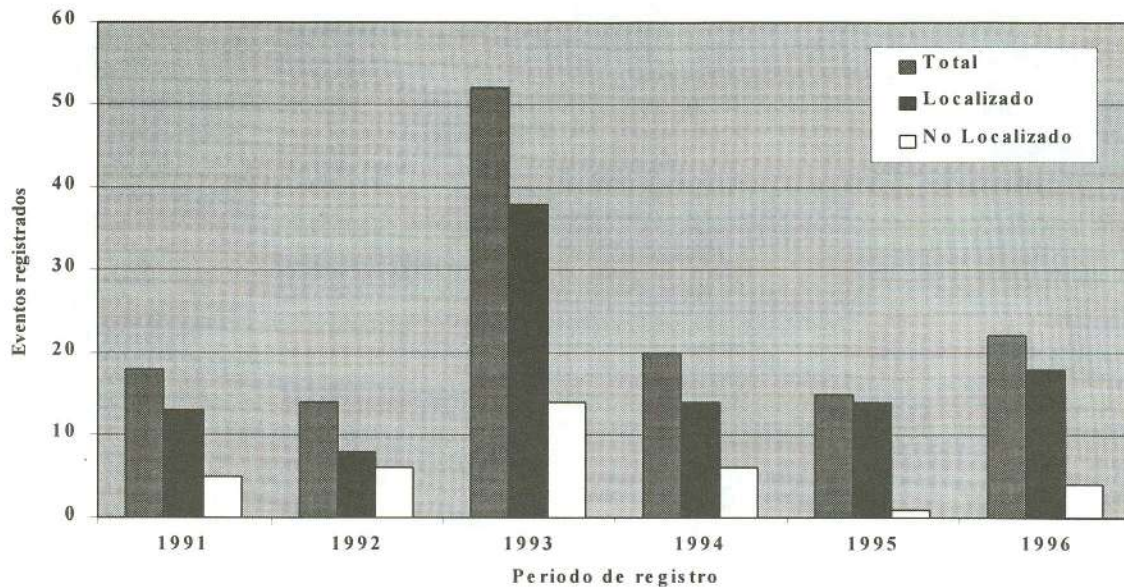


Figura 4. Sismos registrados, localizados y no localizados correspondientes al periodo 1991 a 1996.

aproximadamente). Por otro lado, Vidal y Munguía (1997) determinaron que a distancias cortas (< 40 km) y distancias grandes (> 200 km) las regiones del VMI y del MRP tienen curvas de atenuación diferentes a la curva reportada por Richter (1958). A distancias cortas los datos de las estaciones de RANM fueron de gran importancia en el establecimiento de las curvas de atenuación del VMI y del MRP. Adicionalmente se observó que el factor de sitio juega también un papel importante en la amplitud de las señales registradas.

MAGNITUD Y DISTANCIA DE REGISTRO DE LOS ACELEROGRAMAS

La Figura 5 muestra las magnitudes de los 105 sismos localizados y las distancias a las que fueron obtenidos los acelerogramas respectivos. De ella se desprenden varias observaciones interesantes. La primera, como ya se ha mencionado previamente, es que la mayoría de los registros corresponden a sismos ($2.5 \leq M \leq 4.9$) del VMI (círculos de línea delgada), obtenidos en su mayoría a distancias cortas (de 1.4 a 30 km). La distancia máxima de registro en esta región es de alrededor de 60 km. La segunda es que si bien son sólo 10 los sismos del MRP registrados por la red, la mayoría de ellos (6) son de magnitud 4.0 a 5.0. En este caso los sismos fueron registrados a distancias hasta de 135 km. En la Figura 5 los datos producidos por los sismos del MRP están indicados con círculos en negro cuando se registraron en estaciones del MRP y con círculos de línea gruesa cuando se registraron en estaciones del VMI. Es interesante notar que para 2 sismos de magnitud comparable, el ocurrido en el VMI (3 de octubre de 1994, $M = 4.9$) no fue registrado en estaciones del MRP, mientras que el ocurrido en el MRP (23 de marzo de 1994, $M = 5.0$) se registró tanto en estaciones del MRP como en estaciones del VMI. A partir de estas observaciones se hace obvia la diferente atenuación que caracteriza a estos dos medios (VMI y MRP) confirmando los resultados de Vidal y Munguía (1997). Un

estudio más detallado de este fenómeno está fuera del alcance de los objetivos del presente documento. No obstante la instalación de equipo digital en ambas regiones nos está permitiendo obtener la información necesaria para establecer las diferencias entre los dos medios.

En la Tabla 2 se proporcionan los parámetros del sismo (tiempo de origen, localización y magnitud), conjuntamente con los valores de aceleración máxima de las tres componentes de aceleración registradas. De los 105 sismos localizados, 56 fueron registrados en una estación ($2.0 \leq M \leq 4.3$), 21 se registraron en 2 estaciones ($2.4 \leq M \leq 4.3$) y los 28 restantes se registraron en 3 o más estaciones ($3.2 \leq M \leq 5.0$). Con respecto a los valores máximos de aceleración, si bien se espera que el sismo de magnitud mayor produzca valores de aceleración altos, estos valores dependerán de factores tales como el efecto de sitio, la atenuación del medio y la distancia a la que haya sido registrado el sismo, entre otros. Así por ejemplo, el sismo de magnitud menor (8 de noviembre de 1991, $M = 2.0$) registrado en la estación DEL a una distancia de 4.5 km generó una aceleración máxima de 23.4 cm/s^2 , mientras que el sismo de magnitud mayor (23 de marzo de 1994, $M = 5.0$) registrado en la estación TAM a una distancia de 13 km generó una aceleración máxima de 15.9 cm/s^2 . La aceleración máxima absoluta observada durante el periodo que se reporta fue de 358 cm/s^2 . Este valor máximo de aceleración fue producido en la componente transversal de la estación DEL por el temblor de magnitud 4.7 ocurrido el 11 de enero de 1995 en el VMI. El registro se obtuvo a una distancia epicentral de 7.4 km.

CONCLUSIONES

El procesamiento de la información registrada por RANM ha permitido conocer las aceleraciones generadas para cada uno de los 148 sismos registrados durante el periodo 1991-1996.

Tabla 2. Sismos registrados por la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México durante 1991-1996.

Archivo	Fecha d/m/a	T. Origen h:m:s	Latitud	Longitud	P.F. (km)	M	Est.	Dis. (km)	Acel. Máximas (cm/s ²)		
									Long	Vert	Tran
SI910326.Z01	26/03/91	21:12:40.15	32.311	115.140	6.0	2.7	DEL	7.2	-8.0	8.1	9.5
SI910619.Z01	16/06/91	11:46:23.34	32.384	115.343	10.6	2.8	CHI	14.8	7.7	6.7	8.3
SI910824.Z01	24/08/91	07:48:00.27	32.382	115.334	1.3	3.2	CHI	14.4	11.9	12.5	-28.7
SI910910.Z01	10/09/91	07:30:03.30	32.557	115.218	8.0	3.2	TAM	1.9	53.0	41.5	-59.5
							CHI	8.2	-41.5	-27.7	49.0
SI910910.Z02	10/09/91	07:46:59.78	32.556	115.223	10.0	3.0	TAM	1.4	-28.3	29.0	-36.0
							CHI	8.0	17.0	19.3	28.4
SI911101.Z01	01/11/91	14:04:36.23	32.345	115.188	12.2	3.3	DEL	1.7	45.1	-45.1	61.0
							VIC	10.3	-9.0	12.0	-14.7
SI911101.Z02	01/11/91	14:54:50.20	32.380	115.158	7.4	2.7	DEL	3.7	-22.2	35.4	17.9
SI911102.Z01	02/11/91	11:29:45.32	32.361	115.131	5.1	2.6	DEL	5.6	-12.5	-17.7	-18.6
SI911108.Z01	08/11/91	15:09:59.24	32.355	115.143	6.0	2.0	DEL	4.5	-10.1	23.4	7.6
SI911108.Z01	08/11/91	23:08:13.72	32.379	115.250	4.0	3.6	DEL	6.0	-18.9	-15.6	30.1
							CHI	11.9	25.7	7.9	-20.1
SI911109.Z01	09/11/91	01:27:12.09	32.340	115.161	3.0	3.0	DEL	3.5	-28.7	35.1	-20.9
SI911112.Z01	12/11/91	07:00:39.57	32.374	115.122	8.7	2.9	DEL	6.6	-11.6	-10.5	-15.3
SI911203.Z01	03/12/91	17:54:37.10	31.756	115.822	16.6	5.0	LAS	68.0	9.7	7.2	12.4
							DEL	89.0	16.1	7.8	-17.6
							VIC	90.0	-35.2	-7.4	-31.3
							RII	93.0	-16.9	-4.5	14.4
SI920411.Z01	11/04/92	04:16:18.74	32.356	115.250	1.2	3.5	DEL	5.7	30.7	-17.6	30.7
SI920502.Z01	02/05/92	08:34:39.32	32.394	115.309	3.7	3.3	DEL	11.8	10.0	-3.2	12.1
SI920517.Z01	17/05/92	02:27:38.51	32.4189	115.216	8.0	3.0	DEL	7.0	31.1	14.7	31.1
SI920607.Z01	07/06/92	13:27:33.98	32.370	115.122	8.0	2.7	DEL	6.5	-19.8	9.9	11.5
SI920725.Z01	25/07/92	19:01:53.76	32.425	115.281	6.0	3.2	CHI	7.7	91.6	-52.5	112.0
							TAM	14.5	-15.7	25.6	-16.0
SI920726.Z01	26/07/92	00:18:51.25	32.508	115.278	4.2	3.6	CHI	4.2	39.3	38.3	-45.6
SI920805.Z01	05/08/92	04:56:44.81	32.458	115.250	8.0	3.7	CHI	3.2	-33.5	-35.8	-46.8
SI920829.Z01	29/ 8/92	21:30:32.86	32.447	115.221	15.2	2.9	CHI	4.8	-13.7	25.3	-14.9
							DEL	10.1	-46.6	-24.5	-48.8
SI930422.Z01	22/04/93	11:03:35.54	32.472	115.011	16.9	3.6	DEL	20.9	22.8	-11.6	18.5
							CHI	21.8	23.4	8.4	44.0
SI930601.Z01	01/06/93	00:34:26.79	32.410	115.259	3.9	3.2	DEL	8.5	111.0	-24.8	-78.6
SI930601.Z01	01/06/93	14:19:24.49	32.414	115.269	5.7	2.4	DEL	9.5	-13.8	6.1	11.4
SI930602.Z01	02/06/93	00:41:31.61	32.469	115.266	6.0	3.1	CHI	2.9	-10.6	19.4	10.2
							DEL	14.0	-155.1	31.1	119.1
SI930612.Z01	12/06/93	05:21:43.30	32.369	115.279	9.2	3.8	DEL	8.4	-122.1	-30.1	65.2
							CHI	13.4	-63.0	52.7	-47.2
							VIC	18.9	23.4	9.7	29.6
							TAM	20.5	-19.3	-30.2	-12.9
SI930716.Z01	16/07/93	07:17:18.35	32.586	115.241	1.0	2.7	TAM	4.0	14.5	6.9	-11.2
SI930820.Z01	20/08/93	09:26:28.12	32.396	115.249	1.7	2.8	DEL	6.8	14.3	-12.7	-14.8
SI930906.Z02	06/09/93	22:30:10.24	32.425	115.356	3.2	3.8	CHI	12.7	-28.7	-19.7	-28.9
							DEL	17.2	-20.7	-7.3	-13.5
							TAM	17.9	18.8	7.6	23.1
SI930907.Z01	07/09/93	11:24:25.34	32.417	115.377	4.0	4.0	CHI	14.8	62.0	-23.7	-153.2
							DEL	18.7	-54.3	27.1	42.6
							TAM	19.8	-34.8	7.5	22.9
SI930907.Z02	07/09/93	11:29:09.39	32.426	115.388	10.1	3.0	CHI	15.3	7.0	-2.6	-16.8
SI930907.Z03	07/09/93	11:33:23.84	32.442	115.358	6.3	3.2	CHI	11.9	-16.5	5.6	-38.3
							DEL	18.2	-17.9	7.0	17.8
SI930907.Z07	07/09/93	12:13:48.77	32.431	115.371	4.2	3.3	CHI	13.6	-33.6	-12.0	30.6
							DEL	18.8	-13.4	3.9	9.6
SI930907.Z11	07/09/93	12:59:21.38	32.347	115.343	12.4	3.7	CHI	18.1	-36.0	8.8	-36.3
							TAM	24.6	20.5	-5.1	16.2
SI930907.Z12	07/09/93	13:07:17.36	32.436	115.411	3.3	2.6	CHI	16.8	4.7	-5.0	12.5
SI930907.Z13	07/09/93	13:40:50.88	32.423	115.383	10.8	3.6	CHI	15.0	-9.6	3.7	-31.0
SI930907.Z14	07/09/93	14:07:56.41	32.432	115.382	5.2	2.7	CHI	14.5	6.2	-2.0	-14.2
SI930907.Z15	07/09/93	14:10:19.97	32.439	115.374	7.4	3.2	CHI	13.5	17.2	-3.4	40.9
SI930908.Z01	08/09/93	07:20:19.95	32.448	115.376	5.6	3.4	CHI	13.3	20.4	-8.2	43.1
SI930910.Z01	10/09/93	15:20:37.24	32.412	115.298	1.4	3.4	CHI	9.7	-35.0	6.8	55.6
SI931011.Z01	11/10/93	18:59:42.60	32.427	115.036	2.7	4.3	DEL	16.3	-11.6	-9.1	12.8
							CHI	20.4	13.1	8.0	35.3
SI931012.Z01	12/10/93	01:41:01.07	32.481	115.076	19.6	3.5	CHI	15.6	-7.7	-4.1	13.0
SI931013.Z01	13/10/93	00:39:00.70	32.490	115.052	15.7	4.1	CHI	17.9	-7.7	-4.9	11.7
SI931111.Z01	11/11/93	13:07:17.67	32.402	115.143	2.4	2.5	DEL	6.4	14.7	7.1	11.7
SI931208.Z01	08/12/93	02:49:37.10	32.388	115.364	7.5	3.9	CHI	15.8	-64.4	-18.9	-66.4
							DEL	16.7	-22.8	12.4	26.9
							TAM	21.6	-16.6	8.0	22.2

Tabla 2. Continuación

Archivo	Fecha d/m/a	T. Origen h:m:s	Latitud	Longitud	P.F. (km)	M	Est.	Dis. (km)	Acel. Máximas (cm/s ²)			
									Long	Vert	Tran	
SI931208.Z02	08/12/93	03:02:50.98	32.418	115.317	6.0	3.2	CHI DEL	10.3 13.6	-26.6 -15.1	10.0 4.9	16.4 -12.3	
SI931208.Z03	08/12/93	03:06:18.86	32.430	115.313	6.0	3.2	CHI DEL	9.1 13.9	-10.8 -13.7	-4.9 3.5	-10.8 -13.8	
SI931208.Z04	08/12/93	03:10:46.39	32.433	115.333	6.0	3.3	CHI	10.4	21.8	7.1	-21.3	
SI931208.Z05	08/12/93	04:32:37.74	32.463	115.310	6.0	3.0	CHI	6.9	8.4	2.4	-18.1	
SI931208.Z06	08/12/93	08:47:31.01	32.412	115.299	4.2	3.3	DEL	11.8	-13.9	3.4	16.7	
SI931208.Z07	08/12/93	09:47:52.74	32.340	115.351	6.0	2.8	CHI	19.2	-8.7	4.3	22.8	
SI931209.Z01	09/12/93	00:06:58.70	32.403	115.355	2.6	3.4	CHI DEL TAM	14.1 16.2 19.8	31.8 -17.8 12.6	9.7 -6.7 -4.4	49.2 15.0 7.3	
SI931209.Z02	09/12/93	00:07:30.15	32.409	115.358	2.1	3.4	CHI DEL TAM	13.9 16.7 19.4	21.7 -10.6 8.3	-5.1 5.7 -4.8	-43.2 11.2 -6.6	
SI931209.Z03	09/12/93	04:18:10.75	32.436	115.321	1.0	3.1	CHI DEL	9.3 14.9	-13.1 -23.7	-13.0 3.8	-10.9 18.5	
SI931218.Z01	18/12/93	15:44:42.99	32.381	115.297	4.1	3.2	DEL CHI TAM	10.3 12.7 19.6	19.5 33.5 12.8	13.4 17.7 6.2	-33.7 -26.3 12.6	
SI931220.Z01	20/12/93	17:37:01.29	32.380	115.308	4.6	4.0	DEL CHI TAM	11.3 13.3 20.0	-44.5 -62.6 -20.6	8.8 -12.3 5.7	-35.2 -72.3 -26.7	
SI931220.Z02	20/12/93	17:59:02.98	32.436	115.326	6.0	2.9	CHI	9.6	-15.8	-3.7	-12.6	
SI931220.Z03	20/12/93	21:23:28.01	32.347	115.347	6.0	2.9	CHI	18.3	-8.4	-1.9	15.9	
SI931224.Z01	24/12/93	22:57:29.80	32.439	115.326	6.0	2.9	CHI	9.5	-21.6	-4.7	30.0	
SI940102.Z01	02/01/94	19:01:44.37	32.329	115.283	9.8	2.5	DEL	9.5	20.2	14.4	16.3	
SI940102.Z03	02/01/94	19:09:13.81	32.316	115.292	8.7	2.8	DEL	10.8	25.9	23.4	21.1	
SI940211.Z01	11/02/94	23:25:28.61	32.537	115.382	3.8	3.5	DEL	26.7	-14.8	5.1	12.5	
SI940303.Z01	03/03/94	17:24:11.73	32.462	115.230	11.4	3.3	DEL	11.9	20.6	-9.5	-13.4	
SI940303.Z03	03/03/94	17:27:56.97	32.302	115.258	18.5	3.8	DEL	9.1	36.8	11.5	-30.2	
SI940323.Z01	23/03/94	02:59:16.17	31.806	116.128	22.5	5.0	K62 TRH HDI DEL CHI TAM	7.0 15.0 30.0 121.7 128.8 134.0	-48.0 121.5 -32.7 -18.3 16.7 15.9	38.2 75.5 -26.8 4.1 -2.3 -2.0	100.8 102.9 39.8 -22.2 -16.2 11.4	
SI940407.Z01	07/04/94	18:32:14.49	31.678	115.924	5.1	4.3	HDI	7.9	54.1	16.7	49.8	
SI940530.Z01	30/05/94	08:52:34.00	32.423	115.209	15.3	3.5	GEO	3.7	33.6	26.9	28.6	
SI940629.Z01	29/06/94	07:46:19.14	32.367	115.248	3.6	3.6	GEO	3.8	-71.8	39.0	131.6	
SI940811.Z01	11/08/94	02:22:51.63	32.384	115.260	5.0	4.9	GEO VCP CHI VIC IAG RII	2.7 5.6 11.4 18.3 26.5 37.3	-235.9 -109.8 -36.9 21.0 -10.2 -10.2	-347.0 52.2 -20.7 -11.7 -2.4 -4.5	231.8 -146.2 23.0 30.5 -5.1 14.9	
SI941003.Z01	03/10/94	14:00:47.80	31.978	114.966	9.9	4.9	RII VIC DEL VCP CHI	20.6 36.7 47.3 58.4 62.0	-152.3 -30.8 41.1 -23.9 18.3	49.6 14.0 -10.9 -9.7 4.1	169.2 32.4 58.8 -29.9 25.5	
SI941009.Z01	09/10/94	19:20:57.17	32.390	115.314	4.5	3.0	GEO DEL	7.2 12.1	14.8 -50.7	-9.3 22.8	9.7 49.4	
SI941009.Z02	09/10/94	19:23:26.47	32.379	115.239	5.4	2.8	DEL	5.1	8.6	12.2	16.6	
SI941231.Z01	31/12/94	00:07:23.12	32.439	115.281	4.3	3.6	VCP DEL TAM	2.9 12.2 13.0	-17.2 12.5 -12.8	13.4 -7.6 -4.5	20.2 10.3 10.3	
SI950102.Z01	02/01/95	10:23:55.03	32.169	115.070	6.6	4.0	RII	10.3	-66.2	37.2	57.7	
SI950102.Z02	02/01/95	11:32:13.90	32.168	115.065	7.8	3.6	RII DEL	9.8 24.4	30.7 23.5	11.4 8.2	19.7 15.4	
SI950111.Z01	11/01/95	04:51:24.76	32.413	115.238	3.7	4.7	GEO VCP DEL TAM	1.4 6.1 7.4 15.2	-304.5 68.8 -294.8 47.4	304.2 -49.6 90.9 51.0	215.7 -65.1 -357.7 30.5	
SI950309.Z01	09/03/95	13:45:25.34	32.446	115.249	4.9	3.5	GEO DEL	5.2 11.0	-22.9 -18.8	-37.3 29.8	-31.9 12.4	
SI950328.Z01	28/03/95	06:46:48.96	32.354	115.216	5.2	3.0	DEL	2.6	-24.6	6.6	-14.8	
SI950419.Z01	19/04/95	14:58:29.51	32.386	115.219	4.7	2.2	GEO	2.4	-14.6	94.4	18.9	
SI950705.Z01	05/07/95	15:23:55.41	32.366	115.287	4.8	2.8	DEL	9.1	-16.9	12.2	-18.3	

Tabla 2. Continuación

Archivo	Fecha d/m/a	T. Origen h:m:s	Latitud	Longitud	P.F. (km)	M	Est.	Dis. (km)	Acel. Máximas (cm/s ²)		
									Long	Vert	Tran
SI950809.Z01	09/08/95	13:52:59.78	32.386	115.237	1.5	4.0	DEL	5.3	-190.6	-76.3	-155.8
							VCP	7.2	-45.0	25.3	39.7
							CHI	11.1	52.8	-52.5	52.3
SI950811.Z01	11/08/95	04:08:53.83	32.382	115.184	11.0	3.1	DEL	2.5	-16.0	20.6	12.9
SI950917.Z01	17/09/95	19:30:14.64	32.391	115.255	5.6	3.5	GEO	1.9	-8.2	20.7	-7.7
							DEL	7.0	-9.6	6.4	11.2
							CHI	10.6	6.0	6.5	10.2
SI950924.Z01	24/09/95	20:14:09.25	32.366	115.278	5.0	4.2	GEO	5.3	-18.5	17.2	-18.3
							VCP	6.4	-17.6	9.5	16.1
							DEL	8.3	-107.0	128.0	187.0
							SAL	15.2	-11.6	6.1	10.9
							TAM	20.8	-8.9	2.0	-8.5
SI951001.Z01	01/10/95	09:30:03.56	32.384	115.190	0.7	3.2	SAL	7.0	-33.6	-18.5	-28.1
SI951001.Z02	01/10/95	10:06:07.78	32.381	115.185	5.5	3.4	SAL	6.9	-25.7	-9.9	33.3
SI951117.Z01	17/11/95	12:37:21.57	32.477	115.175	3.0	3.1	GEO	10.4	28.6	31.1	-27.2
							VCP	13.5	30.9	19.2	-37.7
SI960112.Z01	12/01/96	05:35:58.38	32.385	115.346	4.4	2.7	VCP	5.4	24.2	-21.5	26.3
							CHI	14.6	7.1	-29.3	11.4
SI960215.Z01	15/02/96	09:43:30.10	32.386	115.283	4.5	2.4	GEO	4.3	15.4	80.4	-14.5
							DEL	9.3	-13.8	9.5	13.4
SI960228.Z01	28/02/96	01:59:33.28	32.396	115.233	0.2	3.2	DEL	5.7	-13.8	11.6	19.3
							VCP	7.0	8.6	3.8	-9.0
							CHI	10.0	13.1	-9.1	19.7
							SAL	10.1	-9.2	-5.3	-8.5
SI960320.Z01	20/03/96	05:03:06.74	31.551	115.603	4.9	4.3	VTR	20.0	8.7	-8.5	18.0
							HDI	27.7	8.2	7.2	9.1
SI960707.Z01	07/07/96	06:27:10.20	31.731	115.732	2.7	4.1	HDI	19.4	-21.1	7.2	23.9
							K62	32.9	1.5	-1.4	2.4
							DEL	86.5	6.9	2.8	-9.3
							RII	87.2	-8.8	-2.3	7.4
							CIC	89.6	-0.5	-0.8	0.6
SI960707.Z02	07/07/96	15:31:56.86	31.740	115.724	0.1	3.5	HDI	20.6	-5.8	-3.3	-6.1
SI960718.Z01	18/07/96	11:45:58.38	31.602	115.816	7.8	2.4	HDI	6.4	8.2	2.4	-8.6
SI960805.Z01	05/08/96	09:33:08.46	32.321	114.940	4.0	3.4	RII	17.5	-11.2	-7.5	9.6
SI960805.Z02	05/08/96	09:49:17.11	32.321	114.970	0.7	3.2	RII	17.4	7.7	3.7	7.4
SI960830.Z01	30/08/96	06:24:49.18	32.47	115.38	11.3	4.0	VCP	5.0	-32.8	16.6	39.5
							CHI	12.8	-32.9	-22.7	58.5
							DEL	17.0	-40.6	12.5	-17.3
							TAM	18.1	-29.0	-8.2	27.5
SI960830.Z02	30/08/96	12:10:53.44	32.413	115.404	3.1	3.3	VCP	5.0	-10.1	-5.3	-10.5
							CHI	13.3	4.7	7.1	14.0
							TAM	18.8	-7.3	1.6	-5.0
SI960903.Z01	03/09/96	00:56:12.62	32.425	115.178	1.4	2.9	GEO	6.4	28.9	-76.0	-47.5
SI961017.Z01	17/10/96	08:00:37.74	31.958	115.735	1.5	4.2	SIV	12.3	-3.4	1.9	2.4
							VCP	65.5	8.1	4.8	-10.1
							RII	76.6	6.6	3.6	6.5
SI961114.Z01	14/11/96	20:27:51.21	32.411	115.230	7.3	4.0	GEO	1.5	49.7	-65.9	39.2
							VCP	6.8	-26.3	15.8	-27.3
							DELC	6.9	55.2	88.5	55.5
							HI	8.3	-50.4	-22.6	42.5
							SAL	9.5	-39.0	-38.2	57.6
							TAM	24.1	20.1	-12.1	15.1
SI961126.Z01	26/11/96	08:26:41.35	31.945	116.192	8.0	3.2	RAC	13.3	-6.00	2.0	-6.6
SI961127.Z01	27/11/96	23:41:06.11	32.534	115.320	9.0	3.0	TAM	8.1	-21.0	10.6	-14.3
							CHI	9.1	-9.5	-7.9	-8.5
							IAG	9.6	-7.5	4.5	-5.6
SI961202.Z01	02/12/96	17:14:32.54	32.385	115.231	6.0	2.4	CHI	11.2	39.5	14.5	38.4
							TAM	18.3	13.2	-8.3	-8.4
SI961214.Z01	14/12/96	09:55:39.51	32.114	116.647	3.0	3.0	IZA	17.7	2.4	1.8	3.8

Abreviaturas utilizadas: T. Origen = Tiempo de origen, Lat. N = Latitud norte, Lon. O = Longitud oeste, P. F. = Profundidad focal, M = Magnitud local o de duración reportada por CIT o RESNOM. Est. = Estaciones que registraron el sismo respectivo, Dis. = Distancia epicentral y Acel. Máximas Long Vert Tran = Valores de aceleración máxima registrados en las componentes longitudinal, vertical y transversal, respectivamente.

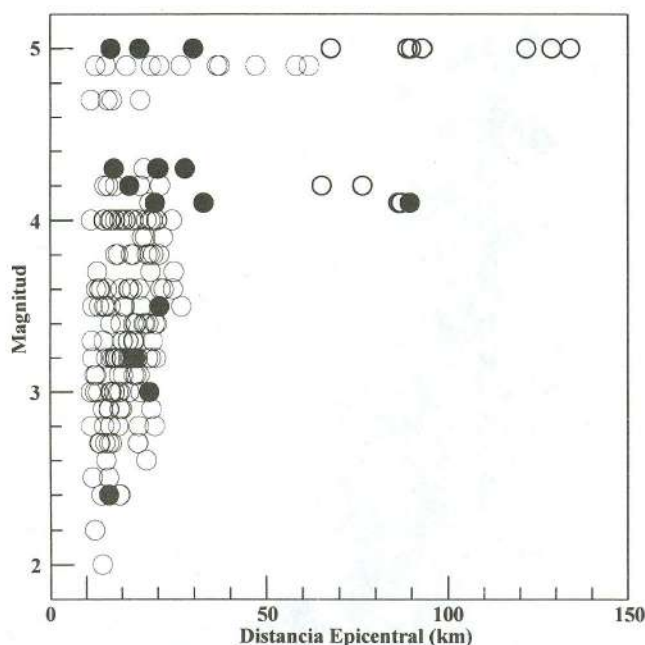


Figura 5. Magnitud de los eventos localizados y distancia epicentral a la que fueron obtenidos los acelerogramas generados durante el periodo 1991 a 1996. Los sismos ocurridos y registrados en estaciones del VMI están representados por círculos de línea delgada. En el caso de sismos pertenecientes al MRP existen dos casos: cuando fueron registrados en estaciones del MRP (representados por los círculos en negro) y cuando fueron registrados en estaciones del VMI (representados por los círculos de línea gruesa).

De los 105 sismos localizados sólo 10 pertenecen a la región del Macizo Rcoso Peninsular. No obstante, dos de ellos fueron los sismos más grandes registrados ($M = 5.0$) durante este periodo. Por otro lado, el resto de los sismos (95) fueron registrados en la región del Valle Mexicali-Imperial. De estos sismos, el mayor tuvo una magnitud de 4.9. Es en esta región donde se observaron las aceleraciones más altas (358 cm/s^2) producidas por el sismo del 11 de enero de 1995 de magnitud 4.7 y registrado a una distancia epicentral de 7.4 km.

Con base en los resultados presentados, consideramos que la red está cumpliendo con los requerimientos para los que fue diseñada y que los esfuerzos hechos para mejorar la cobertura de la red y para colocar instrumentación de tipo digital han redundado en un incremento de registros de alta calidad. Con esto podemos afirmar que la red está lista para registrar apropiadamente los sismos fuertes que se produzcan en la región. Los registros obtenidos hasta ahora están siendo utilizados en estudios de atenuación en la región de cobertura de la red y en estudios de anisotropía en la región del Valle Mexicali-Imperial.

Además de la integración de nuestra base de datos, hemos contribuido a la Base Mexicana de Sismos Fuertes con la información registrada de 1976 a 1995. Esta base, que contiene en formato estándar los datos de aceleración que se han generado en nuestro país, pronto estará a la disposición de la comunidad científica nacional e internacional.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Hubert Fabriol e Ignacio Méndez en la lecturas de tiempos de arribo y en la localización de algunos de los epicentros reportados en el presente artículo. Apreciamos también la colaboración de Luis Inzunza, quién nos facilitó su programa para la elaboración del mapa de sismicidad. Es necesario reconocer también la disposición de las personas que nos han dado acceso a lugares de su propiedad, o que están bajo su autoridad, para la instalación de estaciones. Esta disposición nos ha permitido reducir el vandalismo en las estaciones. La revisión y comentarios de Juan García-Abdeslem y de un revisor anónimo nos permitieron mejorar la presentación y el contenido de este artículo. El funcionamiento de RANM es posible gracias al financiamiento proporcionado por el gobierno de México a través del CONACyT y del CICESE.

REFERENCIAS

- Kinematics, 1994, Installation, initial startup and operating instructions for *Altus K2* high dynamic range accelerograph. Document 302200, revision A on December 1994. Pasadena, California.
- Kinematics, 1995, *Altus ETNA* high dynamic range accelerograph. Operations manual. Preliminary, Document 302230, Pasadena, California.
- Lee, W. H. K., and Lahr, J. C., 1975, *HYPOT1* (revised): A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes. U. S. Geological Survey. Open file report 75-311.
- McMechan, G. A., and Mooney, W. D., 1980, Asymptotic ray theory and synthetic seismograms for laterally varying structures: theory and application to the Imperial, Valley, California. *Bull. Seism. Soc. Am.* v 70, 2021-2035.
- Munguía, L., Wong, V., Vidal, A., y Navarro, M., 1995, La red de acelerógrafos del Noroeste de México. En F. Medina, L. Delgado y G. Suárez, editores. *La sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de septiembre de 1985*. Monografía No. 2, Unión Geofísica Mexicana, p. 198-211.
- Munguía, L., 1995, Estudio de microsismicidad en la zona de Riito, Sonora, México. Informe técnico final. CICESE-CFE.
- Nava, F. A., and Brune J. N., 1982, An earthquake-explosion reversed refraction line in the peninsular ranges of southern California and Baja California Norte. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72, 1195-1206.
- Parker, R. L., 1994, *Geophysical inverse theory*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Quaas, R., Otero, J., Medina, S., Espinoza, J., Aguilar, H., y González, M., 1993, Base Nacional de datos de sismos fuertes, catálogo de estaciones acelerográficas 1960-1992. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C., México.

- Quaas, R., Medina, S., Alcántara, L., Javier, C., Espinoza, J., Mena, E., Otero, J., Contreras, O., y Munguía L., 1995, Base Nacional de datos de sismos fuertes, catálogo de acelerogramas 1960-1993. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C., México.
- Quaas, R., Alcántara, L., Pérez, C., Macías, M., Sandoval, H., Andrade, E., Javier, C., Mena, E., González, F., Munguía, L., Vázquez, R., Espinoza, J., Flores, J., López, B., Medina, S., Legorreta, M., y Otero, J., 1996, Base Mexicana de datos de sismos fuertes, actualización de catálogos de estaciones a 1995 y acelerogramas a 1994. Catálogo de los registros de los temblores del 14 de septiembre, 9 y 21 de octubre de 1995. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C., México.
- Richter, C. F. 1958, Elementary Seismology, W. H. Freeman, San Francisco.
- Shor, G. G., and Roberts, E., 1958, San Miguel, Baja California Norte, earthquakes of February, 1956: a field report. Bulletin of the Seismological Society of America, 48, 101-116.
- Trifunac, M. D., and Lee, V. W., 1973, Routine processing of strong motion accelerograms. Earthquake Engineering Research Laboratory report EERL 73-03. California Institute of Technology, Pasadena, California.
- Vidal, A., and Munguía, L., 1997, The M_L scale for Northern Baja California [abs.]: Seismological Research Letters, v. 68, no. 2 p. 322.

VARIACIÓN ESTACIONAL DEL NIVEL DEL MAR EN EL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE

J.I., González, J. Ochoa y P. Ripa

INTRODUCCIÓN

Se utiliza un conjunto de series de tiempo de promedios mensuales del nivel del mar medido en estaciones mareográficas del Golfo de México y Mar Caribe. Esta base de datos comprende 80 estaciones con un total de 1650 años y proviene principalmente del Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), University of Hawaii Sea Level Center (UHSLC), Instituto Hidrográfico de Cuba (IHC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Esta base de datos comprende 80 estaciones con un total de 1650 años y proviene principalmente del Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), University of Hawaii Sea Level Center (UHSLC), Instituto Hidrográfico de Cuba (IHC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y Scripps Institution of Oceanography (SCRIPPS). con el objeto de resaltar algunos aspectos interesantes de la tendencia, ciclos anual y semianual, así como la anomalía de marea. Las estaciones se encuentran distribuidas principalmente en las costas (80%) y en islas del Mar Caribe (20%), dejando un notorio vacío en la parte central de ambos mares y hacia las costas de Nicaragua y Belice (Figura 1). Las costas del norte del Golfo de México tienen una alta densidad de estaciones y las series de tiempo más largas. Hacia las costas mexicanas del Golfo de México y en general en el Mar Caribe, las estaciones son más escasas, pero se cuenta con un buen número de series largas. La mayor parte de las series utilizadas tienen un control de su referencia local (marcadas como Revised Local Reference RLR por el PSMSL) (Spencer y Woodworth, 1996), sin embargo los datos de algunas estaciones fueron trabajados "crudos" (clasificados como METRIC por el PSMSL). A las estaciones en esta situación se les anota un asterisco en la Tabla 1 y los datos deben ser tomados con precaución.

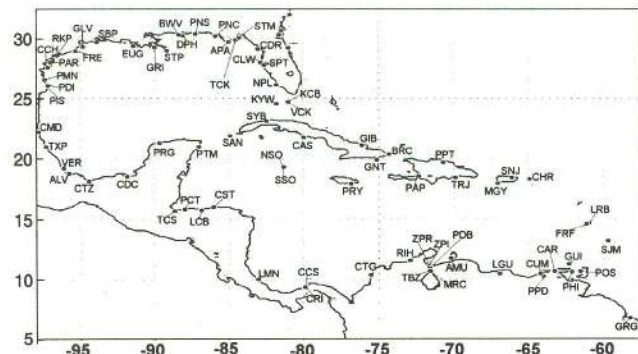


Figura 1. Estaciones Mareográficas en el Golfo de México y Mar Caribe

Tabla 1. Tendencia, Amplitud y Fase de las Componentes Anual y Semianual en el Golfo de México y Mar Caribe

Clave	Tendencia mm/año	Amplitud Anual mm	Día Máximo días	Amplitud Semianual mm	Día 2 Máximo días	Meses
mgv	1.5 ± 0.1	60 ± 2	25 Sep ± 2	14 ± 2	10 Oct ± 4	455
sso	2.3 ± 0.8	74 ± 6	16 Ago ± 5	22 ± 6	06 Ago ± 8	211
gni*	1.7 ± 0.2	58 ± 3	18 Sep ± 3	22 ± 3	11 Oct ± 4	343
san*	0.8 ± 0.5	65 ± 4	04 Sep ± 4	19 ± 4	16 Oct ± 7	254
pry	0.7 ± 0.9	59 ± 6	16 Ago ± 6	25 ± 6	18 Ago ± 7	189
pap	10.7 ± 0.8	52 ± 4	10 Sep ± 4	17 ± 4	17 Oct ± 7	152
car*	-2.3 ± 0.4	58 ± 4	6 Oct ± 4	33 ± 4	23 Oct ± 3	254
lgu*	2.3 ± 0.2	62 ± 3	3 Oct ± 3	46 ± 3	25 Oct ± 2	432
amu*	0.2 ± 0.3	83 ± 4	28 Sep ± 2	59 ± 4	24 Oct ± 2	370
mrc*	3.8 ± 0.4	44 ± 4	14 Sep ± 5	43 ± 4	17 Nov ± 3	274
rih	2.8 ± 0.9	79 ± 7	12 Sep ± 5	56 ± 7	27 Oct ± 3	194
ctg	5.3 ± 0.1	53 ± 2	18 Sep ± 3	28 ± 2	21 Oct ± 3	504
cri*	1.4 ± 0.1	29 ± 2	25 Oct ± 3	9 ± 2	11 Nov ± 5	860
pct	8.9 ± 0.3	68 ± 3	17 Sep ± 2	29 ± 3	10 Oct ± 3	252
prg	2.1 ± 0.3	75 ± 5	6 Nov ± 5	50 ± 5	21 Oct ± 3	390
cdc	2.2 ± 0.8	88 ± 6	7 Nov ± 4	56 ± 6	21 Oct ± 3	190
ctz	2.6 ± 0.3	155 ± 5	12 Oct ± 2	53 ± 5	06 Oct ± 3	335
alv	1.1 ± 0.7	111 ± 7	2 Oct ± 4	50 ± 7	02 Oct ± 4	265
ver	1.6 ± 0.2	68 ± 4	16 Oct ± 3	53 ± 4	14 Oct ± 2	456
txp	2.7 ± 0.4	77 ± 5	6 Oct ± 4	52 ± 5	13 Oct ± 3	286
emd	7.7 ± 1.0	112 ± 7	1 Oct ± 4	67 ± 7	14 Oct ± 3	214
pis	2.9 ± 0.2	57 ± 4	7 Oct ± 4	70 ± 4	20 Oct ± 2	576
rkp*	3.9 ± 0.3	62 ± 5	23 Ago ± 5	80 ± 5	24 Oct ± 2	444
fre	11.8 ± 0.3	67 ± 6	3 Sep ± 5	76 ± 6	21 Oct ± 2	485
glv	6.4 ± 0.1	69 ± 4	22 Ago ± 3	74 ± 4	20 Oct ± 1	1010
eug	9.7 ± 0.3	80 ± 5	29 Jul ± 3	57 ± 5	15 Oct ± 2	398
gri	10.1 ± 0.2	76 ± 4	21 Ago ± 3	50 ± 4	14 Oct ± 2	544
stp	37.8 ± 1.5	62 ± 8	16 Sep ± 7	56 ± 8	18 Oct ± 4	122
pns	2.2 ± 0.1	89 ± 3	18 Ago ± 2	40 ± 3	12 Oct ± 2	836
apa	1.4 ± 0.5	74 ± 5	10 Ago ± 4	33 ± 5	05 Oct ± 4	302
cdv	1.5 ± 0.1	103 ± 3	11 Ago ± 2	23 ± 3	14 Oct ± 4	662
spt	2.4 ± 0.1	87 ± 3	21 Ago ± 2	21 ± 3	17 Oct ± 4	576
npl	1.4 ± 0.3	80 ± 4	3 Sep ± 3	27 ± 4	21 Oct ± 4	345
kyw	2.3 ± 0.1	79 ± 2	25 Sep ± 2	38 ± 2	22 Oct ± 2	975

El ciclo anual observado en los datos es una de las contribuciones más notables a su variabilidad temporal en frecuencias bajas. El trabajo de Tsimplis y Woodworth (1994) hace notar la distribución espacial de la amplitud y fase en un conjunto de estaciones mareográficas en las costas de todos los océanos. En el Hemisferio Norte una amplitud típica de esta componente es de 7 cm y la ocurrencia del máximo en septiembre; sin embargo, su distribución espacial y temporal no es sencilla. En general para tales series su variabilidad es producida o relacionada a: forzamiento global atmosférico, cambios en el nivel de los continentes (Aubrey, 1990), proximidad de las estaciones a grandes ríos, el encontrarse dentro de cuencas semicerradas (Godin, 1991) y, en menor proporción, a la gravitación (Lisitzin, 1974). Se puede extraer una información física muy importante de estos datos; ver por ejemplo (Ripa, 1997) para la dinámica y termodinámica del Golfo de California.

ANOMALÍA DE MAREA EN EL GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE

La Figura 2 muestra en su lado derecho, después de las siglas identificadoras de cada estación, las componentes senosoidales de período anual y semianual ajustadas a cada serie

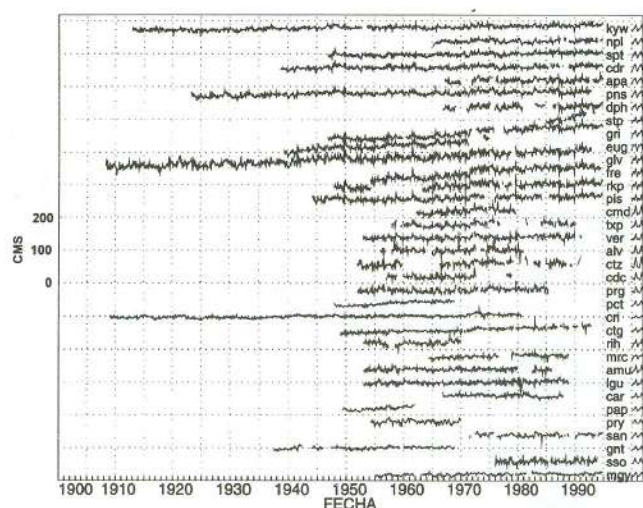


Figura 2. Anomalia Mensual de Marea en el Golfo de México y Mar Caribe

de promedios mensuales del nivel del mar. Estos ajustes se grafican por un intervalo de dos años. El lado izquierdo muestra la anomalía, definida al sustraer tales componentes de cada serie.

La Tabla 1 presenta para cada estación su localización, el ajuste por cuadrados mínimos de la pendiente en las series de anomalías, la desviación estándar asociada a tal pendiente, y la amplitud y fecha del máximo de la componente anual. Del total de 80 estaciones en la región, la Figura 2, Tabla 1 y Figura 5 solo muestran 35 (las más representativas). La información completa puede ser requerida por correo electrónico a ignaci@cicese.mx.

Las tendencias, en general ascendentes (considerando solo estaciones con más de 30 años de datos), de todas las series de anomalías son mayores hacia la parte noroeste del Golfo de México. Las estaciones próximas al delta del Mississippi, desde Rock Port (RCK), hasta Dauphin Island (DPH) muestran un claro hundimiento en relación a las estaciones vecinas, con un máximo en South Pass (STP). Esta zona ha sido identificada con anterioridad como una zona de subsidencia costera (Aubrey, 1990). Si consideramos las estaciones de Key West (KYW), Pensacola (PNS), Cedar (CDR), Veracruz (VER) y St. Petersburg (SPT) como "referencias" (en promedio con tendencias positivas de ≈ 2 mm/año), encontramos un hundimiento relativo promedio de ≈ 8 mm/año en el área del delta del Mississippi.

También encontramos períodos de 3 a 4 años con tendencia descendente en varias estaciones, por ejemplo de 1929 a 1932 en Galveston (GLV), Pensacola (PNS) y Key West (KYW), de 1962 a 1964 en estaciones dentro del Golfo de México. En septiembre de 1961 hay un levantamiento importante presente en todas las estaciones del Golfo, principalmente en las costas noreste y norte con un máximo de 35 cm en Galveston (GLV).

Un evento interesante que parece propagarse desde el extremo sur de La Florida hasta Texas se observa en 1987. La

señal se pierde en las costas de México y no vuelve a aparecerse en el resto de las estaciones.

En el Mar Caribe existe igualmente una tendencia generalizada de +2 mm/año. Encontramos un aumento exagerado en Cartagena (CTG) de +5 mm/año, debido probablemente a un hundimiento local. Las componentes ajustadas y variabilidad son pequeñas en relación a las estaciones en el interior del Golfo de México. La excepción son las islas Cayman (SSO y NSO) que muestran una variabilidad sobresaliente en relación al resto del Mar Caribe. Se aprecia visualmente una alta correlación de ciertos eventos, es decir anomalías de similar amplitud que coinciden en tiempo para un número grande de estaciones; sin embargo, no observamos una correlación evidente con los eventos de "El Niño" como en el Pacífico (González, Ochoa y Ripa, 1996).

VARIACIÓN ANUAL Y SEMIANUAL

Con la finalidad de detectar la propagación de ambos constituyentes entre las estaciones costeras y diferenciarla de su comportamiento con las estaciones alejadas de la costa, en las Figuras 3 y 4 se presentan gráficos de la amplitud y fase a lo largo de la costa con todas las estaciones disponibles para las dos componentes. Los datos de las estaciones costeras están unidas con una línea, en tanto que las islas se presentan de forma independiente, mediante un círculo abierto. La estación de referencia es Georgetown (GRG), en la costa de la Guyana, al sur del Mar Caribe (Figura 1). La distancia a lo largo de la costa asignada para las islas es la correspondiente con el punto más cercano al continente. También se dibuja con una barra la incertidumbre o error en la determinación de cada parámetro.

Componente Anual

En términos generales la componente anual es mayor en el Golfo de México (en promedio 75 mm) que en el Mar Caribe (en promedio 65 mm) (Figura 3). Se amplifica hacia Coatzacoalcos (CTZ), Ciudad Madero (CMD) y hacia la parte occidental de la península de Florida y muestra un ligero aumento hacia el delta del Mississippi y en las costas de Yucatán. Las estaciones de Port Isabel (PIS) y Padre Island (PDI), ambas en el interior de lagunas costeras, muestran un mínimo en la amplitud. En el Mar Caribe se observa una disminución gradual hacia las costas de Centroamérica y se recupera en las costas de Sudamérica con una amplificación importante en las islas Barbados.

En el Golfo de México y Mar Caribe los meses del día máximo de la señal anual ocurren en promedio en septiembre. El primer máximo sucede en las proximidades del Mississippi en julio y agosto (EUG, GRI, DPH). Se observa un desfase de ≈ 1 mes hacia las estaciones de Florida (KYW y VCK), con máximo a finales de septiembre y otro retraso de ≈ 1 mes hacia las costas de Venezuela y Colombia (LGU, RIH y CTG). El signo de esta diferencia de fase coincide con el correspondiente a la propagación de una onda de Kelvin (Ripa, 1997). Sin embargo,

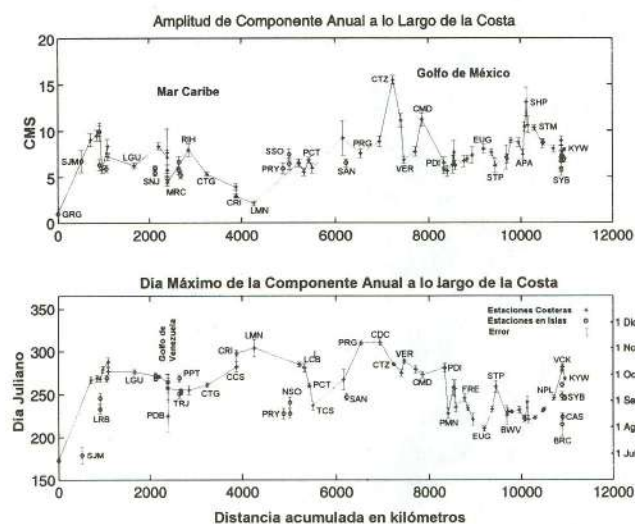


Figura 3. Amplitud y fase de la componente anual a lo largo de las costas del Golfo de México y Mar Caribe.

las variaciones locales son muy grandes, oscureciendo esta posible señal, como el adelanto importante en la estación STP, en las vecindades del delta del Río Mississippi, en el Golfo de Honduras (TCS y PCT), y el retraso en las costas de Yucatán (CDC y PRG).

Componente Semianual

La amplitud de la componente semianual es menor que la anual, mayor en el Golfo de México (≈ 50 mm) que en el Mar Caribe (≈ 30 mm) y con una amplificación importante hacia la parte noroccidental del Golfo de México, justo donde la amplitud anual se ve disminuida (Figura 4). La amplitud disminuye gradualmente hacia las estaciones que se encuentran más al oriente, hasta tener valores casi constantes de 20 mm en el Mar Caribe. Las estaciones próximas al Golfo de Venezuela muestran una amplificación de hasta 60 mm.

En promedio la fase de la semianual tiene la ocurrencia del segundo máximo anual a mediados de octubre en el Golfo de México. En el Mar Caribe sucede en promedio a finales de octubre, con un retraso importante en el Golfo de Venezuela. En el Golfo de México la distribución de fase a lo largo de la costa es más uniforme. No se detecta una propagación global.

Variabilidad temporal

Hicimos un ajuste para obtener amplitudes y fases anuales y semianuales para segmentos de 12 meses consecutivos en cada estación. Cada segmento se eligió desfasándolo 1 mes hacia adelante del segmento previo y se hizo la estimación para el dato del tiempo medio. Así se construyeron series con los parámetros anuales y semianuales variando en el tiempo. En la Figura 5 se muestran las series construidas de esta manera. Algunos puntos interesantes pueden destacarse a simple vista. En las series más largas, como son Key West (KYW), St Petersburg (STP), Cedar (CDR), Pensacola (PNS), Grand Isle (GRI), Eugene Island (EUG), Galveston (GLV), Freeport (FRE)

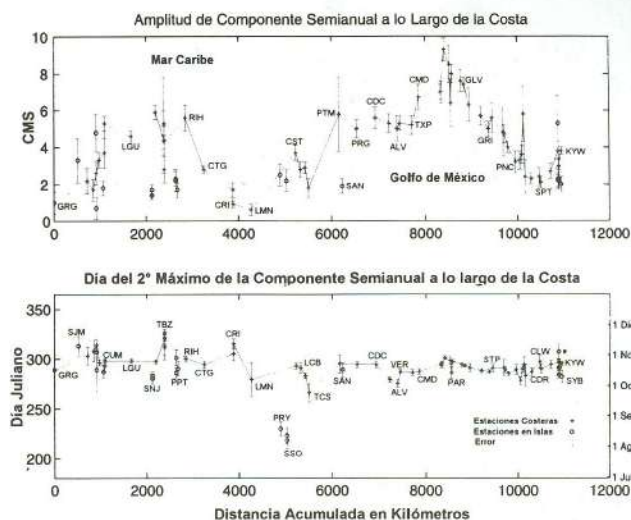


Figura 4. Amplitud y fase de la componente semianual a lo largo de las costas del Golfo de México y Mar Caribe

y Rock Port (RKP), se observa una modulación en la amplitud de la constituyente anual con períodos de varios años (alrededor de 8) con amplitudes altas y otros tantos con amplitudes bajas. Temporadas de amplitud mayor son entre 1940-1948, 1956-1964, 1975-1982 y 1989-1994. En las costas mexicanas del Golfo de México no es muy clara esta modulación. En las costas de Venezuela la modulación tiene una escala de tiempo del orden de 5 años observándose alta amplitud en los años de 1953-1957, 1962-1967 y 1970-1976.

A finales de 1969 se observa un levantamiento importante presente en todas las estaciones con un máximo en Alvarado (ALV) y Coatzacoalcas (CTZ). Es de destacar que los promedios mensuales en Alvarado durante 1969 registraron valores extremos que varían gradualmente de julio a noviembre, con un máximo en septiembre de 75 cm por arriba del promedio. Este comportamiento no se observó en las estaciones vecinas.

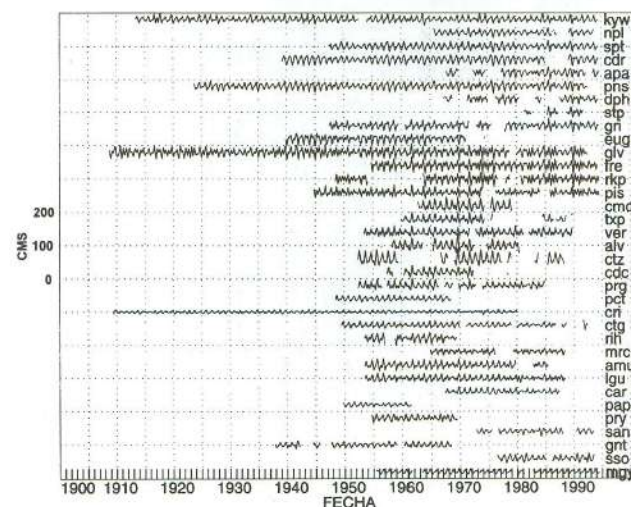


Figura 5. Suma de las Componentes Anual y Semianual en función del tiempo en el Golfo de México y Mar Caribe.

Durante los años de 1981 a 1983 se observa amplificación de las 2 componentes, observándose desde Key West (KYW) hasta Veracruz (VER). Este rasgo no es muy evidente en las estaciones del Caribe.

REFERENCIAS

- Aubrey, D.G., 1990, "Relative Sea Levels: Contributions from the Ocean and the Land" *en*: Towards an Integrated System for Measuring Long Term Changes in Sea Level. Report of a Workshop held at Woods Hole Oceanographic Institution. May 1990.
- Emery, L., and Aubrey, D.G., 1990, Sea levels, land levels and tide gauges. Springer-Verlag.
- Godin, G., 1991, Tides, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada, B.C., México.
- González, J.I., Ochoa, J., y Ripa, P., 1996, Series del Nivel del Mar. GEOS, Vol 16, No 1, p. 41-42
- Lisitzin, E., 1974, Sea Level Changes. Elsevier Oceanography Series Vol. 8.
- Ripa, P., 1997, Toward a Physical Explanation of the Seasonal Dynamics and Thermodynamics of the Gulf of California. Journal of Physical Oceanography, Vol. 27, p. 597-614.
- Spencer, N.E., and P.L. Woodworth, 1996, The Permanent Service for Mean Sea Level. Data Sets (June 1996). Permanent Service for Mean Sea Level. Bidston Observatory, Birkenhead, England.
- Tsimplis, M.N., and Woodworth, P.L., 1994, The global distribution of the seasonal sea level cycle calculated from coastal tide gauge data. Journal of Geophysical Research, Vol. 99, No. C8., p. 16,031-16,039. Ripa, P., 1997

IMÁGENES ELECTROMAGNÉTICAS DEL INTERIOR DE LA TIERRA: PARTE III

Enrique Gómez Treviño
CICESE, Ensenada, Baja California.

Parte I: Geos, Vol. 16, No. 3, 152-154.

Parte II: Geos, Vo. 17, No. 2, 104-106.

Parte III.

En la parte I de presente artículo se precisó que el término *imágenes electromagnéticas* del interior de la Tierra, se refiere a imágenes que se construyen a partir de la determinación de las variaciones internas de la conductividad eléctrica de la Tierra. La conductividad eléctrica es la propiedad electromagnética de las rocas que mejor se puede medir desde la superficie de la Tierra, y con la que se pueden obtener, desde imágenes someras de apenas unos metros de profundidad, hasta imágenes profundas que comprenden centenares de kilómetros. Por otro lado, también es un hecho que la conductividad eléctrica no puede determinarse por ningún otro medio que no sea el que se establece en su definición. Esto es, resulta absolutamente necesario hacer que fluya corriente eléctrica en la región de interés. En la parte II pasamos revista de las diferentes formas que existen para hacer que fluya corriente eléctrica a grandes profundidades en la Tierra. En el presente número veremos cómo se detectan indirectamente los efectos de estas corrientes, así como las limitaciones que impone la naturaleza a la utilización de los fenómenos electromagnéticos para estudiar el interior de la Tierra. También pasaremos revista a algunas barreras psicológicas que resultan de considerar, por un lado, la escrupulosa exactitud y belleza de las ecuaciones de Maxwell, y por el otro, la complejidad y el desorden que caracterizan a la inquieta superficie de la Tierra.

4. LAS GRANDES LIMITACIONES

En general, cuando se habla de métodos geofísicos se sobreentiende que se trata de técnicas basadas en mediciones realizadas en la superficie de la Tierra, y que el objetivo final de su aplicación es obtener imágenes de las profundidades. Cuando se dispone de perforaciones profundas, existen dispositivos especiales que permiten realizar mediciones dentro los pozos, las cuales pueden combinarse con las mediciones de superficie para estimar las propiedades físicas de las rocas en las regiones circunvecinas. En estos casos las dificultades que se tienen para obtener imágenes del subsuelo son mucho menores que cuando se trabaja enteramente desde la superficie. En este último caso estamos restringidos a estudiar el objeto de interés solamente desde arriba. En relación con este aspecto, existen algunas excepciones dentro de los métodos geofísicos. Tal es el caso de la sismología global, en donde se tiene que el interior de la Tierra puede estudiarse prácticamente desde cualesquier lado, ya que las señales sísmicas que se producen

en determinada región, pueden detectarse en cualesquier otro punto de la superficie de la Tierra después de atravesar el planeta. La situación es parecida a la de obtener tomografías del cuerpo humano, ya sea de rayos X o de ultrasonido, en donde el área de interés se puede estudiar desde varios lados. En contraste, en la mayor parte de los problemas geofísicos se presenta la situación de tener que trabajar desde un solo lado, y aun así tratar de obtener imágenes como si la región de interés hubiese sido estudiada desde varios lados. El caso que nos ocupa de imágenes electromagnéticas pertenece a esta categoría.

Otro de los aspectos que caracteriza a los fenómenos electromagnéticos con que se trabaja en geofísica, es que su longitud de onda es generalmente mayor que el tamaño del objetivo. Se sabe desde hace mucho tiempo que para poder ver un objeto con claridad, se requiere iluminarlo con luz de una longitud de onda mucho menor que el tamaño del objeto. Podemos ver claramente y con bastante definición infinidad de cosas a nuestro alrededor porque su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda de la luz. Con la misma luz y con la ayuda de un microscopio podemos incluso ver con perfecta claridad objetos tan pequeños que a simple vista resultan invisibles. Sin embargo, los microscopios ópticos comunes dejan de ser efectivos cuando se intenta utilizarlos con objetos de un tamaño comparable con la longitud de onda de la luz. Las imágenes se vuelven borrosas y dejan de tener sentido cuando el objeto es mucho más pequeño que la longitud de onda de la luz. Es muy poco lo que se puede hacer para recuperar una imagen nítida en estas condiciones. De hecho la microscopía optó por cortar por lo sano. Se abandonó el uso de la luz en tales casos y se procedió a utilizar un haz de electrones, los cuales se comportan como ondas de una longitud de onda mucho menor que la de la luz. De esta manera se venció la limitación impuesta por la naturaleza en el caso de los microscopios ópticos.

La aplicación de los fenómenos electromagnéticos para ver el interior de la Tierra se presenta como un problema análogo al anterior, aunque de diferente escala y de mucho más difícil solución. Necesariamente tenemos que usar longitudes de onda muy grandes, mucho mayores de las deseables. Esto se debe a que las ondas electromagnéticas de longitud de onda pequeña se atenúan tremendamente al penetrar en la Tierra. La única manera de aumentar la profundidad de penetración es aumentar la longitud de onda, con lo cual necesariamente se pierde resolución. A esto hay que agregar que las ondas de mayor interés, aquellas capaces de penetrar más allá de los primeros dos o tres metros, dejan de comportarse propiamente como ondas, debido a que se disipan casi completamente a una profundidad de apenas una fracción de su longitud de onda. Esto significa que en una escala de apenas unos pocos metros

la Tierra se comporta como un espejo metálico. La mayor parte de la energía se refleja y el resto se disipa en el interior de la Tierra en forma de calor.

Esto significa que no podemos contar con ondas reflejadas que provengan de discontinuidades a profundidad, como sería el caso de cualquier fenómeno ondulatorio, sino más bien con efectos indirectos del grado de disipación a diferentes profundidades. Afortunadamente la profundidad a la que la Tierra se comporta como un espejo aumenta al aumentar la longitud de onda, por lo que podemos explorar regiones cada vez mas profundas con solo aumentar esta longitud. Sin embargo, ésto también significa que lo que ganamos en profundidad lo perdemos en resolución.

Según lo anterior, la aplicación de fenómenos electromagnéticos en geofísica muy bien puede compararse con la microscopía óptica: ambas tiene límites impuestos por la naturaleza misma de los fenómenos que utilizan, y en ambos casos el problema tiene su origen en ondas de longitudes mayores que lo deseable. En cuanto a la solución encontrada en microscopía para vencer estos límites en la forma del microscopio electrónico, también existe analogía entre los otros métodos geofísicos. Es posible tener ondas de longitudes mucho menores que las electromagnéticas a grandes profundidades en la Tierra. Esto es, fenómenos ondulatorios cuya energía se disipe en mucha menor medida que la energía electromagnética. No se trata en este caso de ondas de materia como en el caso de los electrones, sino de ondas mecánicas que producen los sismos, o que pueden producirse artificialmente mediante explosiones. Gran parte de la energía sísmica se transmite en la Tierra en longitudes de onda mucho menores que las de la energía electromagnética, además de que las ondas sísmicas atraviesan completamente la Tierra, cosa que no sucede con las ondas electromagnéticas. Es muy interesante darse cuenta que si bien las ondas sísmicas con su menor longitud de onda son capaces de ver objetos de menor tamaño, de ninguna manera logran salvar con esto las limitaciones impuestas por la naturaleza a las ondas electromagnéticas. Se trata simplemente de fenómenos físicos diferentes y como consecuencia sus respectivas imágenes serán necesariamente independientes. Aun en el caso bastante común de que ambos tipos de imágenes muestren la presencia del mismo objeto, se tratará de zonas anómalas de diferentes propiedades físicas, por lo que la obtención de una de las imágenes, aunque esta sea de mejor resolución, de ninguna manera elimina la necesidad de la otra pues cada una provee de información independiente y ambas son necesarias. Esto es como el ver y el tocar, una cosa lleva a la otra y al final uno queda más seguro. 'Ver para creer', dijo Santo Tomás. 'Ven.....y palpa mi costado', agregó Jesús para convencerlo. O como dice el refrán: 'Si digo que la burra es parda es porque traigo los pelos en la mano, no nomás porque la *haiga* visto'.

Además de las diferencias de escala, los métodos electromagnéticos en geofísica difieren de los utilizados en la microscopía óptica en que en este último caso, de ninguna manera se obtienen imágenes utilizando longitudes de onda

mayores que los objetos de interés. Sin embargo, para los métodos electromagnéticos, es precisamente aquí en donde empieza el trabajo, ya que necesariamente hay que recuperar una imagen a través del procesamiento e interpretación de lo que aparentemente son mediciones sin mucho sentido. La ventaja de trabajar con longitudes de onda gigantescas, es que nosotros mismos, así como nuestros aparatos de medición, resultan más pequeños que la longitud de la onda, así como también más pequeños que las variaciones laterales de la onda. Esto nos permite movernos dentro de la onda, aunque solo sea sobre la superficie de la Tierra, y así estudiar sus variaciones laterales al mismo tiempo que controlamos la profundidad de penetración mediante la longitud de onda. De esta manera cubrimos tanto las variaciones laterales de la región de interés como sus propiedades a diferentes profundidades. Por supuesto que la mediciones por si solas no representarán una imagen muy nítida, ya que debido a las grandes longitudes de onda utilizadas tendrán mezclados los efectos de cuerpos u objetos circunvecinos. Sin embargo, si consideramos que las leyes del electromagnetismo determinan el tipo y la naturaleza de estas combinaciones de efectos, el proceso puede ser revertido matemáticamente y de alguna manera se puede optimar la calidad de las imágenes. Esto es, quitarles lo borroso. En el próximo numero trataremos este aspecto. Antes es necesario hablar un poco acerca de la materia prima para estos procesos matemáticos. Esto es, necesitamos considerar primero las mediciones de campo.

5. ¿QUÉ SE MIDE EN EL CAMPO?

Las leyes que rigen los fenómenos electromagnéticos fueron estableciéndose poco a poco a través de muchos años, y fueron magistralmente resumidas hace poco más de un siglo por James C. Maxwell en un conjunto de ecuaciones que actualmente lleva su nombre. Estas leyes no son otra cosa que expresiones matemáticas que relacionan conceptos tan familiares como la distancia y el tiempo, con otros menos intuitivos, dentro de las cuales se encuentran algunos que ya han pasado al lenguaje cotidiano, como lo son los de *corriente eléctrica* y *voltaje*. Las antiguas observaciones de fenómenos debidos a la electricidad estática y a los imanes, se fueron desarrollando con los años a través de innumerables experimentos y arriesgadas suposiciones teóricas, llegando a culminar en una serie de relaciones y de conceptos cuantitativos admirablemente exactos. Prácticamente todas las ramas de la física debieron ser modificadas con el advenimiento de la teoría de la relatividad. No así las ecuaciones de Maxwell. Formadas unos cuarenta años antes, estas ecuaciones ya eran compatibles con el principio de relatividad. Lo que Einstein hizo en su famoso artículo de 1905 fue modificar las leyes de Newton para hacerlas compatibles con las leyes del electromagnetismo. Como si esto no fuera suficiente, el original y controvertido enfoque del electromagnetismo clásico de formular las interacciones en términos de campos físicos en lugar de fuerzas, no solo salió bien librado con el tiempo sino que incluso se extendió a otras ramas de la física.

No obstante lo anterior, es en el aspecto de aplicaciones prácticas en lo que es más conocida la teoría electromagnética. En su mayor parte estas aplicaciones se realizan en ambientes controlados, en donde las dimensiones y propiedades físicas de los materiales involucrados se conocen perfectamente. Por ejemplo, los conductores por donde circula la corriente eléctrica y se transmiten señales generalmente tienen forma perfectamente cilíndrica para predecir fácilmente su comportamiento. Los sistemas de generación, distribución y consumo de energía eléctrica, los de cómputo y comunicación, así como las modernas fibras ópticas e innumerables accesorios de las mismas, todos se diseñan en estricta consonancia y exactamente como lo requieren las ecuaciones de Maxwell, pues si no se obedecen las leyes las cosas simplemente salen mal. Los aparatos representan, en muchos sentidos, ingeniosas combinaciones de los mismos tipos de elementos que fueron alguna vez utilizados en los laboratorios para el descubrimiento de las leyes. En gran medida se trata de un simple cambio de escala pues las condiciones siguen estando controladas. ¿Y si las condiciones no están tan controladas? ¿Qué pasa por ejemplo cuando alguno de los elementos del aparato se quema, y el aparato mismo deja de funcionar o funciona mal? ¿Seguirán gobernándose las diversas funciones, aunque ahora bastante distorsionadas, por las mismas ecuaciones de Maxwell? Sabemos que sí. Precisamente sobre esta suposición se basan los especialistas para realizar reparaciones. ¿Y si no sabemos las propiedades físicas de los materiales de que están hechos los aparatos, ni sus dimensiones, ni su geometría, ni su temperatura, ni su grado de humedad, ni su composición? ¿Y si tampoco podemos inspeccionarlos por dentro, y si sabemos que están inundados hasta la mitad, y que fueron balaceados no se sabe cuando, y que parte de su interior esta fundiéndose y hay humo y fuego saliendo por varias partes? ¿Y si para colmo de males estos aparatos se encuentran en una nave espacial a miles de kilómetros de la Tierra? ¿Seguirán gobernándose las diversas funciones, para este momento irreconocibles, por las mismas ecuaciones? Sabemos que en este caso también debe ser así. Las leyes que en un tiempo fueron descubiertas en un laboratorio en condiciones a veces increíblemente artificiales, rigen el comportamiento en mar y tierra, y aun en el cielo, de los fenómenos estudiados. Las cosas de ninguna manera tienen por qué ser así, pero así es como son. Esto se ha venido reafirmando con el tiempo a través de cada nueva aplicación.

En el caso de la aplicación de las leyes del electromagnetismo a la Tierra, existen algunas barreras psicológicas que hay que vencer, sobre todo para quienes conocen los detalles de estas leyes y no han tenido contacto con la geofísica. ¿Serán aplicables a la Tierra las ecuaciones de Maxwell, las cuales fueron establecidas en laboratorios casi antisépticos y en condiciones completamente controladas? En la Tierra hay montañas y ríos, y carreteras y casas, y actualmente abundan los basureros. En estas condiciones las corrientes eléctricas habrán de circular, además de que tendrán que desviarse o interrumpir su camino por causa de algún desfiladero. El mar, al contener tantas sales y ser un excelente conductor de la electricidad, canalizará gran parte de estas

corrientes las cuales, además, estarán afectadas por tantas plantas generadoras de energía eléctrica como existen actualmente, y sobre todo por las líneas de distribución que llegan a extenderse de costa a costa en todos los continentes. Seguramente se podría aceptar la idea de que las ecuaciones de Maxwell son aplicables a mediciones en la Tierra, pero difícilmente se aceptaría que se pudiese llegar a resultados cuantitativos. Tal vez valores globales de conductividad, obtenidos con alguna aproximación bastante burda, a la que se habría llegado mediante la introducción de innumerables constantes empíricas a las que todavía se les está buscando sentido. ¿Cómo podrían ser cuantitativamente utilizados conceptos tan delicados, aprendidos con tantos esfuerzos y tan substanciosos para el ego, como los del *campo electromagnético*, *divergencias y rotacionales*, *tensores e invariantes*, *teoremas de Green, Stokes, Gauss y demás*, en ambientes tan mundanos? Se requeriría ser extremadamente escrupuloso en la realización de las mediciones, en la eliminación de señales extrañas, en la compensación de los efectos topográficos, en el procesamiento e interpretación final de los datos, a tal grado que tal vez ni valga la pena intentarlo. Todo lo anterior no son solamente prejuicios. Son también puntos de vista que muy bien podrían haber sido escritos en la sección de comentarios para justificar el rechazo de un proyecto de investigación. Por supuesto que todo esto ya pasó. En la actualidad existe una disciplina que aplica rigurosamente las leyes del electromagnetismo para estudiar con diversos fines el interior de la Tierra.

Volviendo al título de la presente sección: ¿Que se mide en el campo? Se mide exactamente lo mismo que se mide en el laboratorio, pero con más cuidados.

6. MEDICIONES DE CAMPO

Según se mencionó anteriormente, las ecuaciones que rigen los fenómenos electromagnéticos involucran cantidades tan familiares como lo son la distancia y el tiempo. La distancia se refiere a la posición de cualquier punto en el espacio con respecto a algún punto especial de referencia. En nuestro caso esto significa saber en dónde se encuentra la fuente de los campos electromagnéticos, así como el lugar en que se realiza la medición de estos campos. La determinación de la distancia se realiza mediante cintas métricas comunes, distanciómetros ópticos o electrónicos, posicionadores por satélite o simplemente realizando localizaciones en un mapa. El método utilizado depende de la exactitud requerida según la aplicación particular y la escala del problema.

Por otro lado, el tiempo se refiere a la variación temporal de la corriente eléctrica en la fuente, así como a la correspondiente variación temporal de los campos en el lugar donde se realiza la medición. Generalmente se realiza un comparación entre estas dos variaciones tomando como referencia la de la fuente. En el caso de mediciones en el dominio de la frecuencia se mide el retraso de una variación periódica del tipo *Asen (wt)* en la señal en el receptor, la cual es producida

por una variación idéntica de la corriente en el transmisor. Las variaciones temporales de tipo *Asen* (wt), donde t representa tiempo, son las únicas señales capaces de conservar su tipo independientemente de los materiales que atraviesen, con la única condición de que se comporten linealmente, el cual es el caso de los diferentes materiales en la Tierra. Cualquier otro tipo de señal periódica, como por ejemplo una onda cuadrada, necesariamente se deforma en la interacción con medios conductores de la electricidad. Por esta razón son muy útiles en la geofísica así como en muchas otras disciplinas. Con sólo medir su amplitud (A) y el retraso correspondiente se sabe todo lo que hay que saber sobre la señal y sobre la información que contenga. La frecuencia angular w y la intensidad de la corriente de la fuente son cantidades conocidas que por lo general están controladas por el operador del transmisor. La medición del retraso se realiza comparando la señal en el receptor con la del transmisor, para lo cual se puede utilizar un cable que conecte a ambos, o bien se determina mediante el uso de relojes en sincronía que posean la suficiente exactitud. Para medir la amplitud de la señal no se requiere referencia alguna. Es importante recordar que en el presente caso de oscilaciones amortiguadas el retraso de la señal no se debe a la velocidad finita de las ondas electromagnéticas, como sucede en la mayor parte de las aplicaciones, sino al efecto disipativo de la Tierra como material conductor.

En el caso de mediciones en el dominio del tiempo se transmiten señales periódicas pero no del tipo *sen* (wt), las cuales conservan su forma original, sino formas de onda susceptibles de deformarse por los efectos de los conductores. En este caso la información sobre la distribución de la conductividad en la Tierra se encuentra en el grado de deformación de la señal. Por ejemplo, los materiales poco conductores se reconocen porque distorsionan poco las señales, debido a que en ellos se disipa relativamente poca energía. En el dominio del tiempo, se requiere conocer la variación temporal detallada de la forma de la señal en un periodo completo, no solamente de su amplitud y retraso. A primera vista esto parecería indicar que se requiere de mayor número de mediciones en el dominio del tiempo, que en el de la frecuencia, ya que hay que registrar la variación de la señal a lo largo de un periodo completo. Esto en realidad no es así, ya que en el dominio de la frecuencia se necesita realizar mediciones utilizando muchas frecuencias para poder sintetizar los valores obtenidos en el dominio del tiempo. Para quienes estén familiarizados con las series de Fourier esto no es ninguna sorpresa. Simplemente quiere decir que una función periódica cuya variación es arbitraria, es equivalente a la suma de un número infinito de funciones de la forma *sen* (wt) que se obtienen variando la frecuencia angular w .

En cuanto a las mediciones mismas de la señal, estas se realizan a través de manifestaciones medibles del campo electromagnético. La forma universal de medir estas manifestaciones es a través de mediciones de voltaje. Los voltajes asociados con corriente continua pueden medirse utilizando voltímetros comunes y corrientes de los que abundan en prácticamente cualquier laboratorio. Menos populares son

los osciloscopios, los cuales permiten medir voltajes que varían con el tiempo en forma arbitraria. Estos dos tipos de aparatos son indispensables en cualquier laboratorio de electrónica, pues cubren prácticamente cualquier requerimiento para la medición de voltajes. Si bien en el campo no se utilizan directamente estos equipos por razones de portabilidad y precisión, los que se utilizan se basan en los mismos principios y deben además tener la capacidad para procesar las señales, sin contar con que deben poseer altísimas impedancias de entrada para adaptarse a condiciones adversas del terreno.

Las mediciones de voltaje se relacionan de una manera muy simple con el campo eléctrico. Se puede demostrar fácilmente utilizando una de las ecuaciones de Maxwell, la ley de Faraday, que si se tiende un cable recubierto de material aislante en la Tierra y sus extremos se ponen a *tierra* mediante un par de electrodos, el voltaje inducido a través del cable dividido por la longitud del mismo, representa el promedio de la componente del campo eléctrico tangencial al cable. En principio, el cable puede describir una trayectoria arbitraria, si es que nos interesa conocer el promedio de la componente tangencial al cable. Sin embargo, generalmente lo que interesa es estimar las componentes del campo eléctrico en dos direcciones ortogonales. En tal caso los cables se tienden a lo largo de las direcciones de interés. En el caso de mediciones de campos asociados con corriente continua la trayectoria del cable es irrelevante ya que en este caso el campo eléctrico es conservativo y el voltaje que se mide a través del cable es independiente de la trayectoria. Esto también se cumple en mediciones de campos de baja frecuencia. En general, la trayectoria que describe el cable es importante solamente en casos en que se utilizan frecuencias muy altas.

Las mediciones de voltaje se pueden también relacionar fácilmente con el campo magnético en el caso de campos variables en el tiempo. Se puede demostrar utilizando una de las ecuaciones de Maxwell, también en este caso con la ley de Faraday, que si formamos una espira con un cable, el voltaje medido es directamente proporcional al promedio de la componente del campo magnético dirigida perpendicularmente a la espira. De esta manera se puede estimar cualquier componente del campo magnético. Generalmente se colocan tres de tales espiras en direcciones ortogonales. En la práctica se utilizan espiras de muchos miles de vueltas debido a que los campos magnéticos que hay que medir son extremadamente pequeños. Por otro lado, debido a que los voltajes inducidos en estos casos son también directamente proporcionales a la frecuencia del campo magnético, este tipo de dispositivo, conocido como bobina de inducción, no se puede utilizar para medir campos magnéticos asociados con corriente continua. Para este caso especial existen detectores que responden directamente al campo magnético, independientemente de la frecuencia de la señal.

Generalmente, cuando se utilizan fuentes o transmisores artificiales, en el campo se miden, o campos eléctricos, o bien campos magnéticos, pero no ambos. En estos casos las

mediciones se normalizan de alguna manera por la intensidad de la fuente ya que ésta se encuentra bajo el control del operador y puede medirse fácilmente. Con esto se eliminan variaciones artificiales debidas a fluctuaciones en la fuente, y que pueden confundirse con las variaciones de interés asociadas con los efectos provenientes del interior de la Tierra. Sin embargo, cuando no se conoce la intensidad de la fuente, como sucede en el caso del método magnetotélúrico, las cosas se complican y resulta necesario eliminar de alguna manera las variaciones artificiales asociadas con las fluctuaciones de la fuente. En este caso se recurre a medir simultáneamente, tanto campos eléctricos como magnéticos, y a reducir las mediciones a razones de los campos para eliminar las fluctuaciones de la fuente. En estos casos se requiere procesar los datos utilizando tensores y buscar en los mismos cantidades invariantes. Esto último es para eliminar el carácter direccional de las mediciones.

El resto de las cantidades o variables en las ecuaciones de Maxwell corresponden a las propiedades de los materiales, las cuales no pueden determinarse directamente sino a través de la forma en que responden a excitaciones externas. Generalmente, estas propiedades se determinan en el laboratorio para muestras de rocas mediante relaciones sencillas entre la intensidad de la fuente y los campos resultantes. En el caso que nos ocupa, esta relación es más bien remota, ya que tanto la fuente como el lugar de la medición están bastante alejadas de la región donde se origina la respuesta. Las relaciones entre propiedades y mediciones son bastante complicadas, y generalmente requieren de tratamientos especiales si es que hemos de poder estimar dichas propiedades a través de las mediciones. Este aspecto del problema, conocido como el problema inverso, será tratado en el próximo número.

SISMICIDAD DEL NOROESTE DE MÉXICO

GRUPO RESNOM

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

Apdo. Postal 2732, Ensenada, Baja California, 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 periodo comprendido de Abril a Junio de 1997.

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

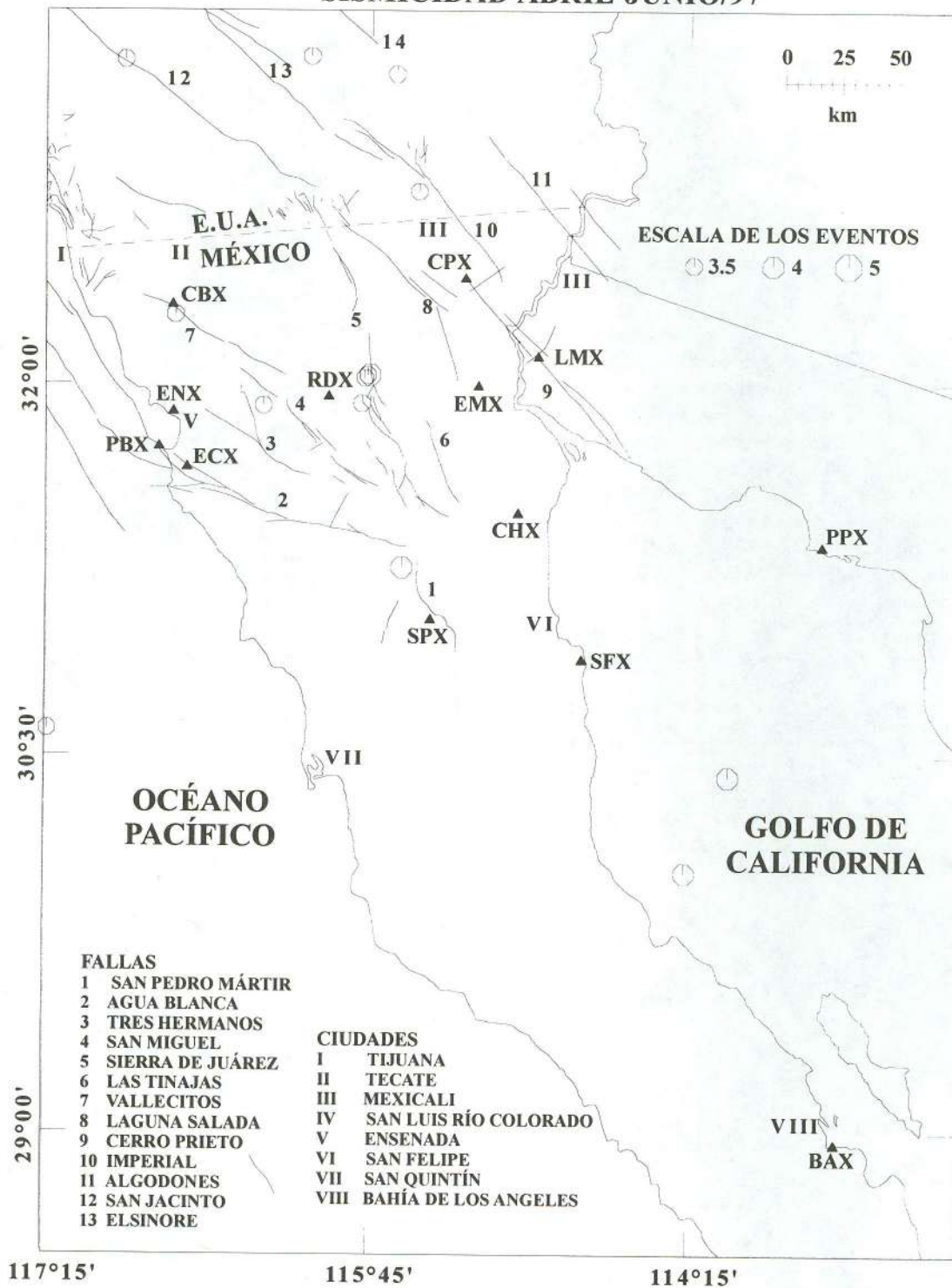
REFERENCIAS

- 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, 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.

DIA	TIEMPO			COORDENADAS		PROF.	M _D	RMS	NO	REGIÓN
	HR	MN	SEG	LAT. N	LON. O					
ABRIL 1997										
22	00	44	29.13	30 25.13	113 59.33	13.01	4.1	0.34	11	Localizado a 89 km al sureste de SFX (frente a las costas del Golfo de California).
29	20	04	49.94	30 07.08	114 16.57	15.00*	4.2	0.27	15	Localizado a 96 km al sur de SFX (frente a las costas del Golfo de California).
MAYO 1997										
05	22	40	11.70	30 39.97	117 13.57	5.00*	3.6	0.29	18	Localizado a 125 km al suroeste de ECX (frente a las costas de Baja California).
14	03	08	36.97	31 55.06	115 46.90	9.00*	3.7	0.18	11	Localizado a 16 km al este de RDX (Falla Sierra de Juárez).
16	10	34	38.53	32 15.39	116 38.97	13.47	3.6	0.14	14	Localizado a 6 km al sur de CBX (Falla Vallecitos).
29	00	48	13.80	33 19.92	116 55.08	5.00	3.5	---	23	Localizado por USGS-NEIC 3.5 ML (Falla Elsinore, EUA).
30	15	17	21.56	31 55.65	115 44.59	8.00*	4.3	0.16	14	Localizado a 19 km al este de RDX (Sentido en Mexicali y Ensenada, B.C., Falla Sierra de Juárez).
JUNIO 1997										
07	23	20	11.58	31 55.66	115 44.96	3.61	3.7	0.18	14	Localizado a 18 km al este de RDX (sentido al sureste de la Laguna Hanson, Falla Sierra de Juárez).
19	11	21	51.64	31 16.02	115 36.94	12.00*	4.1	0.27	14	Localizado a 28 km al norte de SPX (sentido en el Valle de la Trinidad, norte de la Falla San Pedro Mártir).
20	20	41	2.95	31 51.29	116 12.24	16.27	3.8	0.13	13	Localizado a 25 km al oeste de RDX (sentido en el Valle de Ojos Negros, entre las Fallas Tres Hermanos y San Miguel).
23	07	57	29.14	32 45.48	115 33.92	10.00*	3.5	0.20	11	Localizado a 45 km al noreste de CPX (sentido en el Valle Imperial y al norte de la Ciudad de Mexicali).
26	02	01	36.95	31 46.21	115 46.23	11.00*	3.8	0.24	12	Localizado a 25 km al sureste de RDX (sentido en Santa Catarina y Heroes de la Independencia, Falla Sierra de Juárez).
27	14	06	20.45	33 17.97	116 00.78	13.38	3.5	0.14	10	Localizado a 119 km al noroeste de CPX (sur de la Falla San Jacinto, EUA.).
30	18	10	32.99	33 13.43	115 38.83	8.00	3.6	0.11	10	Localizado a 94 km al norte de CPX (sur de la Falla San Andres, EUA.).

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

SISMICIDAD ABRIL-JUNIO/97



DIRECTORIO DE MIEMBROS DE LA UGM 1997

Una vez más hemos construido una base de datos de la Unión Geofísica Mexicana. Esta vez, además de contener los nombres, direcciones y años en los cuales una persona ha pagado su cuota, le hemos asignado al miembro un número de afiliación que permitirá efectuar búsquedas más eficientes acerca de su estatus. La base contiene información sobre los ingresos de la UGM, lo que permite llevar la contabilidad relacionada con cada uno de los miembros, de instituciones aportadoras de recursos y de otras personas que efectúan otros tipos de pagos (inscripciones a congresos, revistas, libros, etc.).

Con base en este directorio se efectuarán los envíos de los números de **GEOS** y parte de los de **GEOFÍSICA INTERNACIONAL** de manera que, en vista de que este directorio es nuevo, es probable que la captura de las direcciones contenga algunos errores. 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.

Por lo anterior, los invitamos a que verifiquen si sus datos están correctos y completos y, en caso de que exista algún error u omisión, nos lo hagan saber vía correo electrónico o a la dirección que aparece en esta revista.

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



Rolando Labacha
Miembro # 999

Reunión Anual 1997
Puerto Vallarta, México
3-7 de Noviembre

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

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA - MIEMBROS 1997

No.	Miembro	Nombre	Institución	División o Instituto	Departamento o Facultad	E-mail
1	678	Aceves Quesada Fernando	UNAM	Geofísica	Vulcanología	
2	20	Aguirre Díaz Gerardo J.	UNAM	Geología	Estación Regional del Centro	giad@servidor.unam.mx
3	16	Alaniz Alvarez Susana A.	UNAM	Geología	Estación Regional del Centro	alaniz@servidor.unam.mx
4	19	Alariste Vilchis David Rey	UNAM	Geofísica	Ingeniería	adavid@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
5	668	Alba Valdivia Luis Manuel	UNAM	Geofísica	Exploración	
6	3	Alvarez Borrego Saul	CICESE	Oceanología	Ecología	
7	4	Alvarez Borrego Josué	CICESE	Física Aplicada	Óptica	josue@cicese.mx
8	267	Alvarez Sánchez Luis G.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	l.alvarez@cicese.mx
9	676	Alvarez Manilla Alfonso				
10	8	Aragón Arreola Manuel de Jesús		Canteras El Taco	Geología	
11	18	Arellano Gómez Víctor Manuel	IIE	Geotermia		vag@axp2.iie.org.mx
12	287	Axen Gary	UCLA		Earth and Space Sciences	gaxen@ess.ucla.edu
13	296	Bandy William L.	UNAM	Geofísica		
14	28	Barajas Díaz Pablo	ITESO		Habitat y Desarrollo Urbano	
15	30	Barragan Reyes Rosa María	IIE	Geotermia		
16	26	Bermúdez Angulo María Luisa	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	maria@gea.iingen.unam.mx
17	37	Bohnel Harald	UNAM	Geofísica		
18	27	Bravo Cabrera José Luis	UNAM	Geofísica	O. de Radiación Solar	jbravo@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
19	24	Brito Castillo Luis	CIBNOR	Unidad Guaymas	Hidrología	lbrito@cibnor.mx
20	32	Buendía Carrera Enrique	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		
21	632	Bulgakov Sergey N.	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	sbulgano@udgserv.ancar.udg.mx
22	536	Burrola Sánchez María Sara	CIBNOR	Zona Costera		sburrola@cibnor.mx
23	321	Cárdenas Soto Martín	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	martin@hermes.iingen.unam.mx
24	558	Córdoba Barba Diego	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	dcordoba@eucmos.sim.ucm.es
25	581	Cañón Tapia Edgardo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	ecanon@cicese.mx
26	325	Campos Enriquez Oscar	UNAM	Geofísica	Exploración	
27	52	Carbajal Noel	U. TRECHT			oceaan@pi.net
28	557	Carbonell Ramón	CSIC	Ciencias de la Tierra	Geofísica	rcarbonell@ija.csic.es
29	331	Carasco Núñez Gerardo	UNAM	Geología		gerardoc@servidor.unam.mx
30	330	Carreño Ana Luisa	UNAM	Geología		anacar@servidor.unam.mx
31	645	Castrejon Pineda Hector Ricardo	UNAM	Ciencias de la Tierra	Ingeniería	root@sacbe.fi-a-unam.mx
32	663	Castrejon Israel				
33	45	Castro Gorea Renato	UNAM	Geofísica	Vulcanología	
34	47	Castro Escamilla Raúl	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	
35	664	Charre Meza Adolfo Salomé	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	acharre@cicese.mx
36	624	Cifuentes Gerardo	UNAM	Geofísica	Geomagnetismo y Exploración	gercificue@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
37	58	Corona Ruiz Martín	CFE	Campo Geotérmico Cerro Prieto		
38	566	Correa Mora Francisco	UNAM	Geofísica	Geoquímica y Exploración	pancho@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
39	59	Cruz Castillo Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	mcruz@cicese.mx
40	559	Dañobeitia Juan José	CSIC	Ciencias de la Tierra	Geofísica	jjdanobeitia@ija.csic.es
41	342	Davydova Belifskaya Valentina	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	vdavidov@udgserv.cencar.udg.mx
42	69	De Cserna Zoltan	UNAM	Geología		
43	75	Delgado Cervantes Juan Antonio	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jdelgado@cicese.mx
44	82	Delgado Argote Luis Alberto	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	ladelgado@cicese.mx
45	454	Diego Orozco Arturo	IMP	Exploración y Producción	Geofísica	arturo@orion.expl.imp.mx
46	341	Dworak R. Juan A.	SEP	Tecnológico del Mar		
47	573	Elias Herrera Mariano	UNAM	Geología	Geología Regional	elias@servidor.unam.mx
48	87	Espindola Castro Juan Manuel	UNAM	Geofísica		jme@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
49	86	Esparrza Hernández Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	fesparza@cicese.mx
50	92	Fabrial Beauville Hubert	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	hfabrial@cicese.mx
51	346	Farreras Sanz Salvador	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	sfarrera@cicese.mx
52	91	Ferrari Pedraglio Luca	UNAM	Geología	Estación Regional del Centro	luca@servidor.unam.mx
53	137	Filonov Anatoly E.	UDG	Físico Matemáticas		afilonov@udgserv.cencar.udg.mx
54	97	Fletcher John M.	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	jfletcher@cicese.mx
55	348	Flores Luna Carlos Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	cflores@cicese.mx
56	679	Flores Cruz Fernando				
57	675	Forsythe Lance	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	forsythe@cicese.mx
58	96	Frez Cárdenas José	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	jofrez@cicese.mx
59	680	Fuentes Vargaz Carlos	UNAM	Geofísica	Sismología	carlos@ollin.igeofcu.unam.mx
60	112	Gómez Valdés José	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jgomez@cicese.mx
61	121	Gómez Treviño Enrique	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica	egomez@cicese.mx
62	108	Galicia Pérez Marco Antonio	UCOL			galicia@volcan.ucol.mx
63	578	Gallegos Cruz Apolonio	IPN	Ciencias Básicas	Física	
64	101	García Abdeslem Juan	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jgarcia@cicese.mx
65	104	García Arthur Rosalia	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	arthur@cicese.mx
66	368	García García Fernando	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		dire@mvica.atmosfev.unam.mx
67	100	Garduño Monroy Víctor Hugo	UMICH			
68	119	Gaviño Juan H.	UCOL			gavinho@volcan.ucol.mx
69	122	Glowacka Ewa	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	glowacka@cicese.mx
70	113	González García José Javier	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	javier@cicese.mx
71	672	González Fernández Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	mindundi@cicese.mx
72	370	Graef Ziehl Federico	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	fgraef@cicese.mx
73	570	Green Ruiz María de Jesús	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología	Geología Marina	mgreen@mar.icmyl.unam.mx
74	111	Guerrero García José C.	UNAM	Geología		josec@servidor.unam.mx
75	126	Helene Escamilla Javier	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	jhelene@cicese.mx
76	564	Hernández Treviño Teodoro	UNAM	Geofísica	Exploración y Geomagnetismo	tht@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
77	572	Hernández Bernal María del Sol	UNAM	Geología	Geología Regional	msol@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx
78	582	Hernández Guerrero Joel	PEMEX	Integración e Interpretación	Activo Macuspana	zyanya@hotmail.com
79	669	Hughes Simon	UNAM	Geofísica	Vulcanología	
80	127	Huidobro González Adolfo	UNAM	Ingeniería	Ingeniería Sismológica	lermo@inti.iingen.unam.mx
81	132	Jiménez Jiménez Zenon	UNAM	Geofísica	Sismología	zenon@igeofcu.unam.mx
82	135	Kostoglodov Vladimir	UNAM	Geofísica	Sismología	vladimir@ollin.igeofcu.unam.mx
83	640	Kotsarenko N. Y.	UNAM	Geofísica		
84	136	Kouzoub Nikolai	UANL		Ciencias de la Tierra	nkouzoub@ccr.dsi.uanl.mx
85	655	Kuraica Ogie	KINEMATICS	Sales Manager		sales@kmi.com
86	399	Lázaro Mancilla Octavio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	
87	145	López Martínez Margarita	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	marlopez@cicese.mx
88	146	López Mariscal Juan Manuel	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	malope@cicese.mx
89	598	Lares Reyes María Lucía	CICESE	Oceanología	Ecología	llares@cicese.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA - MIEMBROS 1997

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
1	678	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
2	20	Balcones de Guanajuato #4	Arquitectos	Guanajuato	Guanajuato	México	36000	376
3	16	Balcones de Guanajuato #4	Arquitectos	Guanajuato	Guanajuato	México	36000	376
4	19	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
5	668	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
6	3	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
7	4	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
8	267	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
9	676	Circuito Jardín #356-3	Alamos 3ª	Queretaro	Queretaro	México	76160	
10	8	2170 SE 17th Street Suite 202		Ft. Lauderdale	Florida	USA	33316	
11	18	Reforma #113	Palmira	Cuernavaca	Morelos	México	62490	
12	287	UCLA - Box 951567		Los Angeles	California	USA	90095-1567	2732
13	296	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
14	28	Periférico Sur #8585		Tlaquepaque	Jalisco	México	45090	31-175
15	30	Reforma #113	Palmira	Cuernavaca	Morelos	México	62490	1475
16	26	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	70472
17	37	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
18	27	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
19	24	Km. 2.35 Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Sonora	México	85465	349
20	32	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
21	632	Av. Vallarta #2602	Juárez	Guadalajara	Jalisco	México	44130	
22	536	Km. 2.35 Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Sonora	México	85465	349
23	321	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	70472
24	558	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
25	581	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
26	325	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
27	52	Tijberg #2, 2716 LH		Zoetermeer		Holanda		
28	557	Lluís Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	8028	
29	331	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
30	330	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
31	645	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
32	663	Callejon de la Garfía #14	Centro	Taxco	Guerrero	México	40200	
33	45	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
34	47	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
35	664	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
36	624	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
37	58	C. Pascualitos-Pescaderos Km. 26.5	Cerro Prieto	México	Baja California	México	21100	
38	566	Circuito Exterior, CU.	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
39	59	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
40	559	Lluís Solé i Sabarís s/n		Barcelona	Barcelona	España	8028	
41	342	Av. Vallarta #2602	Sector Juárez	Guadalajara	Jalisco	México	44421	
42	69	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
43	75	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
44	82	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
45	454	Eje Central Lazaro Cardenas #152	San Bartolo Atepehuacan	México	Distrito Federal	México	7730	
46	341	Km. 4, Carret. a Varadero Nacional	Sector Playitas	Guaymas	Sonora	México	85480	742
47	573	Circuito Exterior, CU	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
48	87	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
49	86	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
50	92	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
51	346	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
52	91	Balcones de Guanajuato #4	Arquitectos	Guanajuato	Guanajuato	México	36090	376
53	137	Rio Autlam #2180-34	Altas	Guadalajara	Jalisco	México	44421	
54	97	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
55	348	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
56	679	Antonia Nava s/n Esc. Pri. Makarenko	Carmen Serdán	México	Distrito Federal	México	4910	
57	675	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22830	
58	96	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
59	680	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
60	112	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
61	121	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
62	108	Apartado Postal 275	Zona Centro	Manzanillo	Colima	México	28200	275
63	578	Te #950	Iztacalco	México	Distrito Federal	México	8400	
64	101	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
65	104	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	434843
66	368	Circuito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
67	100	Av. Rey Tanacuri #374-D	Villabell	Morelia	Michoacán	México	58090	
68	119	Apartado Postal 275	Zona Centro	Manzanillo	Colima	México	28200	275
69	122	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
70	113	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
71	672	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22830	
72	370	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
73	570	Explanada de la Azada y Crestón		Mazatlán	Sinaloa	México	82040	
74	111	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
75	126	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
76	564	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
77	572	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
78	582	Av. Sitio Grande #2000 Edif 3 1Piso	Fracc. Carrizal	Villahermosa	Tabasco	México	86035	270
79	669	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
80	127	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
81	132	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
82	135	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
83	640	Circuito Exterior, Cd Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
84	136	Pedro Noriega #569 Sur		Linares	Nuevo León	México	67700	
85	655	222 Vista Avenue		Pasadena	California	USA	91107	
86	399	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22830	
87	145	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
88	146	Km. 170 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
89	598	Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA - MIEMBROS 1997 (continuación)

No.	Miembro	Nombre	Institución	División o Instituto	Departamento o Facultad	E-mail
90	141	Lavin Peregrina Miguel F.	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	mlavin@cicese.mx
91	483	Ledesma Vázquez Jorge	UABC	Geología	Ciencias Marinas	ledesma@bahia.ens.uabc.mx
92	404	Lermo Javier	UNAM	Ingeniería		lermo@inti.iisgen.unam.mx
93	602	Lira Herrera Héctor	CFE	Residencia Gral. Cerro Prieto	Estudios	
94	398	Lozada Zumaeta Manuel	IMP	Exploración Geofísica		manuel@orion.expl.imp.mx
95	164	Méndez Delgado Sostenes	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	smendez@cicese.mx
96	615	Machain Castillo María Luisa	UNAM	Ciencias del Mar y Limnología		machain@mar.icml.unam.mx
97	653	Magaña Rueda Víctor	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		victor@belenos.atmosfcu.unam.mx
98	175	Marinone Moschetto Silvio Guido	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	marinone@cicese.mx
99	677	Marquez González Alvaro	UCM	Petrología y Geoquímica	Ciencias Geológicas	alvaromg@eucmax.sim.ucm.es
100	2	Martín Barajas Arturo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	amartin@cicese.mx
101	673	Martín Atienza Beatriz	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	mindundi@cicese.mx
102	156	Martínez Serrano Raymundo G.	UNAM	Geofísica		rms@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
103	630	Martínez Zatarain Alejandro	UDG	Astronomía y Meteorología	Física	amartine@udgserv.cencar.udg.mx
104	667	Matthes Miguel	APASCO			
105	436	Mejía Trejo Adán	UABC	Investigaciones Oceanológicas	Oceanografía Física	amejia@bahia.ens.uabc.mx
106	95	Michaud François	U PARIS VI	Pierre el Marie Curie		micho@ccrv.obs-vlfr.fr
107	167	Montesinos Silva Genaro	UGTO	Ciencias Agrícolas	Agronomía	genaros@dulcinea.ugto.mx
108	421	Morán Zenteno Dante Jaime	UNAM	Geología		dirigli@servidor.unam.mx
109	173	Morandi Soana María Teresa	U. DE LOS ANDES	Laboratorio de Geofísica	Ciencias	maria@ciens.ula.ve
110	619	Mortera Gutiérrez Carlos A.	UNAM	Geofísica	Sismología y Vulcanología	carlosm@dlin.igeofcu.unam.mx
111	608	Moya Juan Carlos	U. COLORADO		Geological Sciences	moya@creep.colorado.edu
112	160	Munguía Orozco Luis	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	lmunguia@cicese.mx
113	434	Murrieta José Luis				
114	182	Núñez Cornú Francisco Javier	UDG	CUC, Vallarta	Geografía y Organización Terr.	fcornu@vallarta.cuc.udg.mx
115	177	Nava Pichardo Alejandro	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	fnava@cicese.mx
116	670	Nava Sánchez Enrique H.	USC		Earth Sciences	enavasan@usc.edu
117	181	Nieto Samaniego Ángel Francisco	UNAM	Geología	Estación Regional del Centro	afns@servidor.unam.mx
118	183	Ocampo Torres Francisco Javier	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	ocampo@cicese.mx
119	452	Ochoa De la Torre José Luis	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	jochoa@cicese.mx
120	455	Oda Noda Bertha	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima y Predicción	
121	568	Orozco Esquivel María Teresa	UANL	Ciencias de la Tierra		morozco@ccr.dsi.uanl.mx
122	665	Orta Francisco	APASCO			
123	191	Pacheco Alvarado Francisco Javier	UNAM	Geofísica	Sismología	javier@ollin.igeofcu.unam.mx
124	549	Padilla Arredondo Gustavo	CIBNOR	Unidad Guaymas	Geología	gpadilla@cibnor.mx
125	201	Pavía López Edgar	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	epavia@cicese.mx
126	202	Paz Moreno Francisco A.	USON	Geología		paz@geologia.uson.mx
127	66	Pedraza Aviles Sergio	CIBNOR	Zona Costa	Geología Marina y Geoquímica	spedrin@cibnor.mx
128	200	Pereyra Díaz Domitilo	U. VERACRUZANA	Meteorología Aplicada	Instrumentación Electrónica	dpereyra@speedy.coacad.uv.mx
129	671	Prieto Mendoza Jesús José	UABCS			jprieto@calafia.uabcs.mx
130	207	Quintero Legorreta Odranuel	UNAM	Geología	Geología Regional	odranuel@servidor.unam.mx
131	211	Ramírez Trajo Ana Rosa				
132	212	Ramírez Vázquez Carlos Ariel	UCOL	CICBAS	RESCO	carlosr@cgic.ucol.mx
133	496	Ramírez Ruiz Juan José	UCOL	Observatorio Volcanológico		
134	674	Ramírez Hernández Jorge	UABC	Ingeniería	Ciencias de la Tierra	jramirez@cgsim1.mxl.uabc.mx
135	208	Randall Roberts John	UGTO			
136	213	Rebollar Bustamante Cecilio J.	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	rebollar@cicese.mx
137	215	Reyes Dávila Gabriel Ángel	UCOL	CICBAS	RESCO	gabrielr@cgic.ucol.mx
138	482	Rodríguez Castillo Ramiro	UNAM	Geofísica	Recursos Naturales	
139	497	Romero Espejel J.G. Héctor	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	hromero@cicese.mx
140	560	Romero Pascual Mercedes	UCM	Ciencias de la Tierra	Geofísica	romero@eucmos.sim.ucm.es
141	218	Romo Jones José Manuel	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	jromo@cicese.mx
142	475	Ronquillo Jarillo Gerardo	IMP	Estudios Geológicos	Investigación Sismológica	gerardo@orion.expl.imp.mx
143	610	Rosales Grano Pedro	SEP	Tecnológico del Mar	Investigación	
144	611	Rosales Álvarez Julio	CFE	C. Geotermico Cerro Prieto	Exploración	
145	575	Rosas Elguera José	UDG	Ciencias de la Tierra		jrosas@quantum.ucting.udg.mx
146	639	Rubio Culebras Eduardo	ICT-CSIC	Jaime Almera		erubio@ija.csic.es
147	226	Sánchez Monclú Alfredo	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	asanchez@cicese.mx
148	242	Sabina Ciscar Federico	UNAM	IIMAS	FENOMEC	fjs@uxmym1.iimas.unam.mx
149	228	Saldaña Flores Ricardo	IMP	Fuentes Alternas de Energía	Fuentes No Convencionales	rsf@p.ie.org.mx
150	241	Santamaría Saldaña Dora Elva	CFE			
151	527	Sarmiento López Citlali	IMP	Proceso Registros Geofísicos		
152	230	Schaaf Peter	UNAM	Geofísica	Paleomagnetismo	pschaaf@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
153	1	Singh Shri Krishna	UNAM	Geofísica		krishna@ollin.igeofcu.unam.mx
154	235	Steinich Birgit	UNAM	Geología	Geoquímica	birgit@trex.igeofcu.unam.mx
155	519	Stock Joanne M.	CALTECH	Seismology		jstock@gps.caltech.edu
156	236	Suárez Vidal Francisco	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geología	fsuarez@cicese.mx
157	515	Suárez Reynoso Gerardo	UNAM	Geofísica		gerardo@ollin-igeofcu.unam.mx
158	634	Suárez Arriaga Mario Cesar	CFE	Exploración	Modelado Matemático	geoexplo@morelia.teesa.mx
159	502	Suter Max	UNAM	Geología		sutermx@aol.com.us
160	249	Taran Yuri	UNAM	Geofísica	Vulcanología	taran@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
161	245	Tereshchenko Irina E.	UDG	CUCEI	Física	itereshc@udgserv.cencar.udg.mx
162	532	Tolson Gustavo	UNAM	Geología		tolson@servidor.unam.mx
163	604	Torres Orozco Ernesto	UCOL		Ciencias Marinas	etorres@cgic.ucol.mx
164	528	Trasviña Castro Armando	CICESE	Oceanología	Oceanografía Física	trasvi@cicese.mx
165	622	Urrutia Fucugauchi Jaime	UNAM	Geofísica	Lab. Paleomagnetismo	juf@tonatiuh.igeofcu.unam.mx
166	254	Vázquez González Rogelio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Geofísica Aplicada	rvazquez@cicese.mx
167	138	Valenzuela Wong Raúl	UNAM	Geofísica	Sismología	raul@ollin.igeofcu.unam.mx
168	545	Velasco Climaco Nector	IMP			nvelasco@cicese.mx
169	543	Verma Jaiswal Mahendra Pal	IEE	Geotermia		
170	171	Victoria Morales Alfredo	UNAM	Ingeniería		
171	540	Vidal Villegas Antonio	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	vidalv@cicese.mx
172	547	Villanueva Urrutia Elba Elsa	UNAM	Ciencias de la Atmósfera	Teoría del Clima y Predicción	eevu@mvica.atmosfcu.unam.mx
173	648	Villegas García Cesar José	UANL	Geofísica	Geofísica	
174	255	Villicaña Cruz Francisco Javier	UNAM	Ciencias de la Atmósfera		
175	259	Wong Ortega Victor	CICESE	Ciencias de la Tierra	Sismología	vwong@cicese.mx
176	376	Yussim Guarneros Sergio				
177	262	Zarate Del Valle Pedro F.	UDG	Ciencias de la Tierra	Civil y Topografía	pzarate@quantum.ucting.udg.mx
178	261	Zobin Vyacheslav M.	UCOL	Observatorio Volcanológico		vzobin@cgic.ucol.mx

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA - MIEMBROS 1997 (continuación)

No.	Miembro	Calle	Colonia	Ciudad	Estado	País	C.P.	A.P.
90	141	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
91	483	Km 103 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22800	453
92	404	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
93	602	C. Pascualitos-Pescadores Km. 26.5	Cerro Prieto	Mexicali	Baja California	México	21100	
94	398	Eje Central Lazaro Cardenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	Distrito Federal	México	7730	
95	164	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
96	615	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	70305
97	653	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
98	175	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
99	677	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
100	2	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
101	673	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22830	
102	156	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
103	630	Av. Vallarta #2602	Juárez	Guadalajara	Jalisco	México	44100	
104	667	Campos Eliseos #345, Piso 16	Polanco	México	Distrito Federal	México	11550	
105	436	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	453
106	95	La Darse B-P #48		Paris	Paris	France		
107	167			Irapuato	Guanajuato	México	36500	311
108	421	Circuito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
109	173	Yagrumo, Quinta Frailejón	Sta. Maria Sur	Merida	Merida	Venezuela	5101	
110	619	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
111	608	1300, 30th, A1-24		Boulder	Colorado	USA	80303	
112	160	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
113	434	Nogueira #1		Jalapa	Veracruz	México	91000	
114	182	Gelati 99-1001	San Miguel Chap	México	Distrito Federal	México	11850	
115	177	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
116	670			Los Angeles	California	USA	90007-0740	
117	181	Targanitos #1		Guanajuato	Guanajuato	México	36000	
118	183	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
119	452	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
120	455	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
121	568	Carret. Cerro Prieto Km. 8	Hacienda de Guadalupe	Linares	Nuevo León	México	67700	104
122	665	Campos Eliseos #345, Piso 16	Polanco	México	Distrito Federal	México	11550	
123	191	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
124	549	Km. 2.35, Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Sonora	México	85465	349
125	201	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
126	202	Apartado Postal No. 847		Hermosillo	Sonora	México	83000	847
127	66	Km. 2.35, Camino al Tular	Estero de Bacochibampo	Guaymas	Sonora	México	85465	349
128	200	Zona Universitaria s/n	Zona Universitaria	Jalapa	Veracruz	México	91090	136
129	671	Retorno Mango #1855	Infonavit	La Paz	Baja California Sur	México	23070	
130	207	Circuito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
131	211	Apartado Postal #343		Ajijic	Jalisco	México	45920	
132	212	Av. 25 de Julio #965	Villa San Sebastián	Colima	Colima	México	28045	21694
133	496	Av. 25 de Julio #965	Villa San Sebastian	Colima	Colima	México	28045	
134	674	PO Box 1136		Calexico	California	USA	92232	
135	208	Mineral de Valenciana #2	Marfil	Guanajuato	Guanajuato	México	36250	42
136	213	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
137	215	25 de Julio #965	Villa San Sebastián	Colima	Colima	México	28045	21694
138	482	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
139	497	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22830	
140	560	Av. Complutense s/n		Madrid	Madrid	España	28040	
141	218	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
142	475	Eje Central Lazaro Cardenas #152	San Bartolo Atepehuacán	México	Distrito Federal	México	7730	
143	610	Km. 4, Carret. a Varadero Nacional	Sector Playitas	Guaymas	Sonora	México	85480	742
144	611	C. Pascualitos-Pescadores Km. 26.5		Mexicali	Baja California	México	21100	
145	575	Av. Revolución #1500		Guadalajara	Jalisco	México	44840	
146	639	Lluis Solé i Sabaris s/n		Barcelona	Barcelona	España	8028	
147	226	Km 107 Carrete. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
148	242	Circuito Exterior Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	20726
149	228	Reforma #113	Palmira	Temixco	Morelos	México	62490	1475
150	241	Zaragoza #17	Tulyehualco	México	Distrito Federal	México		16700
151	527	Calle 42 #28	Tacubaya	Ciudad del Carmen	Campeche	México		
152	230	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	70472
153	1	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
154	235	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
155	519	2824 Shakespeare Drive		San Marino	California	USA	91108	
156	236	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
157	515	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
158	634	Alejandro Volta #655	Electricistas	Morelia	Michoacán	México	58290	7-31
159	502	1650 West Chimayo Place		Tucson	Arizona	USA	85704	
160	249	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
161	245	Rio Autlán #2180-34	Atlas	Guadalajara	Jalisco	México	44421	
162	532	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	99074
163	604	Constitución #37	Morelos	Manzanillo	Colima	México	24217	
164	528	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
165	622	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
166	254	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
167	138	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
168	545	Calle 42 #28	Tacubaya	Ciudad del Carmen	Campeche	México		
169	543	Apartado Postal No. 1-475		Cuernavaca	Morelos	México	62001	1-475
170	171	Luis Martinez del Campo #39	R. de Terreros	México	Distrito Federal	México	4310	
171	540	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
172	547	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
173	648	Sierra Nevada #207	Villas del Valle	Garza Garcia	Nuevo León	México	66288	
174	255	Circuito Exterior, Cd. Universitaria	Coyoacán	México	Distrito Federal	México	4510	
175	259	Km 107 Carret. Tijuana-Ensenada		Ensenada	Baja California	México	22860	2732
176	376	Atotonilco #88	Felipe de Jesús	México	Distrito Federal	México	7510	
177	262	Av. Revolución #1500		Guadalajara	Jalisco	México	44410	4021
178	261	Av. 25 de Julio #965	Villa San Sebastian	Colima	Colima	México	28045	

PREMIOS DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA

La Unión Geofísica Mexicana a través de su programa de reconocimientos, provee la oportunidad para que sus miembros identifiquen y premien las contribuciones científicas importantes que realicen sus colegas. Con este fin la Unión otorga la medalla Manuel Maldonado-Koerdell por logros significativos en investigación científica, la medalla Mariano Bárcena por méritos académicos y labores de fortalecimiento para la misma Unión y los premios Francisco Medina representa un estímulo para jóvenes investigadores. A la par de lo anterior, se cumple con el objetivo de resaltar la importancia que han tenido destacados naturalistas como Manuel Maldonado-Koerdell y Mariano Barcena en el desarrollo de las Ciencias de la Tierra en México.

Medalla Manuel Maldonado-Koerdell

Esta medalla se otorga mediante concurso cada dos años en años impares. La convocatoria contempla que los candidatos deben ser nominados por un miembro de la Unión o por una institución de investigación y/o educación superior del país. La carta de presentación debe incluir una exposición razonada de los méritos del candidato. El jurado lo nombra la mesa directiva y en el dictamen se toma en cuenta primordialmente la investigación hecha en México por el candidato, el impacto científico de su línea de investigación y la labor docente desarrollada.

Historial de premiaciones:

Jaime Urrutia Fucugauchi	1991
Enrique Gómez Treviño	1991
Pedro M. Ripa Alsina	1993
Shri Krishna Singh	1993
Cinna Lomnitz Aronsfrau	1995

Manuel Maldonado-Koerdell. Nació en Mazatlán, Sin., y m. en el D.F., (1908-1973). Estudió Biología Marina, Geografía y Lenguas en la U.N.A.M., además de Zoología, Anatomía comparada de vertebrados, Historia de la Biología y Bioquímica en las Universidades de California y Washington. Doctor en Zoología, Paleontología de vertebrados y Geología Histórica en la Escuela de Graduados de la Universidad de Kansas. Fue profesor en las escuelas nacionales de Ciencias Biológicas y de Antropología, Superior de Ingeniería y Arquitectura, así como en el México City College; Jefe de la sección de Historia Natural del Instituto de Investigaciones Científicas de la Universidad de Nuevo León (1944), Paleontólogo en la Dirección de Prehistoria del INAH (1952-55), investigador en el Instituto Nacional de la Investigación Científica (1955) y secretario general de la Unión Geofísica Mexicana (1960-72). Fue jefe del Departamento de Paleontología de la Gerencia de Exploración de PEMEX (1951-52) y Geólogo de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (1954). Autor de Manual de Laboratorio para Anatomía Comparada (1940), Bibliología Geológica y Paleontológica de la América Central, e Informe sobre la situación de los trabajos Geofísicos de los Países Centroamericanos.

Medalla Mariano Bárcena

Esta medalla la otorga la mesa directiva de la Unión a miembros que se han distinguido por una larga trayectoria académica y de investigación, y por sus acciones en favor del fortalecimiento de la Unión Geofísica Mexicana. Con esta distinción pretendemos reconocer la labor de nuestros maestros eméritos. En este caso no hay periodicidad para el otorgamiento de la medalla.

Historial de premiaciones:

Julián Adem Chahin	1993
Cinna Lomnitz Aronsfrau	1994

Mariano Bárcena. Nació en Ameca y m. en Guadalajara, Jal. (1842-1899). Estudió en la Academia de San Carlos (1864-65). En 1866 ingresó en la Escuela Nacional Preparatoria, donde fue discípulo de Gabino Barreda y Leopoldo Río de la Loza. Pasó a la Escuela de Minas. Era estudiante de Ingeniería cuando Maximiliano le otorgó la Orden de Guadalupe (1866) y en el cuarto año de la carrera fue admitido como miembro de la Sociedad Filomatemática Mexicana. En 1871 lo fue de la Sociedad Mexicana de Historia Natural y al año siguiente, ya titulado de Ingeniero, se le extendió diploma como socio honorario de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. Descubrió y clasificó especies vegetales y dio nombre a dos especies fósiles. Se le debe el conocimiento de una variedad de Mercurio. Realizó exploraciones en el volcán El Ceboruco, de las cuales dejó varios testimonios. Fundó en 1877 y dirigió hasta su muerte, el Observatorio Meteorológico. En 1888 fue nombrado secretario de Gobierno de Jalisco y al año siguiente, a la muerte de Ramón Corona, gobernador del Estado (noviembre de 1889 a octubre de 1890). Al término de su mandato

fue senador. Recibió distinciones en México y en el extranjero. Realizó investigaciones en los campos de la Antropología, la Botánica y la Mineralogía y en cada uno hizo descubrimientos y aportaciones. Escribió tratados de Geología, Paleontología y Litología, una Noticia Geológica del estado de Aguascalientes, las obsidias de México, Datos para el estudio de las rocas mesozoicas de México y sus fósiles y, sobre el llamado Hombre del Peñón, una Noticia acerca del hallazgo de restos humanos prehistóricos en el Valle de México.

Premios Francisco Medina

Francisco Medina Martínez (1947-1995). Durante casi dos décadas, Pancho fue piedra angular de la UGM. Todos los que ocupamos distintas funciones de la Mesa Directiva de la Unión fuimos sus colaboradores. Presidió la UGM con discreción desde la siempre magra tesorería, lo que no evitó que editara **GEOS**, organizara religiosamente las reuniones anuales, manejara una correspondencia continua con otras sociedades y personas, y apoyara, tanto a estudiantes como a científicos para que participaran en las actividades de la Unión. Su paciencia y confianza lo mantuvieron como editor de este boletín, el cual sostenía con traducciones, comentarios, reseñas y escasas colaboraciones por parte de los miembros de la UGM. Su trabajo como editor era casi solitario y artesanal, pero persistente. Preocupado por los científicos en formación y por la divulgación del quehacer de los geocientíficos de la comunidad entre los estudiantes, nos convocó a escribir en las monografías de la Unión Geofísica Mexicana, de las cuales fue responsable de las dos primeras (Contribuciones a la Tectónica del Occidente de México y La Sismología en México: Diez Años Después del Temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985) y organizó las dos siguientes sobre Oceanografía y la estructura del Chicxulub. Esa inquietud por estimular a los jóvenes lo llevó a organizar la Primer Olimpiada en Ciencias de la Tierra, en junio de 1995, donde se convocó, como experimento, a los estudiantes de bachillerato en Baja California. Este experimento fue un éxito y ahora vemos que algunos de los participantes en este concurso han iniciado licenciaturas relacionadas con las Ciencias de la Tierra. La experiencia de Pancho y sus publicaciones en temas sobre geofísica, geoquímica, volcanología y geología planetaria, lo hicieron un eslabón interdisciplinario entre los científicos de la Tierra. Los logros de su actitud abierta y confiada nos dio la confianza para seguir con la tarea de formar una comunidad activa, propositiva y comprometida en el planteamiento de nuevas formas de interacción entre los estudiosos de la Tierra, no importa el nivel en que se encuentren, ni su especialidad. Un valioso y continuo homenaje a Pancho será el otorgamiento de los premios **Francisco Medina** a las mejores tesis de licenciatura y posgrado que se realicen en nuestro país.

CONVOCATORIAS

La Unión Geofísica Mexicana abre a concurso los premios:

Medalla Manuel Maldonado-Koerdell, 1997. Para científicos que hayan realizado labores de investigación y docencia en México, en cualquiera de las áreas de las Ciencias de la Tierra. Se invita a la comunidad científica del país a proponer candidatos de acuerdo con las siguientes bases:

1. Los candidatos deberán ser nominados por un miembro de la UGM o por una institución de investigación y/o educación superior del país.
2. La carta de presentación deberá incluir una exposición razonada de los méritos del candidato. También se deberá presentar una copia de su curriculum vitae.
3. La fecha límite para presentar candidaturas es el 30 de agosto de 1997.

El jurado tomará en cuenta primordialmente la investigación hecha en México por los candidatos, el impacto científico mundial de sus trabajos y la labor docente desarrollada. El dictamen del jurado es inapelable.

Premios Francisco Medina, 1997. A las mejores tesis de licenciatura, maestría y doctorado en Ciencias de la Tierra. Estos premios se concursarán bianualmente, se invita a los interesados a presentar sus candidaturas de acuerdo con las siguientes bases:

1. Para el nivel de licenciatura, podrá concursar cualquier persona que no haya cumplido 25 años a la fecha de cierre de esta convocatoria; para los casos de maestría y doctorado, los candidatos deberán tener 30 y 35 años o menos, respectivamente.
2. Los trabajos de tesis que concursan deben haberse realizado en México. El examen de defensa debe haberse presentado entre el 1ro. de septiembre de 1995 y el 30 agosto de 1997, en una institución mexicana acreditada.
3. Los candidatos deberán presentar una copia de su tesis, su curriculum vitae y los documentos legales que acrediten el cumplimiento de las bases 1 y 2 de esta convocatoria.
4. Para posteriores concursos, un candidato sólo podrá concursar en un nivel superior.
5. En la selección de las tesis premiadas se tomarán como principales criterios la originalidad, su rigor y su importancia científica, serán los principales criterios. El dictamen del jurado será inapelable.

6. Los premios se otorgarán durante la reunión anual de la UGM.

Las candidaturas con la documentación completa se pueden entregar personalmente o enviarse por correo a:

Juan Manuel Espíndola
Instituto de Geofísica, UNAM
Circuito Exterior, Cd. Universitaria
C.P. 04510, México, D.F.
Tel: 91(5)622-4113
Fax: 91(5)550-2486

Victor Manuel Frías C.
Depto. de Geología, CICESE
Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada
C.P. 22860, Ensenada, B.C., México
Tel: 91(61)744-501/08, Ext: 26035
Fax: 91(61)744-933

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA

REUNIÓN ANUAL 1997

Puerto Vallarta, Jal. México
3-7 de Noviembre de 1997

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

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

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

El formato del resumen está disponible vía Internet en la siguiente dirección: <http://www.ugm.org.mx>
Favor de enviar su resumen en disquette o por E-mail a:

Victor M. Frías Camacho
Geología/CICESE
Km. 107, Carret. Tijuana-Ensenada,
Ensenada, B.C., C.P. 22860, México
Tel: 91(61) 744-501 al 08, Ext: 26035
Fax: 91(61) 744-933
E-mail ugm@cicese.mx

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

Fecha límite para recibir resúmenes - Agosto 31, 1997

Sede: Hotel Sheraton Baganvillas
Puerto Vallarta, Jal. México

Reservaciones:

Tel: 91 (322) 30-404
Fax: 91 (322) 20-500

Costo por habitación doble o sencilla:
\$ 520.00 + impuestos

Para reservaciones comunicarse al hotel y hacer mención de la Reunión Anual de la UGM.

Las cuotas, incluyendo el libro de resúmenes son:

Inscripción	{	Miembros AGU o UGM	\$ 600.00
a la		No miembros	\$ 850.00
Reunión	{	Estudiantes	\$ 300.00
		Costo de resumen	\$ 100.00
		Membresía Investigador	\$ 200.00
		Membresía Estudiante	\$ 150.00

Registro en el hotel sede desde el 2 de Noviembre.
Todos los pagos se efectuarán durante el registro en el hotel

Posgrado

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Tierra

GEOLOGÍA

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

GEOFÍSICA APLICADA

Exploración Geofísica
Simulación Numérica
Problemas Inversos
Electromagnetismo
Geofísica Marina
Geohidrología

SISMOLOGÍA

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

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Para mayores informes dirigirse a:

CICESE

Dirección de Estudios de Posgrado

Apartado Postal 2732

Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada

Ensenada, Baja California

C.P. 22860, México

Tel. 01(61)745-050 Ext. 23001

Fax: 01(61)744-880

<http://www.cicese.mx>



CICESE



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
Metodos Matemáticos
Mecánica de Fluidos
Hidrología de Superficie

Irrigación y Drenaje
Geohidrología
Métodos Numéricos
Obras Hidráulicas

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

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



POSGRADO
EN

Geofísica

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

El Instituto de Geofísica y la Unidad Académica de los ciclos Profesional y de Posgrado del CCH de la UNAM ofrecen a todos los profesionales en Física, Geofísica, Geología, Ingeniería, Química, o alguna área académica afín, los Posgrados de Maestría y Doctorado de Geofísica dentro de las siguientes áreas:

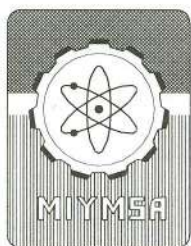
AGUAS SUBTERRANEAS
EXPLORACIÓN GEOFÍSICA
SISMOLOGÍA Y FÍSICA DEL INTERIOR DE LA TIERRA
ESTUDIOS ESPACIALES
MODELACIÓN MATEMÁTICA Y COMPUTACIONAL DE SISTEMAS GEOFÍSICOS

Informes: Instituto de Geofísica, UNAM
Cd. Universitaria
México, 04510, D.F.
Tel. 662-4130 y 622-4137 Fax. 550-2486

SISTEMAS DE INGENIERIA SISMICA Y DINAMICA ESTRUCTURAL



**REPRESENTANTE EXCLUSIVO PARA LA REPUBLICA
MEXICANA:**



**MEDIDORES INDUSTRIALES Y
MEDICOS, S.A. DE C.V.**

**ODESA #1110
COL. PORTALES
03300, MEXICO, D.F.**

FAX: (5) 605-9181 PHONE: (5) 604-0058 605-6312

Física del Mar

Un programa de posgrado

CICESE



Departamento de Oceanografía Física
Apartado postal #2732. Ensenada, B.C., México
Tel. 52 (667) 450-50 Ext. 4010. Fax 52 (667) 451-54

ATLAS NACIONAL DE MÉXICO

Obra en tres tomos que presenta la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, donde la labor de más de 300 especialistas quedará reunida en una colección de 160 cartas (alrededor de 600 mapas) editados a todo color por el Instituto de Geografía.

Volumen I

I. Mapas Generales

- 1.- Mapas Generales
- 2.- Desarrollo histórico de la expresión cartográfica
- 3.- Desarrollo histórico del levantamiento cartográfico

II. Historia

- 1.- Época prehispánica
- 2.- Época colonial
- 3.- Siglo XIX
- 4.- Movimientos armados
- 5.- Historia de las divisiones político-administrativa

III. Sociedad

- 1.- Distribución de las poblaciones y características demográficas
- 2.- Migraciones
- 3.- Sistema urbano
- 4.- Vivienda
- 5.- Educación
- 6.- Cultura
- 7.- Salud
- 8.- Tipología sociodemográfica

Volumen II

IV. Naturaleza

- 1.- Geología
- 2.- Tectónica
- 3.- Relieve
- 4.- Clima
- 5.- Agroclimatología
- 6.- Hidrogeografía
- 7.- Edafología
- 8.- Biogeografía
- 9.- Oceanografía
- 10.- Regionalización física

V. Medio ambiente

- 1.- Influencia del hombre en el medio ambiente
- 2.- Estado de los componentes naturales del medio ambiente
- 3.- La población y el medio ambiente
- 4.- Evaluación del patrimonio natural y cultural
- 5.- Síntesis del medio ambiente

Volumen III

VI. Economía

- 1.- Energía, agua y suelo, bases de la actividad económica
- 2.- Agricultura
- 3.- Ganadería
- 4.- Actividad forestal
- 5.- Pesca
- 6.- Energía Eléctrica
- 7.- Economía petrolera
- 8.- Minería
- 9.- Industria
- 10.- Transporte y comunicación
- 11.- Turismo
- 12.- Comercio y servicios
- 13.- Asimilación económica del territorio
- 14.- Regionalización económica

VII. México en el mundo

- 1.- Relaciones internacionales
- 2.- Comercio internacional
- 3.- México en el mundo

Informes y ventas:

Instituto de Geografía, UNAM
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria
A.P. 20-850, México, 01000, D.F.
Tel.: 91(5)548-9779, Fax: 91(5)548-4086



CHISPA es una revista diseñada y hecha en México, a la altura de las mejores del mundo. Enseña al niño a través de entretenimiento y diversión y lo estimula para interesarse por todo lo que le rodea.

Es mucho más que una enciclopedia en fascículos, es novedosa, periodística, destaca lo insólito, interesa y entusiasma con aventuras, juegos, experimentos, humor y un gran cariño por los niños.

Sirve para hacer las tareas de la escuela. Los maestros la ven como una ayuda. Para usted puede ser un medio más de convivencia familiar.

CHISPA sirve al niño por su precisión científica y por su alta calidad psico-pedagógica, porque en su elaboración intervienen científicos y expertos en todas las áreas del saber.

INNOVACION Y COMUNICACION S.A DE C.V.

Revista \$ 12.00 Precio Pecho Ejemplar atrasado \$ 10.00	
Suscripción anual México \$ 110.00 (10 números)	
Estados Unidos, Canadá, Centroamérica y el Caribe 45.00 USD	
Resto del mundo 48.00 USD	
Cheque N° _____ Giro Postal N° _____	
Cheque foráneo certificado N° _____	
Nombre _____	
Calle _____ Colonia _____	
Ciudad _____ C.P. _____	
Estado _____ Tel. _____	
Tlaxiaco No. 6, Col. Campestre C.P. 01040, México, D.F. o Apdo. Postal 19-468 C.P. 03910, México, D.F. Tel. 662-60-46 Fax: 662-77-91	



ICSA

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES DE ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

POLÍTICA EDITORIAL

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

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

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

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

RESUMEN

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

INTRODUCCIÓN

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

de sus resultados. Los pies de figura deberán ser lo suficientemente explicativos para resaltar la importancia de los resultados sin necesidad de referirse al texto.

METODOLOGÍA

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

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

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

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

BIBLIOGRAFÍA

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

Formato para citas

Para cada autor o co-autor, escriba con mayúscula únicamente la primera letra de los apellidos y después las iniciales. Utilice letras mayúsculas solo 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*, 35, 51-61.

Lomnitz, C., 1995, Diez años después: Una reinterpretación de la catástrofe de 1985, en: F. Medina-Martínez, L. A. Delgado-Argote y G. Suárez-Reynoso, editores, *La Sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985 (M=8.1)*, Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 2, 61-67.

Ripa, P., y Velázquez, G., 1993, Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California, *Geofísica Internacional*, 32, 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*, 85, 269-284.

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/cm³

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 de área. 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: _____

	1	2	3
1.- ¿Contiene el trabajo datos o ideas originales que ameriten su publicación en una revista especializada? ¿Como la clasificaría? 1) Investigación, 2) Divulgación, 3) Noticia	☐	☐	☐
	SI	NO	
2.- ¿Son válidas las observaciones y conclusiones?	☐	☐	
3.- ¿Son pertinentes y comprensibles el título y el resumen?	☐	☐	
4.- ¿Son necesarias y adecuadas las tablas y figuras presentadas?	☐	☐	
5.- ¿Son buenas la organización y presentación del trabajo?	☐	☐	
6.- ¿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)

MONOGRAFÍAS DE PRÓXIMA APARICIÓN

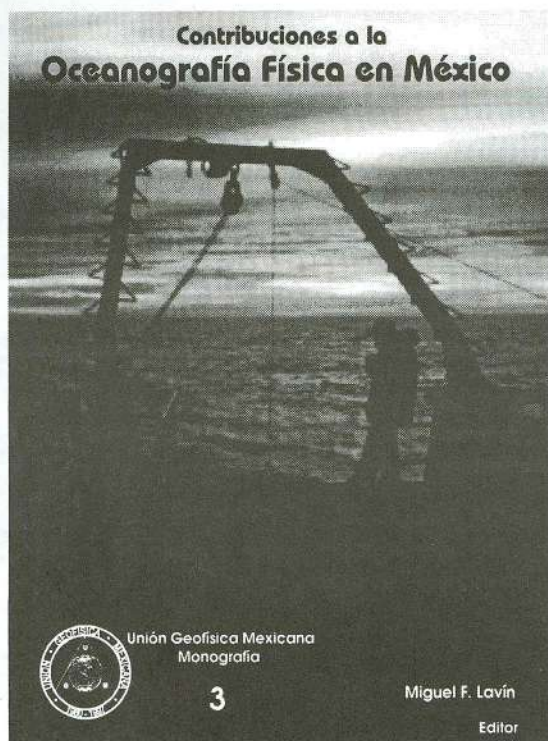


Tabla de Contenido

Prefacio
Lista de Autores

Parte I: Océano Pacífico Oriental

- 1 Oceanografía Física del Océano Pacífico Nororiental
- 2 Los "Nortes" del Golfo de Tehuantepec: La circulación costera inducida por el viento
- 3 Ondas y Dinámica Oceánica
- 4 Tsunamis en México
- 5 La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano

Parte II: Golfo de California

- 6 Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California
- 7 Estructura Hidrográfica y Circulación del Golfo de California: Escalas Estacional e Interanual
- 8 Evidencias de un remolino ciclónico de mesoescala en la parte sur del Golfo de California

Parte III: Golfo de México y Mar Caribe

- 9 Circulación y estructura termohalina del Golfo de México
- 10 Mareas y circulación residual en el Golfo de México
- 11 Aspectos de la Oceanografía Física Regional del Mar Caribe
- 12 Modelación Numérica del Golfo de México y Mar Caribe

Parte IV: Glosario

- 13 Glosario de Términos Oceanográficos

Contenido

Prólogo

Introducción

- 1 Catastrofismo, historia de una idea
- 2 La problemática de la extinción y el origen del evolucionismo
- 3 El periodo de extinción masiva contemporáneo
¿Podemos ponerle números?
- 4 ¿Dónde quedó el límite K/T?
- 5 Dinoflagelados a través del límite Cretácico-Terciario
- 6 Patrones de extinción (y radiación) en invertebrados a través del límite Cretácico-Terciario
- 7 La extinción de los rudistas
- 8 Los ostrácodos en la frontera del Cretácico-Terciario
- 9 El registro fósil de los neoselacios en el límite K/T
- 10 La extinción de los dinosaurios
- 11 ¿Qué pasó con los mamíferos en el límite Cretácico-Terciario?
- 12 El impacto de un asteroide y la Palinología en el límite Cretácico-Terciario
- 13 Muerte masiva vs. extinción de las plantas en la frontera del K/T
- 14 Asteroides y chubascos cometarios
- 15 Los primeros estudios del cráter de Chicxulub
- 16 El secreto de Chicxulub: algunas consideraciones geofísicas
- 17 Volcanes vs. cráteres de impacto; el caso del Chicxulub
- 18 El límite Cretácico-Terciario y el cráter de Chicxulub
- 19 Las rocas de impacto del cráter Chicxulub y el límite Cretácico-Terciario en México y áreas vecinas de América del Norte y el Caribe
- 20 El cráter del Chicxulub y la extinción de los dinosaurios
- 21 El límite K-T y su exploración en el cráter de Chicxulub



Recordamos a todos los miembros de la Unión Geofísica Mexicana que la cuota para 1997 es de \$ 150.00 (CIENTO CINCUENTA PESOS 00/100 M.N.).

Favor de hacer llegar su cuota a:

Juan García Abdeslem
División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Km. 107 Carret. Tijuana-Ensenada
Ensenada, 22860, Baja California

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

Con un cordial saludo.

M.C. Luis A. Delgado Argote
Secretario de Difusión

GEOS, revista a la venta en:



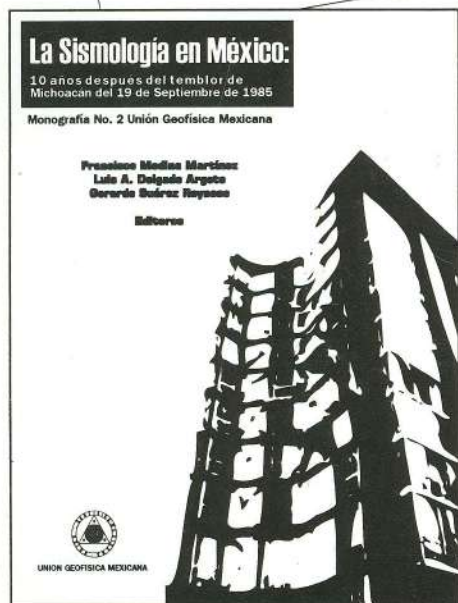
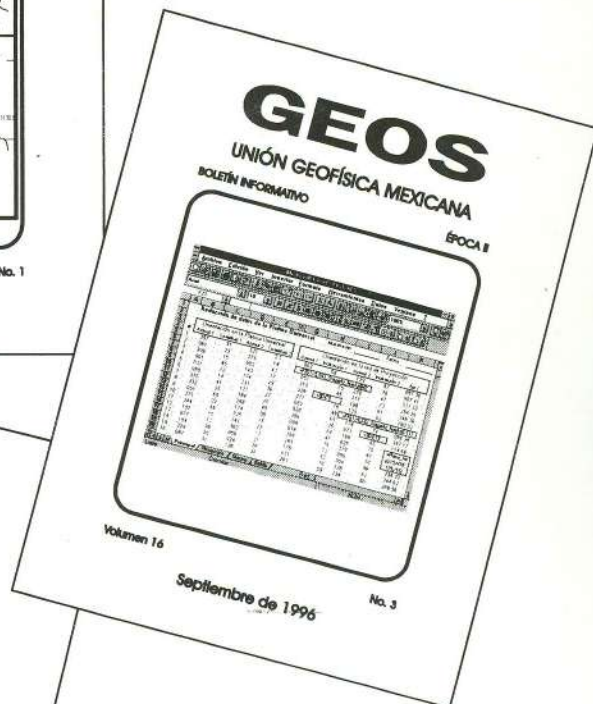
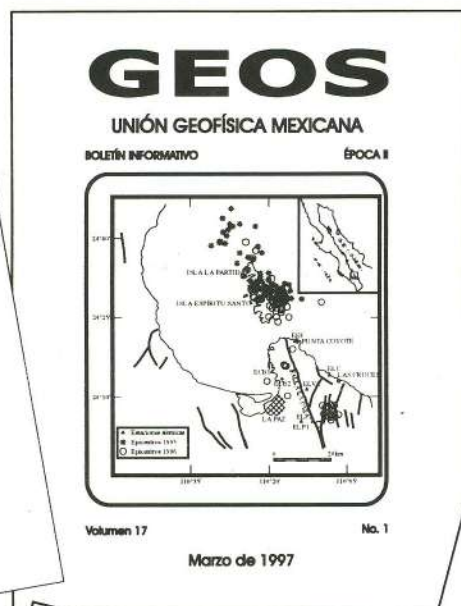
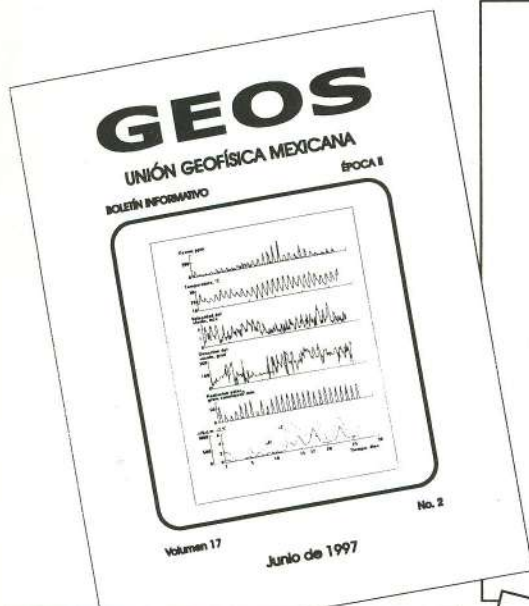
Instituto de Geofísica
Depto. de Posgrado
At'n: Araceli Chaman
Tel: 01(5) 622-4130 y 622-4137
E-mail: achaman@quetzalcoatl.igeofcu.unam.mx



CICESE

División de Ciencias de la Tierra
Depto. de Geología
At'n: Victor M. Frías Camacho
Tel: 01(61)744-501 al 08
Ext: 26035
E-mail: vfrias@cicese.mx

Costo del ejemplar \$ 50.00



Tus trabajos de investigación y divulgación tienen cabida en estos foros de la Unión Geofísica Mexicana

