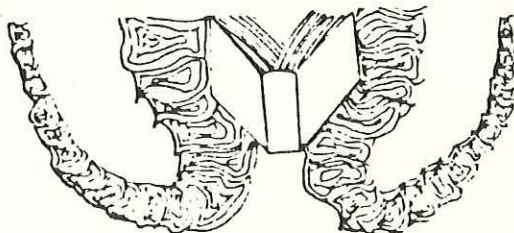


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



DISTRIBUCION DE PARAMETROS FOCALES EN LA ZONA DEL SISMO
DE MICHOACAN, MEXICO, SEPTIEMBRE DE 1985,
EN BASE A REGISTROS DIGITALES DE LAS REPLICAS



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA:
JORGE NAVA JIMENEZ

ENSENADA B.C., SEPTIEMBRE DE 1989.

RESUMEN.

El análisis de la distribución horizontal y vertical de hipocentros, así como el análisis de los parámetros espectrales de fuente (Momento sísmico, Caída de Esfuerzos y Dimensiones de la fuente) para las réplicas del evento de Michoacán septiembre de 1985 ($M_s=8.1$), confirman que la zona denominada como vacancia sísmica de Michoacán se encuentra dominada sísmicamente por la subducción de dos diferentes placas oceánicas. La microplaca de Orozco que actúa sobre la zona del estado de Michoacán, y la placa de Cocos sobre el estado de Guerrero. Lo que, debido a un sistema tectónico no homogéneo, da como resultado valores de Caída de Esfuerzos para eventos principales menores a los 100 bares, representando una liberación parcial de esfuerzos.

La distribución de eventos sobre la microplaca de Orozco muestra una marcada alineación latitudinal, resultado de la presencia de barreras y asperezas, ocasionando una liberación parcial de esfuerzos con valores bajos de Caída de Esfuerzos. La proyección a profundidad de hipocentros en esta placa muestra una zona sismogénica con una inclinación de 21° en un perfil con orientación de 9° de azimut, mismo que guardan las alineaciones en esa zona, y con un espesor de 12 km. Presentando de esta manera, valores bajos de Momento sísmico y de Caída de Esfuerzos en comparación al resto de la zona de estudio.

La placa de Cocos, en cambio, presenta una distribución de epicentros más dispersa sin sugerir la presencia de barreras y asperezas, subduciendo bajo la placa Norteamericana con un ángulo de 12° en un perfil con azimut de 32° , alineación preferencial de los eventos en esa zona, y con un espesor de zona sismogénica de 8 km. Apoyando así las sugerencias de ser más joven que la microplaca de Orozco, y presentando por esto valores mayores del Momento sísmico y de Caída de esfuerzos.

La zona de transición entre estas dos placas, que se encuentra dentro de las coordenadas $102^\circ 45'$ y $102^\circ 20'$, presentando un ángulo de subducción de 14° en un perfil con azimut de 58° , muestra un desnivel con mayor profundidad en dirección a la placa de Cocos. Es en los límites de esta zona donde se presentan los mayores valores para los parámetros focales de fuente, y donde se localizaron los subeventos componentes del evento principal de septiembre de 1985 en Michoacán ($M_s=8.1$). Sísmicamente esta zona se encuentra dominada por la subducción de la fractura de Orozco.


DISTRIBUCION DE PARAMETROS FOCALES EN LA ZONA DEL SISMO
DE MICHOACAN, MEXICO, SEPTIEMBRE DE 1985,
EN BASE A REGISTROS DIGITALES DE LAS REPLICAS.


T E S I S
QUE PRESENTA

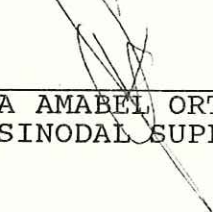
JORGE NAVA JIMENEZ


APROBADO POR:


DR. ALFONSO REYES ZAMORA
PRESIDENTE DEL JURADO


M.C. FRANCISCO SUAREZ VIDAL
SINODAL PROPIETARIO


DR. LUIS MUNGUIA OROZCO
SINODAL PROPIETARIO


M.C. MARIA AMABEL ORTEGA RIVERA
SINODAL SUPLENTE


M.C. JOSE G. ACOSTA CHANG
SINODAL SUPLENTE

ENSENADA B.C., SEPTIEMBRE DE 1989.

DEDICATORIA.

A mis padres:

Porque a lo largo de todas las acciones de mi vida su apoyo incondicional y sus enseñanzas han sido la mejor plataforma para mi formación académica y personal.

A mis hermanos:

Por las grandes experiencias que hemos pasado juntos, y por ser los mejores compañeros y amigos.

A mis abuelos:

Por el gran cariño que les tengo.

A mis familiares y amigos.

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar el agradecimiento para el Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada por todo el apoyo académico y financiero aportado para la realización de este trabajo.

Agradesco el apoyo total de mi director de tesis el Dr. Alfonso Reyes Zamora, y de los sinodales M.C. Francisco Suarez Vidal, Dr. Luis Munguia Orozco, M.C. Maria Amabel Ortega y M.C. Jose G. Acosta Chang, por la ardua labor de corrección y por los consejos para la mejor realización de esta tesis.

Agradesco tambien a los Investigadores, técnicos y secretarias del Departamento de Servicios Especiales. Luis, Carlos, Susy, Gustavo, Juan, Lydia, Vicky y Gina, y a las personas que laboran en el Centro de Computo y Biblioteca del CICESE, que con su ayuda facilitaron enormemente la elaboración de este trabajo.

Gracias por sus consejos a Saul, Juan Carlos, Carlos Eduardo y Alberto, y a todos los que de alguna manera contribuyeron para la elaboración de este trabajo.

Indice General.

I.	Introducción.....	1
II.	Objetivos.....	7
III.	Area de estudio.....	8
IV.	Modelo de fuente sísmica.....	14
V.	Metodología.	
	V.1 Obtención de datos.....	22
	V.2 Localización de hipocentros.	28
	V.3 Análisis espectral.....	30
VI.	Resultados y Discuciones.	
	VI.1 Localización de eventos..	43
	VI.2 Análisis espectral.....	73
VII.	Conclusiones.....	109
VIII.	Literatura citada.....	114

Lista de figuras.

Figura 1.	Esfuerzos aplicados en una zona de subducción	3
Figura 2.	Localización del área de estudio	10
Figura 3.	Acción de un doble par de esfuerzos (modificada de Udias, 1985)	16
Figura 4.	Características del espectro de Brune	20
Figura 5.	Distribución de la red de registro. Zona costa	23
Figura 6.	Registro de las tres componentes de velocidad del terreno	24
Figura 7.	Muestra del tipo de ventana para obtención de espectros	32

Figura 8a,b,c,d,e,f. Muestra del ajuste de corrección por atenuación	34
Figura 9. Histograma de frecuencia de errores horizontales de localización y diferencias ...	49
Figura 10. Histograma de frecuencia de errores verticales de localización y diferencias ...	50
Figura 11. Diferencias de localización	54
Figura 12. Distribución epicentral de réplicas posteriores al 21 de sept. 1985. Zona de vacancia sísmica de Michoacacán.....	55
Figura 13a. Distribución de réplicas en el estado de Michoacán. Zona I	57
Figura 13b. Distribución de réplicas en el estado de Guerrero. Zona II	57

Figura 14. Propuesta microplaca de Orozco. (tomada de Medina, 1988)	58
Figura 15. Histograma de profundidad de localización	63
Figura 16. Proyección a profundidad de hipocentros. Zona vacancia sísmica Michoacán.....	65
Figura 17a. Localización de perfiles principales.....	66
Figura 17b. Localización de perfiles auxiliares.....	66
Figura 18a. Proyección a profundidad de hipocentros. Zona I.....	67
Figura 18b. Proyección a profundidad de hipocentros. Zona II	67
Figura 19a,b. Perfiles auxiliares en la zona de vacancia sísmica Michoacán	69

Figura 20.	Histograma de ajuste de espectros. Tres canales de velocidad	77
Figura 21a,b,c,d.	Ejemplo de ajuste de e spectros.....	78
Figura 22.	Parámetros espectrales de fuente. Zona vacancia sísmica Michoacán	89
Figura 23.	Parámetros espectrales de fuente. Réplicas sismo San Fernando (tomado de Tucker y Brune, 1973)	91
Figura 24.	Histograma de frecuencia de Momento sísmico	97
Figura 25.	Contornos del Momento sísmico (dinas-cm).....	99
Figura 26.	Histograma de frecuencia de Caída de esfuerzos	101

Figura 27. Contornos de Caída de esfuerzos
(bares).....102

Figura 28. Histograma de frecuencias del
radio de la fuente104

Figura 29. Contorno de Radio de la fuente
(km).....105

Figura 30. Asociación de la sismicidad y
algunas características
geomorfológicas de la zona de
estudio. C. Placa Cocos. P.
Placa Pacífico. R. Placa
Rivera. La edad de las
anomalías magnéticas está en
millones de años. (Tomado de
Nixon, 1982).....108

Figura 31. Distribución de zonas sísmicas
en la zona de estudio. CPE.
Cordillera del pacífico del
este. PC. Placa de Cocos. FO.
Fractura Orozco. MPO.
Microplaca Orozco.....110

Figura 32. Esquema del sistema subductivo.

CPE. Cordillera del pacífico

del este. PC. Placa de Cocos.

FO. Fractura Orozco. MPO.

Microplaca Orozco...113

Lista de Tablas.

Tabla I.	Constantes de ajuste para instrumentos de registro	25
Tabla II.	Constantes de corrección por atenuación para cada estación de registro	40
Tabla III.	Eventos localizados. Zona de vacancia sísmica de Michoacán..	44
Tabla IV.	Registros localizados. Zona de vacancia sísmica de Michoacán..	46
Tabla V.	Diferencias de localización de registros digitales con respecto a los analógicos	51
Tabla VI.	Eventos localizados en la zona I. Michoacán	60
Tabla VII.	Eventos localizados en la zona II. Guerrero	62

Tabla VIII.	Especificaciones de los perfiles auxiliares	72
Tabla IX.	Tabla de ajustes espectrales	75
Tabla X.	Parámetros focales de la zona I. Michoacán	83
Tabla XI.	Parámetros espectrales de la zona II. Guerrero	87

SIMBOLOGIA.

$u(t)$ = desplazamiento del pulso a través del tiempo.

σ = esfuerzo efectivo.

μ = coeficiente de elasticidad de la roca.

β = Velocidad de propagación de ondas de cizalla.

r = radio de la fuente (dimensiones).

R = distancia de viaje de las ondas.

f = frecuencia.

w = frecuencia angular ($2\pi f$).

Ω_s = Amplitud del espectro de radiación de la onda S.

$R\phi\theta$ = cte. de dispersión de las ondas.

ρ = densidad de la roca (2.8).

M_0 = Momento sísmico.

$\Delta\sigma$ = Caída de esfuerzo.

f_c = frecuencia de esquina.

Ω_0 = amplitud máxima del espectro de Brune.

k = constante de atenuación de altas frecuencias.

Q = factor de calidad del terreno.

Q_0 = factor de calidad no dependiente de la frecuencia.

I. INTRODUCCION.

Los terremotos constituyen una de las catástrofes naturales más devastadoras y más aterradoras que existen. La cantidad de víctimas y las dimensiones de los daños materiales que pueden generar, son la mejor respuesta al porqué de la importancia que adquieren los estudios orientados hacia la comprensión de las características de la fuente que los origina.

Dichos estudios son de suma importancia para zonas como la costa del Pacífico en México, donde la subducción de la placa oceánica bajo la placa continental da origen a deformaciones generadas por la acumulación de esfuerzos, que al sobrepasar ciertos límites de elasticidad generan, entre otros efectos, terremotos de considerable magnitud, por lo cual México ha sido considerado como uno de los países con mayor actividad sísmica de consecuencias desastrosas.

Esto quedó comprobado históricamente con los temblores de Abril de 1907 ($M=8.1$) y Junio de 1911 ($M=7.75$) localizados frente a las costas de Guerrero y Michoacán respectivamente (Gutenberg y Richter, 1954; citados por Singh et al, 1980); y más recientemente con el temblor (Michoacán 1985) que sacudió a la Ciudad de México el 19 de septiembre de 1985 con una magnitud de 8.1 en la escala de Richter. Este último evento,

junto con su réplica del 20 de septiembre del mismo año (Ms=7.5), se localizaron frente a las costas del estado de Michoacán dentro de los límites de la zona de la Trinchera Mesoamericana.

El evento principal de 1985 trajo como consecuencia, que en una creciente densidad de población en la zona de la Ciudad de México, se arrojara el terrible resultado de 20,000 muertos, una gran cantidad de heridos y cuantiosas pérdidas materiales (Nava, 1987), demostrando que en la región costera de los estados de Michoacán y Guerrero, caracterizada por la convergencia entre placas del sistema subductivo Cocos-Norteamérica, presenta un gran potencial para la generación de eventos sísmicos de magnitudes considerables y de consecuencias desastrosas para la población.

La generación de los eventos sísmicos en estos sistemas tectónicos, se lleva a cabo al romperse los procesos de equilibrio que previenen el deslizamiento de la placa oceánica bajo la placa continental y liberando una gran cantidad de la energía acumulada por los esfuerzos que se aplican en la frontera de interacción entre ambas placas (Figura 1).

El relajamiento de los esfuerzos en dichas zonas se realiza de diferentes formas: sismos someros con mecanismos de un campo de esfuerzos tensional y de baja magnitud son

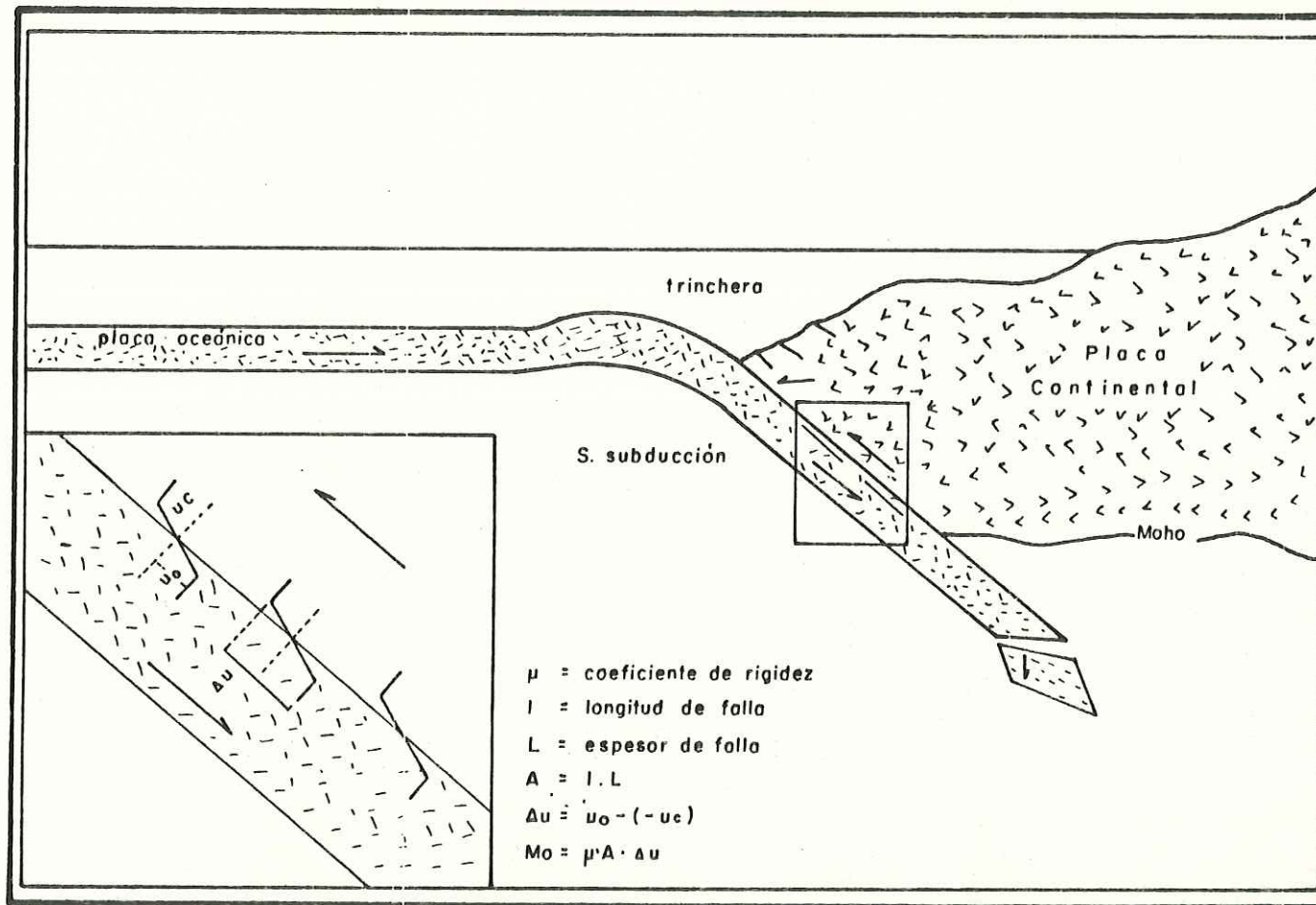


Figura 1. Distribución de esfuerzos en un sistema subductivo.

producidos en la parte distal del complejo de subducción y generados por las fuerzas de empuje aplicadas por las dos placas en la zona de la trinchera, originando fallamientos en la superficie de la placa oceánica. Sismos de profundidad intermedia, mecanismos compresionales y de considerable magnitud se llevan a cabo en la frontera de las dos placas, producidos por el cizallamiento efectuado por éstas al romperse el equilibrio de los mecanismos encadenados al proceso de subducción. Por último, sismos profundos con mecanismos de tensión y magnitudes variables se producen en la parte final de la placa oceánica y bajo la corteza continental, debido a los rompimientos que sobre dicha placa produce la fuerza de su propio peso en el proceso de subducción (Nava, 1987).

Posteriores al evento sísmico principal, se suceden una serie de reajustes sobre el plano de falla, ocasionados por la tendencia hacia un nuevo equilibrio por parte de los esfuerzos generadores de la dislocación. Dichos reajustes generan eventos de pequeñas magnitudes que en conjunto reciben el nombre de réplicas, definiendo generalmente la zona del plano de falla, y localizándose el evento principal en uno de los extremos de dicho plano (Eaton et al, 1970; Kelleher et al, 1978).

Los análisis de evaluación del riesgo sísmico sobre la estructura urbana, requieren de estudios orientados hacia el

entendimiento de la generación de ondas sísmicas de consecuencias desastrosas, indispensables en la planeación del desarrollo de asentamientos urbanos. Sin embargo, uno de los problemas para llevar a cabo dicha evaluación, es la incertidumbre sobre la fuente que origina las características destructivas de un terremoto, o fuente del peligro. La explicación sobre origen de dichas características recae en tres hipótesis que son las más aceptadas :

A) La acumulación de grandes cantidades de energía en las frecuencias espectrales altas, originadas por características de la fuente.

B) Generación a lo largo de la trayectoria de propagación, de frecuencias intermedias que amplifiquen las amplitudes máximas y el contenido de energía en esa porción del sismograma.

C) Características geoestructurales de la zona de daño sísmico, que de alguna manera amplifiquen el movimiento del terreno.

En base a todo lo anterior, podemos recalcar la importancia que tienen los estudios orientados al entendimiento de los mecanismos de falla en zonas de gran potencial generador de eventos sísmicos de considerable magnitud, como lo son los sistemas de convergencia de placas, para el entendimiento de los procesos asociados en la evaluación del riesgo sísmico, y que a su vez conlleven al establecimiento de medidas preventivas para reducir las

consecuencias destructivas ocasionadas por los terremotos.

En los últimos años la sismología ha progresado mucho gracias a los adelantos tecnológicos en el registro de los eventos sísmicos, logrando una agilización en los procesos de análisis de distribución y de características de los mecanismos generadores de temblores.

En un principio los registros se realizaban en papel ahumado o por medio de impresiones de tinta sobre tambores rotantes, estos registros continuos en el tiempo son llamados analógicos y su principal problema consiste en la dificultad para su transformación a lenguaje de computadora para su posterior procesamiento. De igual manera las características de este tipo de registros limitan la exactitud de las lecturas y análisis en los tiempos de arribo y formas de onda de un sismograma en los procesos de registro y transferencia.

Actualmente, existe la alternativa de un registro de datos sísmicos realizado por medio de grabaciones discontinuas en el tiempo a una razón de 100 a 150 datos por segundo, mediante el uso de casetes del tipo digital, o en memoria de estado sólido. De esta manera, los registros digitales agilizan el procesamiento de los datos, permitiendo a la vez una mayor precisión en las mediciones de dichos registros sísmicos.

II. OBJETIVO :

Determinar la distribución y características de los parámetros sísmicos de fuente para las réplicas del evento de Michoacan 1985, y su asociación con los procesos tectónicos de subducción de la placa oceánica de Cocos. Lo anterior en base a:

- 1.- Analizar diferencias de localización entre registros analógicos y digitales.
- 2.- Determinar distribución y características de los parámetros de la fuente.

III. AREA DE ESTUDIO :

El desastroso sismo registrado en septiembre de 1985 y sus respectivas réplicas tuvieron su origen frente a las costas del estado de Michoacán, en la zona del Pacífico de la república Mexicana. El evento principal estuvo compuesto por dos subeventos (dobletes) separados entre sí por una diferencia de 25 a 27 segundos y una distancia de 70 a 95 km, con localizaciones epicentrales en (18.141°N, 102.707°W) y (17.618°N, 101.815°W) respectivamente (Grupo sismológico de la UNAM, 1986; Ekstrom y Dziewonski, 1986; Prestley y Mansters, 1986; Houston y Kanamori, 1986).

Las características de los parámetros focales calculados para el evento principal, son los siguientes:

Momento Sísmico	Caída de esfuerzos	Area	Deslizamiento	Alineación	
dinas - cm	bares	m ²	cm	grados	
1.03E 28			268	298°	1
1.00E 28				288°	2
0.93E 28	19	170x50	220		3
1.10E 28					4

- 1.- Prestley y Mansters, 1986 ; 2.- Eissler et al, 1986
3.- G. S. UNAM, 1986 ; 4.- Ekstrom y Dziewonski, 1986.

La localización de este evento lo ubica dentro de la zona de vacancia sísmica denominada GAP de Michoacán (Singh, 1980), el cual tiene una extensión de 150 Km (Figura 2) y está limitado entre las áreas de origen del sismo de Colima (Enero 10, 1973; Ms=7.5) y el sismo de Petatlán (Marzo 14, 1979; Ms=7.6), sobre las coordenadas $17^{\circ}30' N$ y $101^{\circ}14' W$ y $19^{\circ}39' N$ y $103^{\circ}49' W.$, zona anteriormente asignada a una categoría 3 (historia incompleta de sismos grandes, sin documentación histórica sobre un evento que rompa el límite de placas, etc.), (Havskov et al, 1983).

Desde 1911 no se había registrado un evento mayor (Ms>7.5) hasta la ocurrencia del temblor de Petatlán (Singh et al, 1980), y ocho años después el de Michoacán. Esta zona había sido considerada ya como un área susceptible a ruptura (Reyes et al, 1979), asociándosele períodos de recurrencia sísmica anormalmente largos (Singh et al, 1981).

La costa del Pacífico Mexicano se encuentra sísmicamente dominada por el sistema de subducción de la Trinchera Mesoamericana, que se extiende desde la boca del Golfo de California, hasta el extremo sur del país, en Chiapas, continuándose por Centro y Sudamérica hasta la Tierra del Fuego (Nava, 1987).

La zona de convergencia de placas frente a las costas

La localización de este evento lo ubica dentro de la zona de vacancia sísmica denominada GAP de Michoacán (Singh, 1980), el cual tiene una extensión de 150 Km (Figura 2) y está limitado entre las áreas de origen del sismo de Colima (Enero 10, 1973; Ms=7.5) y el sismo de Petatlán (Marzo 14, 1979; Ms=7.6), sobre las coordenadas $17^{\circ}30' N$ y $101^{\circ}14' W$ y $19^{\circ}39' N$ y $103^{\circ}49' W.$, zona anteriormente asignada a una categoría 3 (historia incompleta de sismos grandes, sin documentación histórica sobre un evento que rompa el límite de placas, etc.), (Havskov et al, 1983).

Desde 1911 no se había registrado un evento mayor (Ms>7.5) hasta la ocurrencia del temblor de Petatlán (Singh et al, 1980), y ocho años después el de Michoacán. Esta zona había sido considerada ya como un área susceptible a ruptura (Reyes et al, 1979), asociándosele períodos de recurrencia sísmica anormalmente largos (Singh et al, 1981).

La costa del Pacífico Mexicano se encuentra sísmicamente dominada por el sistema de subducción de la Trinchera Mesoamericana, que se extiende desde la boca del Golfo de California, hasta el extremo sur del país, en Chiapas, continuándose por Centro y Sudamérica hasta la Tierra del Fuego (Nava, 1987).

La zona de convergencia de placas frente a las costas

mexicanas cuenta con una longitud de 1700 km (Nava, 1987). Desde Colima hasta Panamá la placa subducida es la de Cocos, su velocidad de subducción bajo la placa Norteamericana va de 5 cm/año cerca de la frontera con Jalisco, hasta 8.3 cm/año cercano a la frontera con Guatemala, con un azimut de 37° (McNally y Minister, 1981). El echado cambia a lo largo de la trinchera ; 9° en Michoacán, 12° cerca de Acapulco y 14° bajo Oaxaca, a través de toda la placa la actividad es más bien somera, menor a 300 km (Nava, 1987).

En general, se ha observado que los sismos de mayor intensidad se dan en las zonas más jóvenes o de bajo ángulo de echado. Esto podría explicarse tentativamente indicando que los esfuerzos compresivos entre las placas, que son un factor en las fuerzas de fricción entre ellas, son menores si la placa subducida es tirada hacia abajo por su propio peso, tendiendo a separarse por ello de la placa subducente (Nava, 1987).

El análisis preliminar sobre la proyección de réplicas a profundidad, obtenida a partir de lecturas analógicas, para la zona de réplicas del sismo de Michoacán 1985 (Mendoza et al, 1987), en un perfil perpendicular a la línea batimétrica de los 4550 m (azimut de 26°), supuesta como eje de trinchera, muestra que la mayoría de la actividad sísmica se encuentra entre los 40 y 130 km de distancia desde el eje de la trinchera y con profundidades no mayores a los 30 Km, definiendo sobre la zona

de convergencia de placas, un ángulo de subducción de 12.5° . Por otro lado, la zona de Wadatti-Benioff se presenta con aproximadamente 10 km de espesor y un ángulo de subducción de 14° en un perfil con orientación $N23^{\circ}E$, (Stolte et al, 1986).

Una de las características geológicas más relevante de esta zona, es el sistema de fallas asociadas a la Transformada de Orozco, que une desplazamientos de crestas del Pacífico Oriental y separa las placas de Cocos y del Pacífico, y que constituyó probablemente la frontera entre las placas Rivera y Cocos separando corteza oceánica cuya diferencia de edad es de aproximadamente dos millones de años (Mamerickx y Klitgord, 1982; cita de Nava, 1987).

Recientemente, una zonificación de la placa de Cocos ha distinguido dos áreas de diferente recurrencia sísmica, separadas por la fractura Orozco. La primera comprende los estados de Oaxaca, Guerrero y parte de Michoacán, contando con períodos de reposo entre eventos fuertes ($M_s > 7$) de cada 10 años promedio, mientras que la segunda, que comprende los estados de Colima y parte de Michoacán mantiene una frecuencia sísmica con períodos de reposo de un evento fuerte cada 24.5 años, de tal manera que la fractura Orozco pueda ser considerada como el límite Norte de la placa de Cocos y la zona comprendida hasta el antiguo límite sea denominada la microplaca Orozco (Medina y Espíndola, 1987).

Posterior al evento de Michoacán (1985) se realizó una intensiva instrumentación del área por parte de varias instituciones de investigación, con el fin de estudiar sus réplicas.

La gran cantidad de eventos reportados (Havskov et al,1983; Singh et al,1980; Acosta, 1980) la definen como la zona sísmica más activa del país.

IV. MODELO DE FUENTE SISMICA.

IV.1 Generación y propagación de ondas sísmicas.

Un modelo de fuente de sismos muy popular es una falla larga y delgada a través de la cual se propaga una ruptura en un tiempo determinado. Este modelo es razonable para sismos fuertes en zonas de subducción y para sismos moderados en fallas someras (Molnar et al, 1973).

Argumentos en su favor son : la concordancia excelente entre los diferentes cálculos que toman como base este mecanismo y las observaciones de campo sobre sistemas de falla; la concordancia entre la localización de focos sísmicos y alineamientos de sistemas de falla como por ejemplo, los eventos localizados al Sur de California asociados al sistema de fallas de San Andrés (Brune y Allen, 1967; Allen, 1965; citas de Rascón, 1968); y la correlación entre sismos profundos y la alineación paralela al continente de grandes profundidades asociadas a las trincheras y a grandes zonas de subducción de placas oceánicas (Benioff, 1949; cita de Nava, 1987).

En este modelo, el esfuerzo efectivo (σ) ejercido sobre una roca se incrementa tan rápidamente que ésta puede comportarse plásticamente. Sin embargo, si se incrementa tanto

que sobrepase el coeficiente de elasticidad de la roca (μ) sin poder deformarse elásticamente, se producirá una ruptura, es decir, el inicio de lo que será una falla capaz de producir un desplazamiento neto.

En una falla con mecanismo de cizalla, el par de esfuerzos aplicados sobre cada uno de sus lados dará origen a un pulso de esfuerzo tangencial, definido como dislocación, aplicado hacia el interior de la falla con una intensidad conocida como Momento sísmico.

En los límites de la falla, las condiciones de frontera requieren de la compresión y rarefacción del medio, originando un segundo par de esfuerzos, cuyo movimiento será normal al plano de falla y con un Momento angular de signo opuesto al originado por los esfuerzos tangenciales, dando como resultado un Momento angular neto igual a cero (Figura 3).

Al romperse el equilibrio de fuerzas, se produce una ruptura a lo largo del plano de falla, que a su vez genera un pulso que se propagará a través del tiempo (t), con velocidad de cizalla (β) en dirección perpendicular a la superficie de dislocación, quedando definido su desplazamiento ($u(t)$) como :

$$u(t) = (\sigma / \mu) \beta t \quad \text{para } t > 0$$

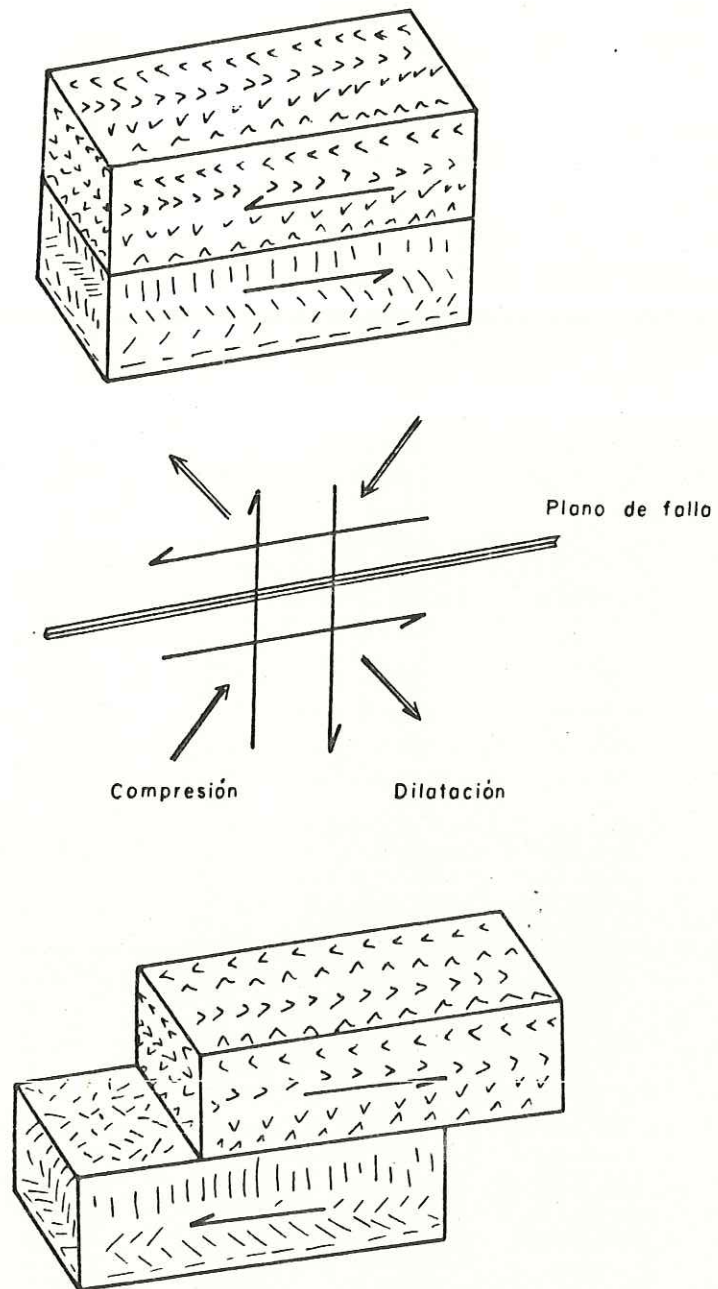


Figura 3. Acción de una doble nareja de esfuerzos.
(Modificada de Urdias, 1985).

Al propagarse las ondas producidas por la ruptura a distancias mayores a las dimensiones de la fuente, la difracción sobre el lado opuesto de la falla (en este caso corteza continental) reducirá la amplitud de las bajas frecuencias en forma exponencial por medio de un factor de decaimiento del orden de $[r/\beta]$, que es multiplicado por una función que involucra la distancia de viaje (R), $f(r/R)$ y en la que se incluye la dispersión de las ondas en coordenadas esféricas ($R\theta\phi$), dando como resultado la función de desplazamiento de campo lejano en el tiempo definida por Brune (1970):

$$u(t) = \sigma / \mu\beta f(r/R) t' (e^{-\alpha t'})$$

$$\text{donde } t' = t - (R/B)$$

$$\text{y } \alpha = 2.34 \beta/r$$

IV.2 Espectro de amplitud.

Para conocer las características de fuente y comportamiento de las ondas a lo largo de su trayectoria de propagación, es de gran utilidad el análisis del contenido de amplitudes en sus serie de tiempo, este análisis se realiza en el dominio de las frecuencias (w) por medio de una transformada rápida de Fourier y cuya magnitud absoluta en función de la frecuencia, se conoce como Espectro de amplitudes.

En el caso del modelo de propagación de Brune, la transformada de Fourier de la serie de tiempo queda definido por :

$$\Omega(w) = f(r/R)(\sigma\beta/\mu) 1/(w^2 + \alpha^2)$$

Determinando las condiciones para f y para α , y tomando la más aceptada definición de $R\theta\phi=0.84$, el espectro de radiación de Brune para ondas S de campo lejano, bajo una doble pareja de esfuerzos se define como :

$$\Omega s(f) = 0.84M_0 \frac{(2\pi f)^2}{4\pi\beta^3 R [1+(f/f_c)^2]}$$

Donde la frecuencia de esquina (f_c) se describe como :

$$f_c = 0.49(\Delta\sigma/M_0)^{\frac{1}{3}} \beta$$

Para este modelo la Caída de esfuerzos ($\Delta\sigma$) representa el cambio total en los esfuerzos de la región focal (diferencia entre el estado inicial y el que existe después que ha tenido lugar el deslizamiento); en cambio el momento sísmico (M_0) es el escalar que representa el tamaño del terremoto, obtenido a partir del tensor de momento sísmico (esfuerzo en exceso del elástico, es decir, la parte del esfuerzo no elástico), (Udías et al, 1985).

La forma que toma dicho Espectro presenta características muy definidas, y éstas se encuentran relacionadas con los parámetros de la fuente. Un comportamiento constante de las amplitudes en las bajas frecuencias es proporcional al Momento sísmico (M_0) a través del valor (Ω_0) de amplitud máxima del Espectro; una frecuencia de esquina (f_c) límite de inicio de la siguiente característica, es proporcional al recíproco de las dimensiones de la fuente (r); y un decaimiento en el contenido de amplitudes en las altas frecuencias del tipo (f/f_c) es proporcional al factor de atenuación, representado por la pendiente en dicha parte del Espectro (Figura 4).

El decaimiento espectral en las altas frecuencias encuentra su mejor ajuste en la aplicación del modelo de decaimiento w-cuadrático ($\gamma=2$) (Hanks, 1979; Anderson y Hough, 1984; Luco, 1985). De la misma manera, el espectro de altas frecuencias es descrito típicamente como un decaimiento exponencial (Anderson, 1984), de la forma :

$$\Omega_s(f) = \Omega(f) e^{-\pi k f} \quad \text{para } f > f_c$$

El parámetro de decaimiento espectral (k) está en función de la distancia $k(R) = k_0 + mR$, sin embargo esta relación lineal no es definitiva (Hough y Anderson, 1987), considerando a k_0 como un efecto de sitio en la capa de intemperismo y que la pendiente $mR = dk/dR$ es un efecto regional que describe la

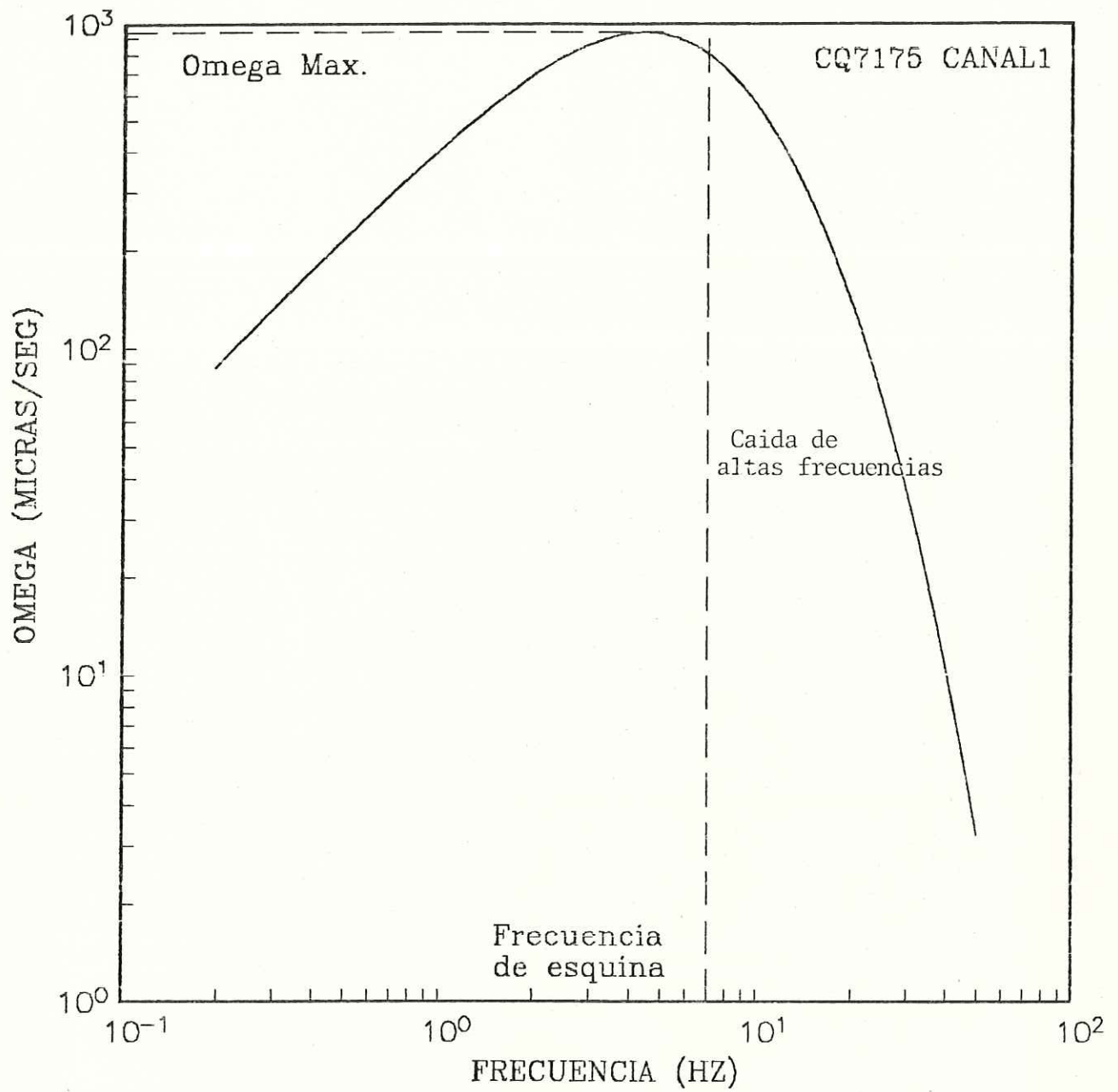


Figura 4. Características del espectro de Brune.

atenuación total a lo largo de la trayectoria del rayo.

Al depender la atenuación de las características del medio de propagación, se hizo necesaria la definición de un factor que involucrara la calidad del terreno (Q) dependiente de la distancia y de la frecuencia :

$$1/Q(f,z) = 1/(Q_0(z) + 1/Q(z)f)$$

Contribuyendo al factor de atenuación (k) de la siguiente manera :

$$k(R) = R/(Q\beta)$$

Es de esta manera como retomando el modelo espectral de Brune, Anderson (1984), define así el Espectro de amplitudes :

$$\Omega s(f) = 0.84M_0 \frac{(2\pi f)^2}{4\pi\rho\beta^3 R [1+(f/f_c)^2]} e^{-\pi f k}$$

V. METODOLOGIA :

V.1 Obtención de datos :

Se trabajó sobre una base de datos generada con las redes sismográficas operadas por el CICESE y por la UNAM, situadas a lo largo de la costa del Pacífico en los estados de Michoacán y Guerrero, e instaladas a partir del 19 de septiembre de 1985 (Figura 5) .

Los registros digitales de las tres componentes de velocidad del terreno (Figura 6) se obtuvieron de 6 estaciones controladas por el C.I.C.E.S.E. : Río Chiquiapan, Río Chuta, Nexpa, La Unión, Presa la Villita y Zihuatanejo. Las estaciones constan de sismómetros de periodo corto (frecuencia natural $f_n=1\text{Hz}$) MARK con grabadoras DCS302 de registro digital de alta densidad (100 datos por segundo) que guarda los datos en casetes digitales, y contando con el control de tiempo interno que se compara con la señal de código de tiempo internacional WWVB para la obtención de la corrección por deriva del aparato. Se contó además con datos de dos estaciones de la UNAM : Manzanilla y Papanoa, registradas en sismógrafos DR801/TRIA de alta densidad y control de tiempo. Las constantes a las cuales fueron ajustados dichos aparatos se muestran en la Tabla I .

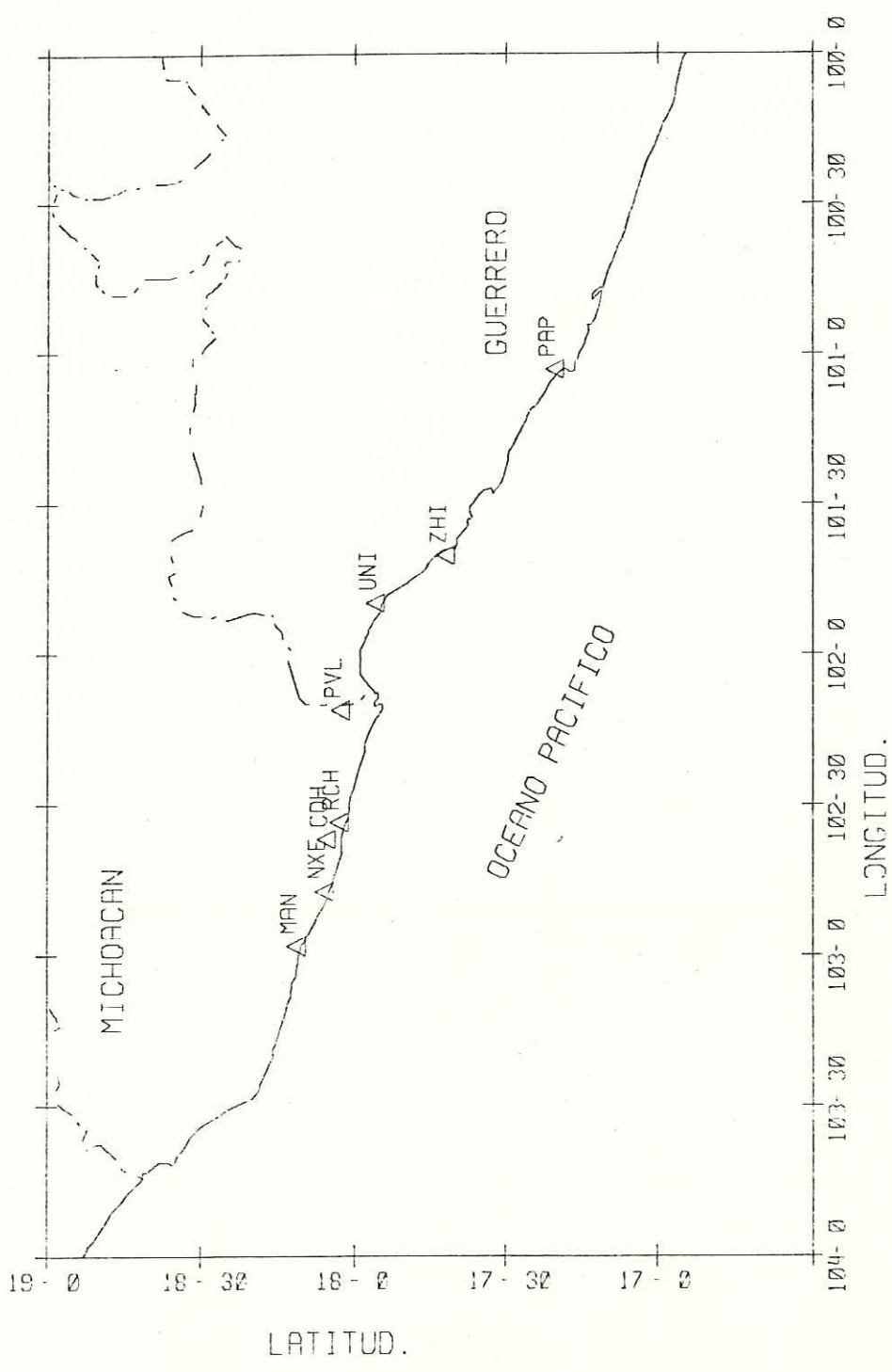


Figura 5. Distribución de la red de registro Zona costa.

REGISTRO	: MA7096	LOCALIZACION	: 18-01.35 102-55.22
MICHOACAN 85		TIEMPO DE ORIGEN	: 850925 07:32 21.24
DISTANCIA EP. (KM)	: 19.00	INSTRUMENTO	: DR8019/TRIA7690
PROFUNDIDAD (KM)	: 19.13	ORIENTACIONES	: V/N-S/E-W
ACIMUT	: 344	GANANCIAS	: 251 / 251 / 251

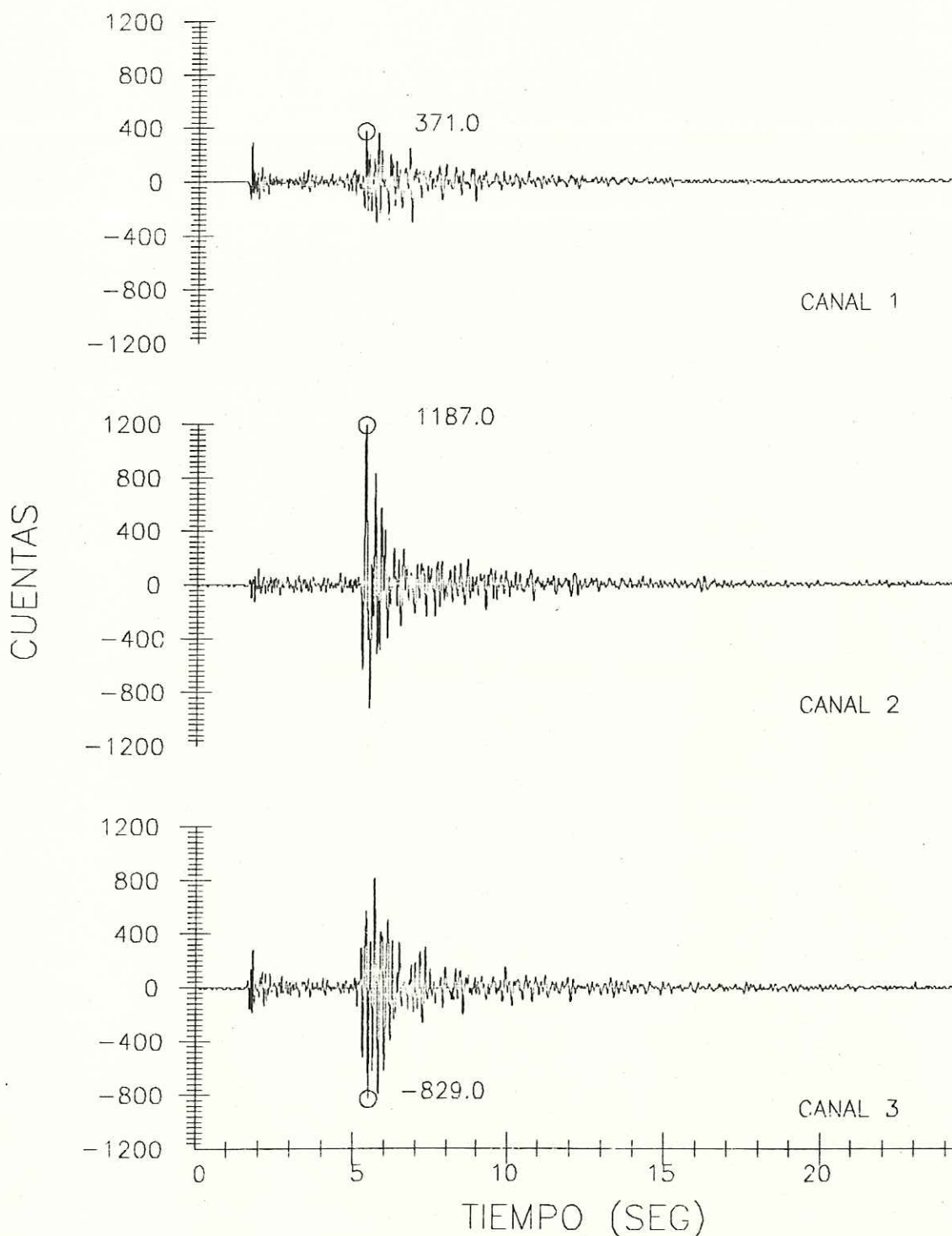


Figura 6. Registro de las tres componentes de velocidad del terreno.

Tabla I. Constantes de ajuste de los instrumentos de la red sismologica Michoacan costa.
estaciones operadas por el CICESE.

Inicio	Final	Instrumento	Orientacion	Ganancias	Am	To	G	Am	To	G	Am	To	G
RIO CHUTA (RCH)													
852662031852771816		DCS302/Hark	U/N-S/E-W	10/ 10/ 10	0.28	1.00	2.75	0.28	1.00	2.86	0.28	1.00	2.83
852771817852781419		DCS302/Hark	U/N-S/E-W	10/ 50 250	0.28	1.00	2.75	0.28	1.00	2.86	0.28	1.00	2.83
LA UNION (UNI)													
852661859852672036		DCS302/Hark	U/N-S/E-W	50/ 50/ 50	0.28	1.05	2.86	0.28	1.00	2.64	0.28	1.04	2.80
852771817852781419		DCS302/Hark	U/N-S/E-W	10/ 10/ 10	0.28	1.05	2.86	0.28	1.00	2.64	0.28	1.04	2.80
RIO CHIQUIAPAN (CHQ)													
852671942852781636		DCS302/Hark	U/N-S/E-W	10/ 10/ 10	0.28	1.03	2.80	0.28	0.98	2.83	0.28	1.01	2.77
PRESA LA VILLITA (PLU)													
852751816852781726		DCS302/Hark	U/N-S/E-W	50/ 50/ 50	0.28	1.05	2.78	0.28	0.98	2.85	0.28	1.00	2.80
ZIHUATANEJO (ZIH)													
852650000052671938		DCS302/Hark	U/N-S/E-W	10/ 10/ 10	0.28	1.03	2.80	0.28	0.99	2.80	0.28	1.00	2.64
852750210852760000		DCS302/Hark	U/N-S/E-W	50/ 50 50	0.28	1.03	2.80	0.28	0.99	2.80	0.28	1.00	2.64
NEXPA (NEX)													
852661626852780000		DCS302/Hark	U/N-S/E-W	10/ 10/ 10	0.28	1.00	2.83	0.28	1.05	2.76	0.28	1.01	2.74

Am = CTE. DE AMORTIGUACION DEL INSTRUMENTO.
To = PERIODO NATURAL DEL INSTRUMENTO.
G = CTE. DE MAGNIFICACION DEL INSTRUMENTO.

Tabla I. Constantes de ajuste de los instrumentos de la red sismologica Michoacan costa, estaciones operadas por el CICESE.

Inicio	Final	Instrumento	Orientacion	Ganancias	Am	To	G	Am	To	G	Am	To	G
PAPANOA (PAP)													
852712257852721840		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	1000/1000/1000	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16
852721848852802118		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	126/ 126/ 126	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16
852802122852821748		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	251/ 251/ 251	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16
852821755852862130		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	126/ 126/ 126	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16
852862131852901838		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	251/ 251/ 251	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16
852901839852972239		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	126/ 126/ 126	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16
NAZANILLA (NAN)													
852642038852650416		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	1000/1000/1000	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16
852651900852792310		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	251/ 251/ 251	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16
852792312852832045		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	501/ 501/ 501	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16
852832050852972239		DR0017/TRIA768	U/N-S/E-W	251/ 251/ 251	1.60	0.53	1.15	1.60	0.56	1.13	1.60	0.55	1.16

Am = CTE. DE AMORTIGUACION DEL INSTRUMENTO.
 To = PERIODO NATURAL DEL INSTRUMENTO.
 G = CTE. DE MAGNIFICACION DEL INSTRUMENTO.

Los datos sísmicos grabados en casetes magnéticos y obtenidos de estas estaciones permitieron compilar una base de 178 eventos que se registraron en diferentes estaciones, generando un total de 329 registros, conteniendo tres componentes de velocidad cada uno, a lo largo del intervalo comprendido del 21 de septiembre al 5 de octubre de 1985.

El procedimiento estandar para obtención de base de datos contiene los siguientes niveles :

- A) Lectura de casetes.
- B) Edición de registros.
- C) Depuración de datos.

A) Lectura de casetes: Comprende la transferencia de los registros digitales del casete a los bancos de memoria del sistema PRIME 350 a través de la lectora TERRA TECHNOLOGY, para su posterior almacenamiento en cintas magnéticas, así como la documentación de los registros con las especificaciones de campo contenidas en las tarjetas de control de los casetes.

B) Edición de los registros: Este proceso consiste en la separación por archivos de los registros sísmicos del ruido civil o de señales indeseables que pudieran estar contenidas en el casete. Cada uno de estos archivos incluye las especificaciones de campo y de control de aparatos así como un nombre asignado por medio de los listados de eventos

localizados previamente con registros analógicos.

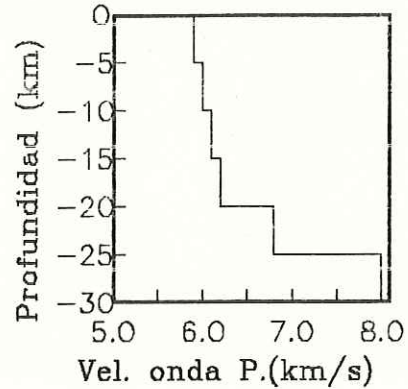
C) Depuración de eventos : Este proceso consiste en el limpiado de los registros, eliminando los picos espurios (registros aleatorios ajenos a la señal del sismo, originados por efectos instrumentales) y cualquier tipo de efecto que enmascare o distorciona la señal. En este nivel se realiza también una eliminación de los registros de acuerdo a sus características de arribo, la selección se realiza de acuerdo a los parámetros de mejor apreciación , tiempo de duración y fase para poder determinar el tipo de análisis espectral adecuado para su observación.

V.2 Localización de hipocentros :

Los cálculos de las coordenadas hipocentrales se llevaron a cabo mediante el uso del programa HYPO71 (Lee y lahr, 1979), y las diferencias de tiempo de arribo entre ondas P y S, para eventos registrados en al menos tres estaciones.

Para tal efecto, se utilizó un modelo de capas planas (Reyes et al, 1979) para la onda P, y una razón de velocidad de ondas $V_p/V_s=1.78$ para el cálculo de velocidad de la onda S. El modelo se describe a continuación:

Velocidad	Profundidad
5.80	0.00
5.90	5.00
6.00	10.00
6.10	15.00
6.20	20.00
6.80	25.00
8.00	30.00



La técnica de localización depende de la inclusión mínima de tres lecturas de registro por evento sísmico para la obtención de los parámetros de origen, por lo cual las lecturas de tiempo para registros digitales se incorporaron a previas localizaciones analógicas elaboradas por el M.C. Luis Mendoza Garcilazo *, mediante las diferencias de tiempo de arribo de las ondas P y las ondas S, descartandose de esta manera los que fueron imposibles de localizar. El efecto de esta incorporación se presenta en la diferencia de los errores horizontales y verticales de la localización del evento y que el mismo programa calcula.

El análisis de las distribuciones hipocentrales se realiza en tres fases.

A) Diferencias de localización : las tendencias de relocalización por inclusión de los tiempos provenientes de los registros digitales, se verá reflejada en el análisis de las diferencias en los parámetros de localización (distancia,

* Departamento de Servicios especiales CICESE.

profundidad, dirección), con respecto a los obtenidos solo con los registros analógicos.

B) Distribución horizontal : la distribución de epicentros (proyección superficial de hipocentros), se realiza gráficamente por medio del mapeo de las coordenadas de origen de cada evento sísmico. Se incluye una zonificación del registro sísmico por medio de un análisis del agrupamiento preferencial de los eventos.

C) Distribución Vertical : la proyección a profundidad de los hipocentros localizados, se obtiene a lo largo de perfiles trazados sobre los agrupamientos preferenciales de eventos y con las orientaciones y distancias que dicten éstos. Las características de subducción de la placa oceánica son obtenidas a partir de este análisis.

V.3 Análisis espectral :

A) Obtención de espectros y parámetros focales : el espectro de amplitud de los diferentes registros se obtiene mediante la magnitud de la Transformada Rápida de Fourier de la serie de tiempo, representada por el sismograma, a partir de una porción determinada de la onda S, seleccionada por ser el tipo de onda que representa la mayor cantidad de energía para

una falla de cizalla, como es el caso de sismos en una zona de frontera de placas en subducción. La porción del sismograma utilizada para tal efecto tiene como condicionante una ventana no mayor al triple de la máxima amplitud a partir del primer pulso de la onda S, con el fin de evitar la inclusión de señales de coda que interfieran con el análisis (Figura 7).

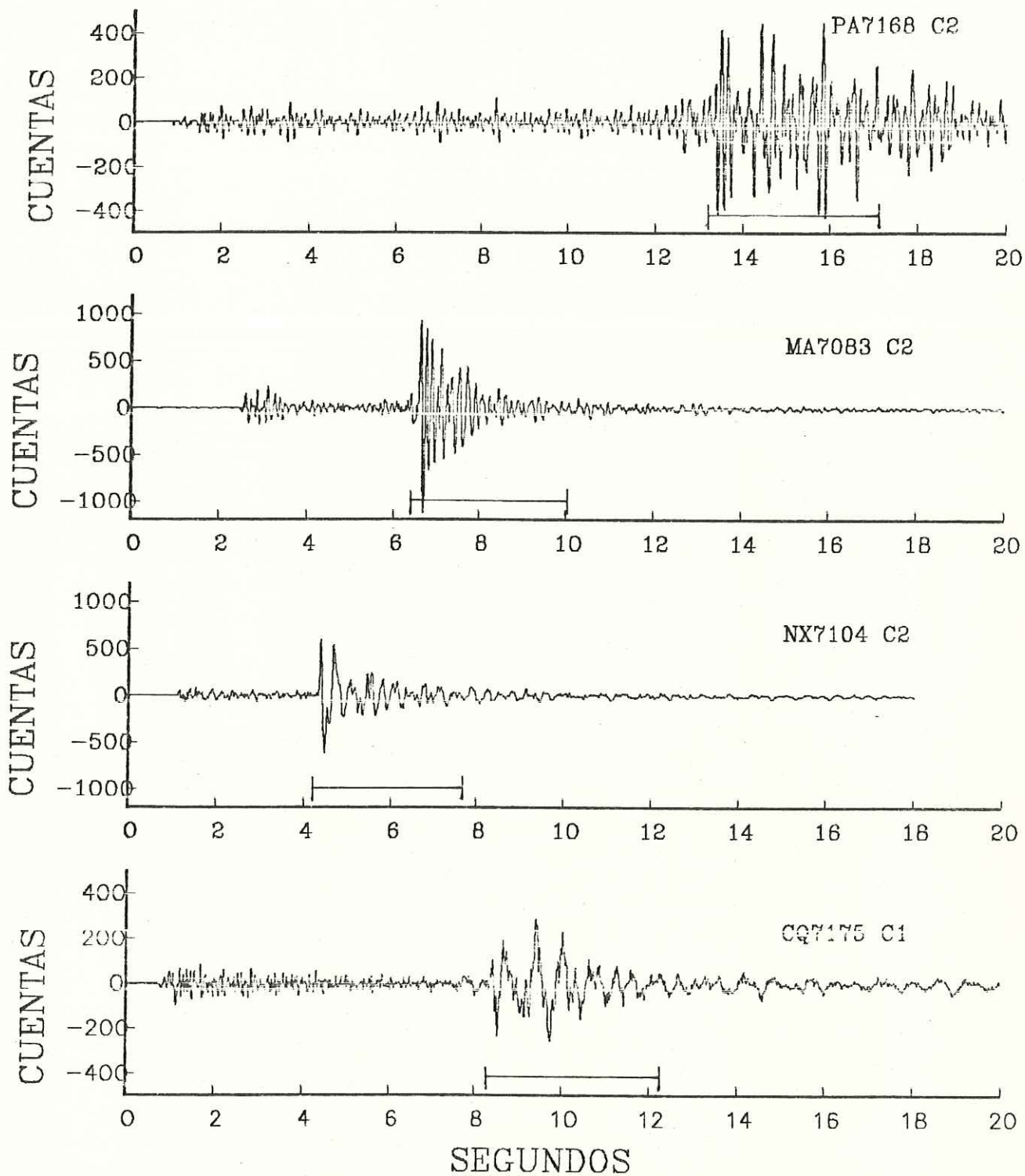
El espectro observado es ahora corregido en amplitud por la respuesta del sismógrafo en el cual fue registrado y por los factores de atenuación por propagación de ondas, de la siguiente manera :

Corrección instrumental: el espectro observado es dividido en amplitud por el espectro de respuesta del aparato (magnificación dinámica y filtro antialias), a partir de sus constantes de ajuste (Tabla I).

Corrección por propagación: el efecto de ampliación del frente de onda que disminuye las amplitudes de las ondas, del tipo de las que sufren las ondas esféricas, se corrige suponiendo una tierra plana y una velocidad de propagación media constante mediante el factor de corrección (Ben-Menahem y Singh, 1972) :

$$G = 1/R$$

G = factor de expansión geométrica
R = Distancia epicentral



Figuro 7. Muestra del tipo de ventana para la obtención de espectros.

La atenuación de la amplitud de las ondas por el efecto inelástico del medio de propagación, se corrigió por medio de la relación de atenuación de Anderson (1984) :

$$\Omega_s(f) = \Omega_0(f) e^{-\pi f k}$$

Donde el factor de atenuación (k) involucra al factor de calidad del terreno (Q), $k=R/(Q\beta)$ y que se define ahora en función de la frecuencia siendo, $Q(f) = Cf$, donde las constantes C y x son el resultado de una regresión lineal de los datos de atenuación de ondas de cuerpo S para diferentes frecuencias.

Esta corrección se aplicó a los eventos de las estaciones Manzanilla y Papanoa, de las cuales se disponían datos de atenuación (Acosta-Chang, 1988, comunicación personal*). Para las estaciones restantes se realizó un ajuste de amplitudes entre series de registros que representaban el mismo evento (Figura 8a,b,c,d,e,f), por medio de la variación de las constantes de atenuación y tomando como base de nivel los registros de las estaciones corregidas por atenuación. Se obtiene así la constante del factor de calidad para cada estación (Tabla II).

B) Ajuste de espectros y obtención de parámetros focales : el espectro observado y corregido es ajustado ahora a un modelo

* Departamento de Servicios especiales CICESE.

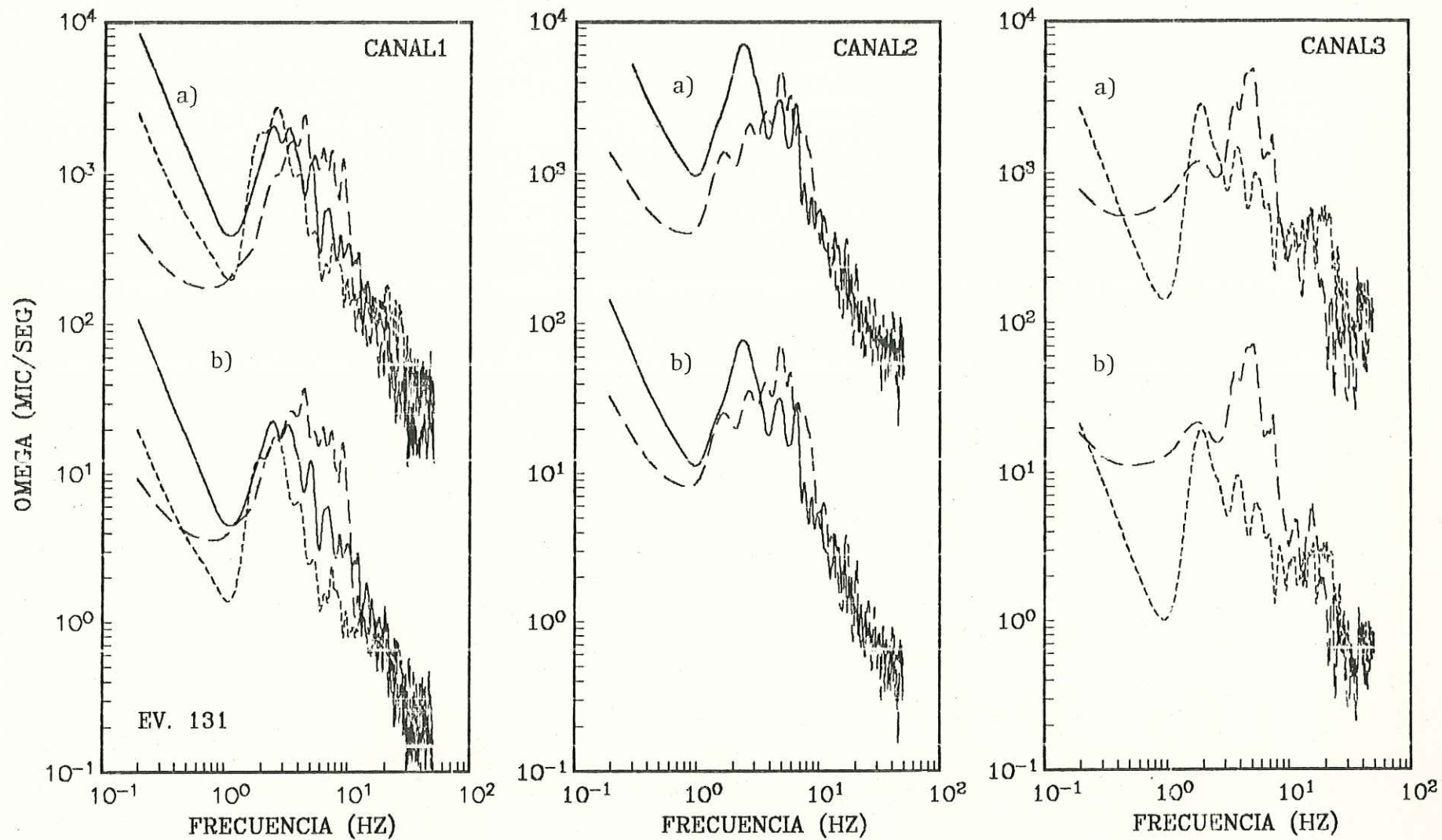


Figura 8a. Muestra del ajuste de corrección por atenuación.

Nexpa—— Manzanilla---- Chiquiapan----

a)Espectros corregidos b)Espectros sin correccion.

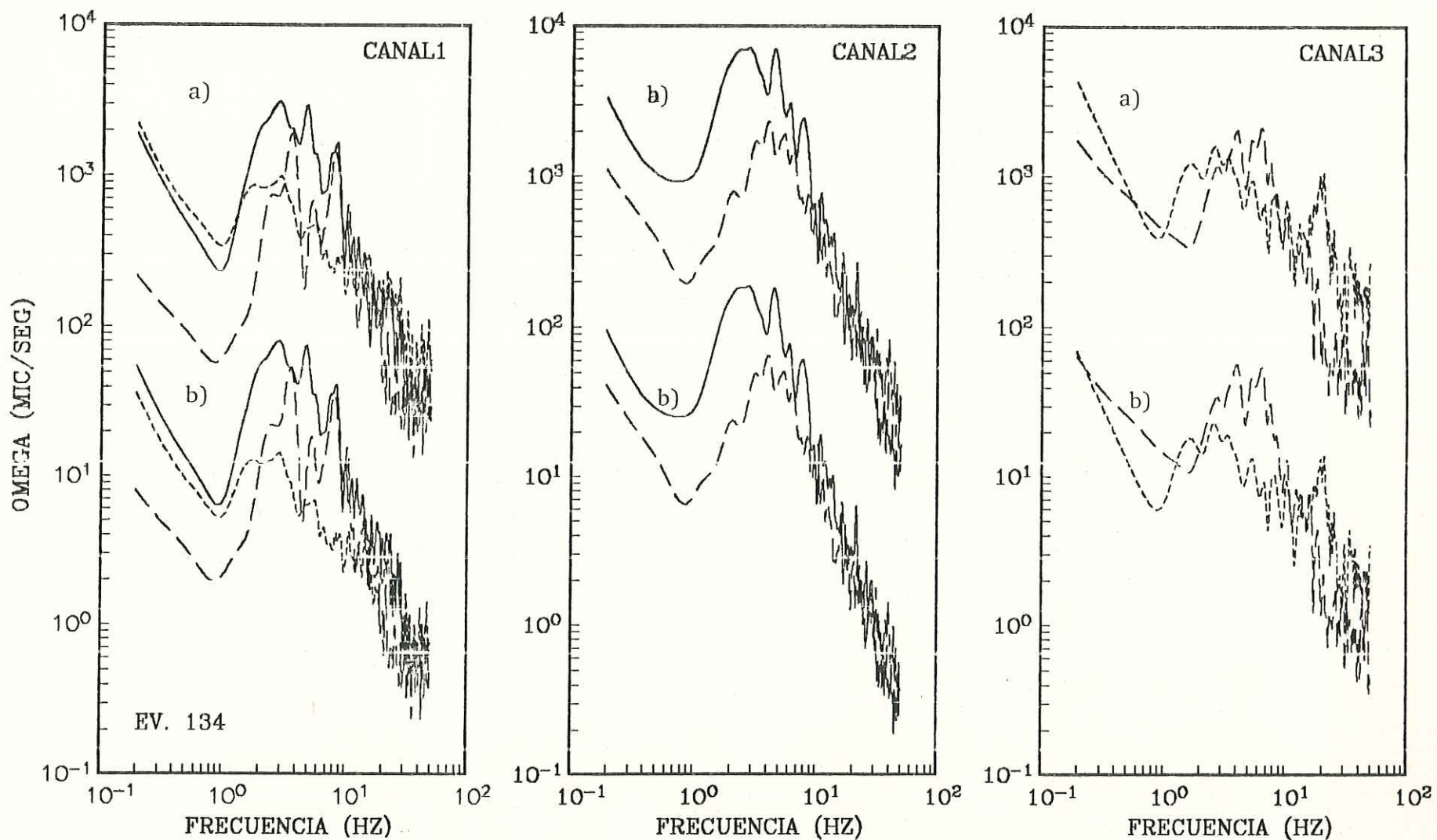


Figura 8b. Muestra del ajuste de corrección por atenuación.

Nexpa — Manzanilla — — — Chiquiapan - - - -

a) Espectros corregidos b) Espectros sin corrección.

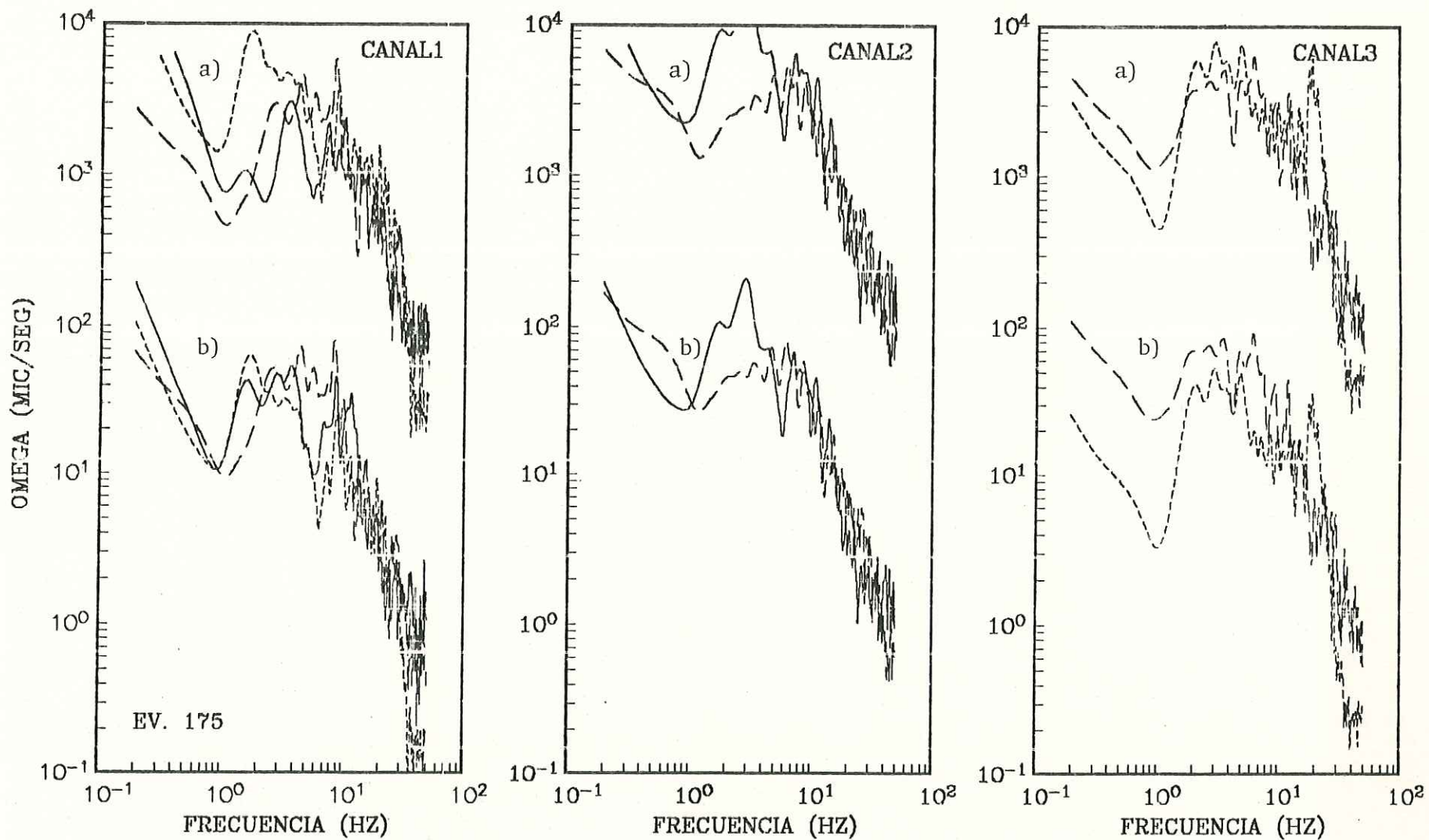


Figura 8c. Muestra del ajuste de corrección por atenuación.

Nexpa ——— Manzanilla----- Chiquiapan-----

a) Espectros corregidos b) Espectros sin corregir.

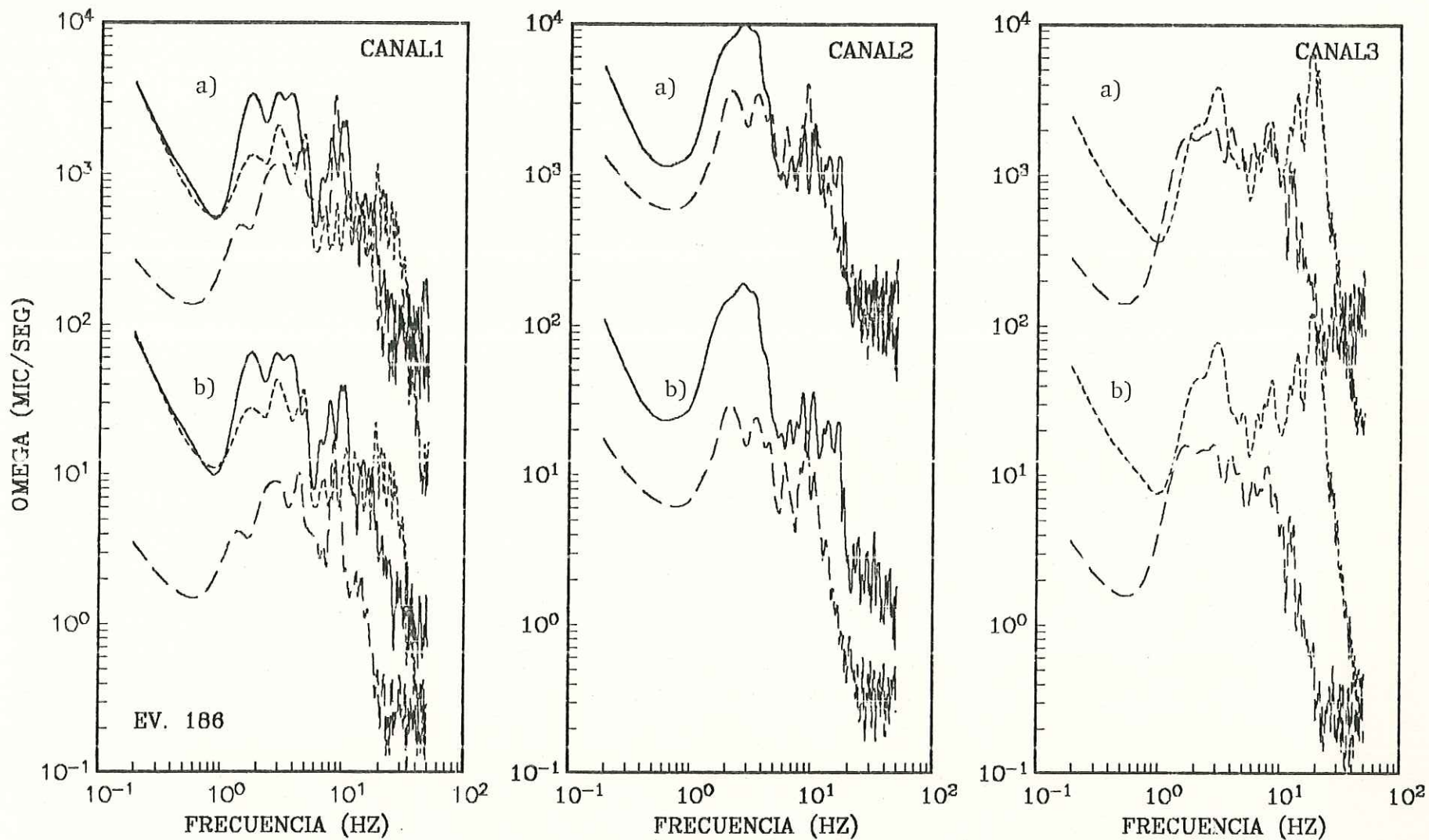


Figura 8d. Muestra del ajuste de corrección por atenuación.

Nexpa ——— Manzanilla — — — Chiquiapan - - - - -

a) Espectros corregidos b) Espectros sin corregir.

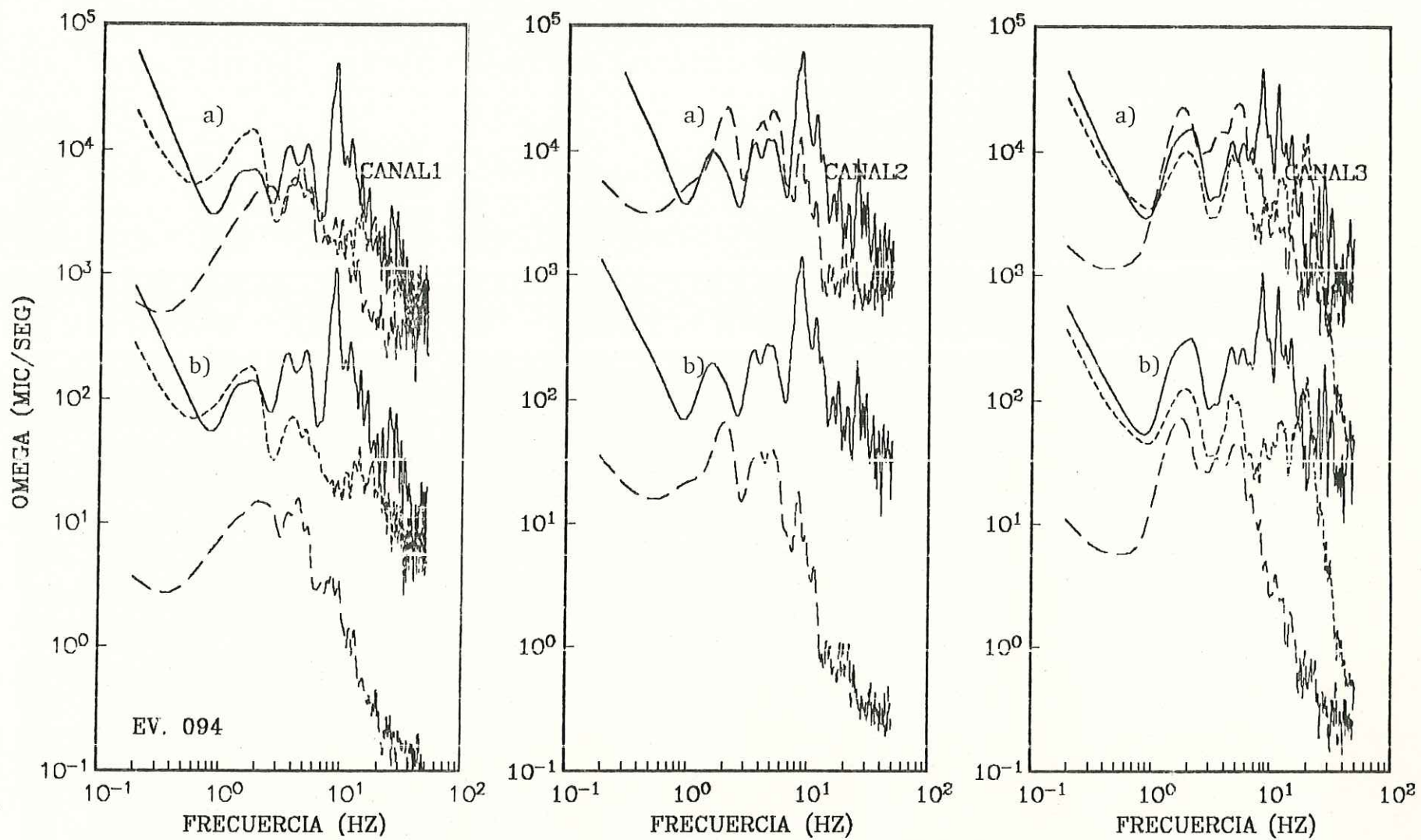


Figura 8e. Muestra del ajuste de corrección por atenuación.

R.Chuta ——— Manzanilla — — — Chiquiapan — — —
 a) Espectros corregidos b) Espectros sin corregir.

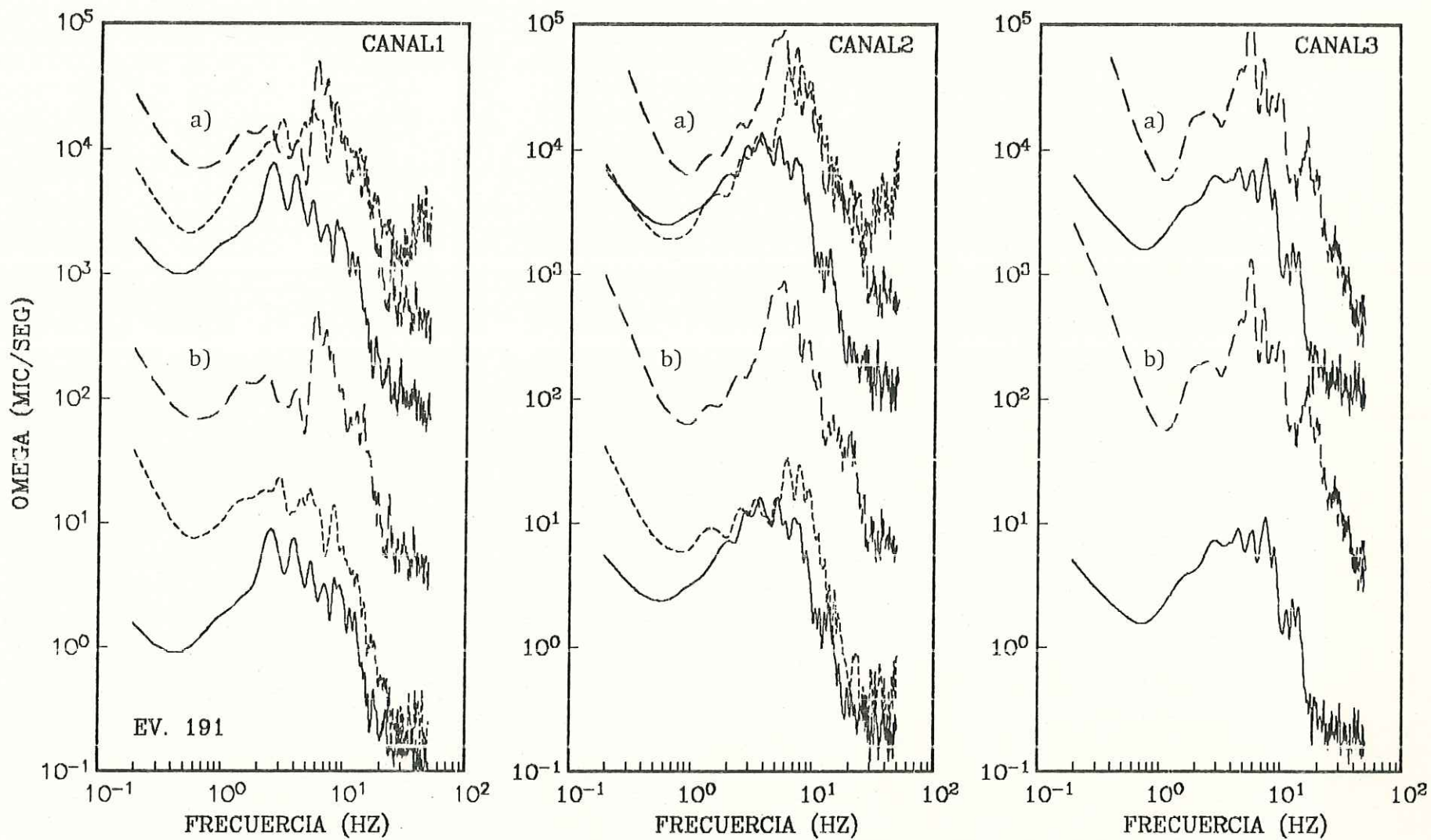


Figura 8f. Muestra del ajuste de corrección por atenuación.

Pananoa—— Union—— Zihuatanejo-----

a) Espectros corregidos b) Espectros sin corregir.

**Tabla II. Constantes de atenuación de las estaciones
Michoacán costa.**

Estación	Constante (C)	Exponencial (X)
RIO CHUTA	72.00	0.832
LA UNION	90.99	0.560
RIO CHIQUIA	72.00	0.832
LA VILLITA	72.00	0.832
ZIHUATANEJO	124.50	0.400
NEXPA	72.00	0.832
PAPANOA	158.10	0.248
MANZANILLA	90.99	0.560

espectral de Brune por medio de un parámetro de amplitud (Ω_0) y uno de frecuencia (f_c) seleccionados por medio de cursores en monitor de terminal a partir de las características del espectro observado. Posteriormente, la pendiente del espectro es ajustada por medio de la variación del parámetro de atenuación Q no dependiente de la frecuencia. Para medir la exactitud del ajuste se introduce un índice estadístico basado en la comparación de espectros por medio de la relación:

$$I = 10^{\frac{\{[\sum (\log A(f) - \log B(f))]^2\}^{1/2}}{N-1}}$$

Donde A es el valor de la amplitud del espectro observado y B es el correspondiente en el espectro de Brune para la misma frecuencia, y donde el mejor ajuste posible es la unidad. Un análisis de este índice estadístico muestra la calidad de ajuste y las variaciones del modelo de la fuente con respecto al modelo de Brune.

Como resultado del ajuste se obtienen los parámetros focales a partir de las siguientes relaciones (Tucker y Brune, 1973) :

$$\begin{aligned} \text{Dimension (r)} &= 2.34 \beta / (2\pi f c) \\ \text{Momento (Mo)} &= 4\pi r R \beta^3 \Omega_0 / (k R \theta \phi) \\ \text{Caída de} \\ \text{Esfuerzo } (\Delta\sigma) &= 7/16 \text{ Mo}/r^3 \end{aligned}$$

C) Distribución de parámetros focales: las características de los parámetros espectrales de fuente obtenidos de la fase anterior son analizadas a través de un diagrama Momento vs. Radio de la fuente. De la misma manera la distribución de dichos parámetros a lo largo de la zona de estudio es analizado por medio de histogramas de frecuencia y contornos de valores, asociandolos con las características de subducción de la misma.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES :

VI.1 Localización de eventos.

A partir de la depuración de la base de datos de la primera fase del trabajo, en la cual se eliminaron señales con mal control de tiempo, con ruido y con dificultades de localización, se obtuvo una nueva base de datos constituida por 64 eventos (Tabla III), con 94 registros (Tabla IV) en sus diferentes componentes, completamente identificados y localizados, constituyendo así el acervo de la actividad sísmica posterior al terremoto de septiembre de 1985. Dichos eventos fueron procesados en la segunda fase del trabajo obteniéndose lo siguientes resultados :

A) Relocalización de hipocentros : la cobertura de estaciones de registro sísmico en zonas de subducción no es del todo confiable, debido a la imposibilidad de incluir estaciones de toma de datos localizadas dentro del mar, y por lo cual en estas situaciones una semicobertura es lo más representativo. Los efectos de este tipo de arreglos se ven reflejados en los controles de localización de hipocentros y en especial de la profundidad. La forma de evaluar dicho control son los errores horizontales y verticales de localización.

TABLA III. EVENTOS LOCALIZADOS. ZONA VACANCIA SISMICA DE MICHOACAN.

EVENTO	ORIGEN	LAT	N	LON	W	PROF	GAP	DIS	RMS	ERH	ERV	
850921	2052	44.24	18	3.45	102	55.99	20.25	188	15.0	0.00	0.0	0.0
850921	2243	48.09	18	1.19	101	47.01	26.98	107	10.4	0.00	0.0	0.0
850922	2017	26.97	18	0.97	102	55.22	20.77	193	16.7	0.00	0.0	0.0
850922	2112	52.41	17	57.98	102	50.43	19.96	193	15.1	0.00	0.0	0.0
850922	2116	39.10	18	6.14	103	13.97	17.28	252	23.7	0.13	3.1	1.2
850923	17	57.07	18	1.71	102	54.87	10.64	191	15.5	0.00	0.0	0.0
850923	159	51.26	18	10.62	102	51.74	27.19	138	11.4	0.18	3.5	2.3
850923	710	57.90	17	58.02	102	56.46	10.93	250	21.8	0.08	0.8	0.5
850923	945	3.61	18	3.39	103	7.47	19.54	222	22.0	0.46	4.2	1.9
850923	949	6.68	18	1.45	103	9.09	18.27	213	26.5	0.00	0.0	0.0
850923	1537	39.45	18	10.18	102	54.83	16.00	164	6.2	0.00	0.0	0.0
850923	1752	7.62	17	56.17	102	57.04	14.21	269	24.9	0.20	3.5	1.3
850923	1755	11.47	18	3.07	102	54.93	16.83	188	14.5	0.00	0.0	0.0
850924	144	33.18	18	16.72	103	9.84	21.03	199	19.4	0.14	8.4	1.9
850924	73	16.21	17	59.64	101	53.24	28.41	140	32.1	0.39	2.2	1.6
850924	839	56.33	18	13.18	102	52.26	18.28	228	10.9	0.00	0.2	0.1
850924	1328	18.55	18	9.40	103	12.57	13.51	215	20.5	0.23	2.8	1.5
850924	1835	55.51	17	59.33	102	15.65	29.56	161	9.2	0.00	0.0	0.0
850924	2237	26.16	17	57.51	102	16.86	24.11	176	14.0	0.29	2.1	1.2
850924	2250	43.18	18	0.50	102	34.93	17.95	266	5.4	0.02	3.2	1.3
850925	132	21.28	18	2.30	102	55.03	19.71	211	15.2	0.13	4.1	2.2
850925	354	39.60	17	33.06	101	56.10	17.80	206	40.0	0.16	1.1	0.7
850925	640	20.30	18	3.28	102	54.46	18.41	202	13.6	0.04	3.3	0.8
850925	72	58.32	18	6.22	102	54.42	21.80	194	12.7	0.12	1.2	0.6
850925	724	35.13	18	1.18	102	55.73	10.57	209	17.3	0.04	2.0	1.0
850925	1748	36.35	18	7.59	103	12.97	13.86	210	22.5	0.00	0.0	0.0
850925	1945	25.62	17	54.37	102	55.02	15.05	215	25.3	0.51	2.8	2.1
850925	2048	56.69	18	5.92	103	13.19	15.07	233	24.8	0.11	2.7	1.2
850925	2049	36.87	18	3.61	102	55.96	11.15	207	14.7	0.18	1.8	1.2
850926	855	39.21	18	7.21	103	11.50	20.44	210	24.7	0.38	2.2	1.2
850926	134	23.11	18	7.33	102	56.40	20.68	186	7.9	0.35	4.2	1.5
850927	45	46.01	18	6.77	103	14.45	20.59	228	22.3	0.43	4.3	1.4
850927	658	7.38	18	0.81	102	57.46	15.62	219	20.3	0.23	2.2	0.9
850927	1116	25.47	17	54.90	102	2.41	28.41	167	21.1	0.48	4.8	1.7
850927	1541	40.77	18	5.55	102	55.32	19.64	199	14.3	0.11	1.9	0.7
850927	1720	33.22	17	54.11	102	43.12	13.18	228	22.9	0.30	2.2	2.8
850927	1922	30.12	18	13.78	103	8.43	16.58	182	18.7	0.07	1.0	0.7
850928	24	24.91	17	58.66	102	54.66	14.46	229	18.7	0.22	2.0	1.5
850928	2033	24.77	18	3.31	102	30.99	9.16	147	4.4	0.00	0.0	0.0
850929	10	12.43	17	56.91	102	32.20	19.25	258	11.6	0.13	1.7	0.6
850929	222	31.22	17	16.65	101	45.31	20.72	250	52.3	0.08	0.7	0.4
850929	327	22.61	17	55.31	102	5.90	23.79	170	16.6	0.25	1.4	0.7
850929	859	48.21	16	50.05	100	35.81	13.14	328	73.6	0.00	0.0	0.0
850929	1224	11.21	17	33.66	101	52.01	19.39	201	33.2	0.30	1.7	1.2
850930	336	38.56	18	7.70	103	10.61	21.07	216	23.0	0.34	2.4	1.0
850930	625	3.13	17	15.14	101	23.24	29.44	223	33.2	0.23	3.9	2.1

TABLA III. EVENTOS LOCALIZADOS. ZONA VACANCIA SISMICA DE MICHOACAN.
CONT.

EVENTO	ORIGEN	LAT	N	LON	W	PROF	GAP	DIS	RMS	ERH	ERV	
850930	759	33.44	17	29.40	101	25.12	4.91	184	33.0	0.36	3.2	3.5
850930	98	13.82	17	25.31	101	15.35	21.52	183	11.0	0.21	4.1	2.4
851001	212	57.60	17	51.26	102	41.29	16.82	201	25.8	0.40	2.1	1.3
851001	320	28.17	17	52.38	101	39.39	29.38	120	16.9	0.44	2.4	1.5
851001	1248	8.71	18	20.37	102	42.16	33.28	167	28.2	0.24	2.5	4.3
851001	1631	47.96	18	3.72	102	32.45	18.07	139	2.2	0.29	3.2	1.5
851002	53	20.87	17	20.88	101	42.67	19.04	212	39.5	0.17	1.4	1.3
851002	1649	38.03	17	45.20	101	49.83	17.35	178	17.9	0.64	3.5	2.0
851003	19	45.98	17	39.27	102	4.71	27.01	263	40.9	0.16	3.2	1.7
851003	217	55.27	17	48.59	102	4.08	21.87	231	29.0	0.28	3.8	1.9
851003	837	30.25	17	46.65	102	4.51	22.18	199	31.5	0.12	2.0	1.3
851004	64	59.62	18	10.75	103	9.51	20.77	198	20.1	0.18	2.8	1.1
851004	718	49.14	17	51.01	102	1.06	25.79	181	22.3	0.18	1.2	0.8
851004	848	29.12	17	30.91	101	46.63	23.29	197	46.8	0.19	2.9	1.3
851004	1052	35.49	18	1.83	102	53.39	21.40	211	13.2	0.11	2.1	0.8
851004	1119	48.76	17	56.21	102	30.41	19.91	242	13.7	0.12	1.8	1.1
851005	97	43.22	17	18.59	101	31.28	21.02	216	37.3	0.26	2.4	2.1
851005	1045	43.03	17	50.07	102	40.89	11.64	236	29.5	0.40	2.7	1.8

TABLA IV. Registros localizados. Zona vacancia sismica de Michoacán. 6

REGISTRO	TIEMPO	DE ORIGEN	LATITUD	LONGITUD	PROF.	DIST.	AZ
MA7059	850922	2112	52.41	17-57.98	102-50.43	19.96	28.1 331
MA7058	850922	2017	26.97	18-00.97	102-55.22	20.77	19.7 345
MA7064	850923	0017	57.07	18-01.71	102-54.87	10.64	18.6 342
RC7161	850928	2033	24.77	18-03.31	102-30.99	9.16	4.4 264
CQ7161	850928	2033	24.77	18-03.31	102-30.99	9.16	11.2 292
NX7092	850924	1835	55.51	17-59.33	102-15.65	29.56	57.1 282
MA7092	850924	1835	55.51	17-59.33	102-15.65	29.56	78.1 286
MA7076	850923	1537	39.45	18-10.18	102-54.83	16.00	6.2 289
MA7030	850921	2243	48.09	18-01.19	101-47.01	26.98	126.9 278
MA7113	850925	1748	36.35	18-07.59	103-12.97	13.86	27.0 75
CQ7113	850925	1748	36.35	18-07.59	103-12.97	13.86	63.8 98
MA7074	850923	0949	06.68	18-01.45	103-09.09	18.27	26.5 47
MA7027	850921	2052	44.24	18-03.45	102-55.99	20.25	15.0 345
NX7078	850923	1755	11.47	18-03.07	102-54.93	16.83	14.5 69
PA7167	850929	0859	48.21	16-50.05	100-35.81	13.14	73.6 319
MA7060	850922	2116	39.10	18-06.14	103-13.97	17.28	29.5 71
MA7068	850923	0159	51.26	18-10.62	102-51.74	27.19	11.4 276
MA7071	850923	0710	57.90	17-58.02	102-56.46	10.93	24.7 353
MA7073	850923	0945	03.61	18-03.39	103-07.47	19.54	22.0 48
NX7077	850923	1752	07.62	17-56.17	102-57.04	14.21	24.9 44
MA7083	850924	0144	33.18	18-16.72	103-09.84	21.03	22.9 116
NX7084	850924	0703	16.21	17-59.64	101-53.24	28.41	96.0 277
MA7084	850924	0703	16.21	17-59.64	101-53.24	28.41	116.5 281
MA7085	850924	0839	56.33	18-13.18	102-52.26	18.28	10.9 251
MA7089	850924	1328	18.55	18-09.40	103-12.57	13.51	25.7 82
RC7094	850924	2237	26.16	17-57.51	102-16.86	24.11	31.1 289
CQ7094	850924	2237	26.16	17-57.51	102-16.86	24.11	38.3 293
MA7094	850924	2237	26.16	17-57.51	102-16.86	24.11	77.1 289
RC7218	850924	2250	43.18	18-00.50	102-34.93	17.95	5.4 28
CQ7218	850924	2250	43.18	18-00.50	102-34.93	17.95	10.0 340
MA7096	850925	0132	21.28	18-02.30	102-55.03	19.71	17.5 342
RC7096	850925	0132	21.28	18-02.30	102-55.03	19.71	38.0 88
RC7100	850925	0354	39.60	17-33.06	101-56.10	17.80	86.2 310
CQ7100	850925	0354	39.60	17-33.06	101-56.10	17.80	93.8 310
RC7102	850925	0640	20.30	18-03.28	102-54.46	18.41	37.0 91
NX7103	850925	0702	58.32	18-06.22	102-54.42	21.80	12.7 93
RC7103	850925	0702	58.32	18-06.22	102-54.42	21.80	37.4 99
NX7104	850925	0724	35.13	18-01.18	102-55.73	10.57	17.3 60
RC7104	850925	0724	35.13	18-01.18	102-55.73	10.57	39.4 85
MA7114	850925	1945	25.62	17-54.37	102-55.02	15.05	31.7 350
CQ7114	850925	1945	25.62	17-54.37	102-55.02	15.05	38.1 57
NX7117	850925	2048	56.69	18-05.92	103-13.19	15.07	45.8 90
MA7118	850925	2049	36.87	18-03.61	102-55.96	11.15	14.7 345
MA7131	850926	0855	39.21	18-07.21	103-11.50	20.44	24.7 72
NX7131	850926	0855	39.21	18-07.21	103-11.50	20.44	42.9 93
CQ7131	850926	0855	39.21	18-07.21	103-11.50	20.44	61.2 93
MA7134	850926	1304	23.11	18-07.33	102-56.40	20.68	7.9 337
NX7134	850926	1304	23.11	18-07.33	102-56.40	20.68	16.4 99
CQ7134	850926	1304	23.11	18-07.33	102-56.40	20.68	34.6 95

TABLA IV. Registros localizados. Zona vacancia sismica de zmichoacan.
CONT.

REGISTRO	TIEMPO	DE	ORIGEN	LATITUD	LONGUITUD	PROF.	DIST.	AZ
RC7139	850927	0405	46.01	18-06.77	103-14.45	20.59	72.6	95
RC7139	850927	0405	46.01	18-06.77	103-14.45	20.59	72.6	95
NX7141	850927	0658	07.38	18-00.81	102-57.46	15.62	20.3	63
CQ7141	850927	0658	07.38	18-00.81	102-57.46	15.62	37.4	76
CQ7144	850927	1116	25.47	17-54.90	102-02.41	28.41	63.9	288
NX7144	850927	1116	25.47	17-54.90	102-02.41	28.41	81.7	284
CQ7146	850927	1541	40.77	18-05.55	102-55.32	19.64	32.6	90
CQ7149	850927	1720	33.22	17-54.11	102-43.12	13.18	23.9	28
MA7150	850927	1922	30.12	18-13.78	103-08.43	16.58	18.7	104
MA7154	850928	0204	24.91	17-58.66	102-54.66	14.46	24.1	345
CQ7154	850928	0204	24.91	17-58.66	102-54.66	14.46	33.9	68
RC7163	850929	0010	12.43	17-56.91	102-32.20	19.25	11.6	349
PA7164	850929	0222	31.22	17-16.65	101-45.31	20.72	75.2	85
RC7165	850929	0327	22.61	17-55.31	102-05.90	23.79	50.8	286
PA7165	850929	0327	22.61	17-55.31	102-05.90	23.79	128.7	120
PA7168	850929	1224	11.21	17-33.66	101-52.01	19.39	90.3	106
MA7175	850930	0336	38.56	18-07.70	103-10.61	21.07	23.0	73
NX7175	850930	0336	38.56	18-07.70	103-10.61	21.07	41.4	95
CQ7175	850930	0336	38.56	18-07.70	103-10.61	21.07	59.6	94
PA7176	850930	0625	03.13	17-15.14	101-23.24	29.44	37.0	75
PA7177	850930	0759	33.44	17-29.40	101-25.12	4.91	42.7	113
PA7178	850930	0908	13.82	17-25.31	101-15.35	21.52	23.8	113
CQ7186	851001	0212	57.60	17-51.26	102-41.29	16.82	27.5	16
NX7186	851001	0212	57.60	17-51.26	102-41.29	16.82	28.9	339
MA7186	851001	0212	57.60	17-51.26	102-41.29	16.82	47.4	321
PA7188	851001	0320	28.17	17-52.38	101-39.39	29.38	87.5	133
CQ7189	851001	1248	08.71	18-20.37	102-42.16	33.28	28.8	161
CQ7190	851001	1631	47.96	18-03.72	102-32.45	18.07	8.5	294
NX7190	851001	1631	47.96	18-03.72	102-32.45	18.07	26.4	279
ZH7191	851002	0503	20.87	17-20.88	101-42.67	19.04	39.5	6
UN7191	851002	0503	20.87	17-20.88	101-42.67	19.04	66.2	349
PA7191	851002	0503	20.87	17-20.88	101-42.67	19.04	70.3	91
ZH7194	851002	1649	38.03	17-45.20	101-49.83	17.35	17.9	108
CQ7194	851002	1649	38.03	17-45.20	101-49.83	17.35	91.2	294
UN7195	851003	0019	45.98	17-39.27	102-04.71	27.01	40.9	41
PV7195	851003	0019	45.98	17-39.27	102-04.71	27.01	44.8	345
PV7196	851003	0217	55.27	17-48.59	102-04.08	21.87	29.0	335
UN7196	851003	0217	55.27	17-48.59	102-04.08	21.87	29.0	61
MA7202	851004	0604	59.62	18-10.75	103-09.51	20.77	20.1	87
UN7203	851004	0718	49.14	17-51.01	102-01.06	25.79	22.3	65
PA7204	851004	0848	29.12	17-30.91	101-46.63	23.29	79.7	104
NX7205	851004	1052	35.49	18-01.83	102-53.39	21.40	13.2	55
CQ7206	851004	1119	48.76	17-56.21	102-30.41	19.91	20.7	327
PA7208	851005	0907	43.22	17-18.59	101-31.28	21.02	50.2	87
CQ7209	851005	1045	43.03	17-50.07	102-40.89	11.64	29.5	14
PV7209	851005	1045	43.03	17-50.07	102-40.89	11.64	57.6	66

La relocalización de los eventos, resultado de la inclusión de los tiempos de registros digitales, trajo como primera consecuencia una diferencia en los errores horizontales y verticales estimados de localización. Para los primeros, las relocalizaciones contaron con una media de error de 0.453 km favorable hacia las localizaciones con inclusión de lecturas de registros digitales, con una desviación estandar de 1.67 en un rango de hasta 6 km menor de error y 2.3 km mayor, mejorando de esta manera la confiabilidad de los datos en un 15%, la media de dichos errores horizontales fue de 2.5 km con una desviación estandar de 1.65, representando así un 1.9% de las dimensiones de la zona de registro (Figura 9).

En cambio para los errores verticales de localización la diferencia fue de 0.586 km de media, en favor de las relocalizaciones, con un rango de error de 10 km menor hasta 3.5 km mayor y una desviación estandar de 1.97, aumentando así la confiabilidad de las localizaciones en un 23%. La media para estos errores fue de 1.89 km con una desviación estandar de 2.23, representando de esta manera un 5.4% de las dimensiones de la zona de estudio (Figura 10) .

Analizando las diferencias en localización (Tabla V), encontramos que para el tiempo de origen el 90% de éstas se encuentra dentro de los 0.4 segundos, y en cuanto a la profundidad el 80% de las diferencias se encuentran de los 0 a

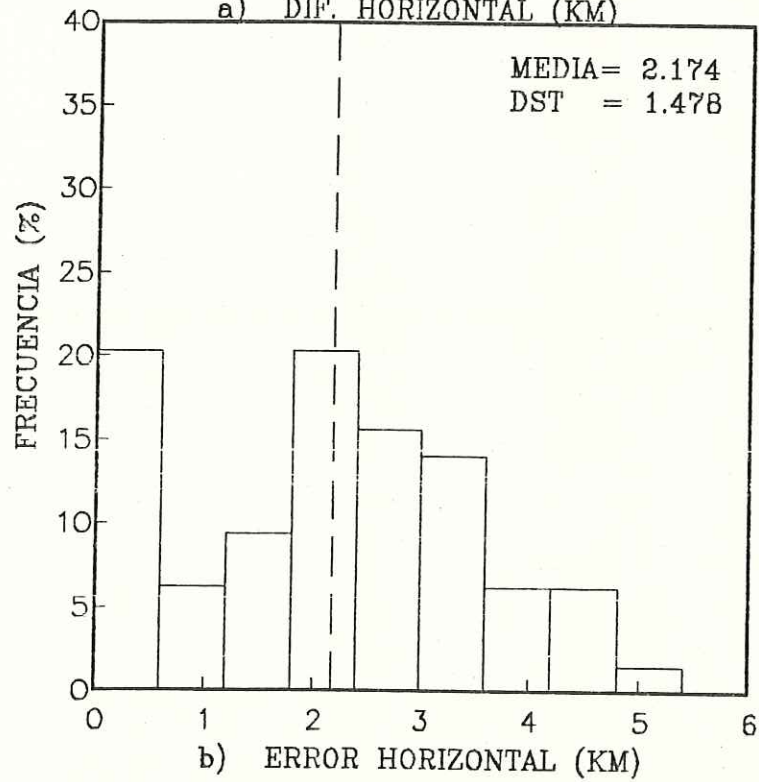
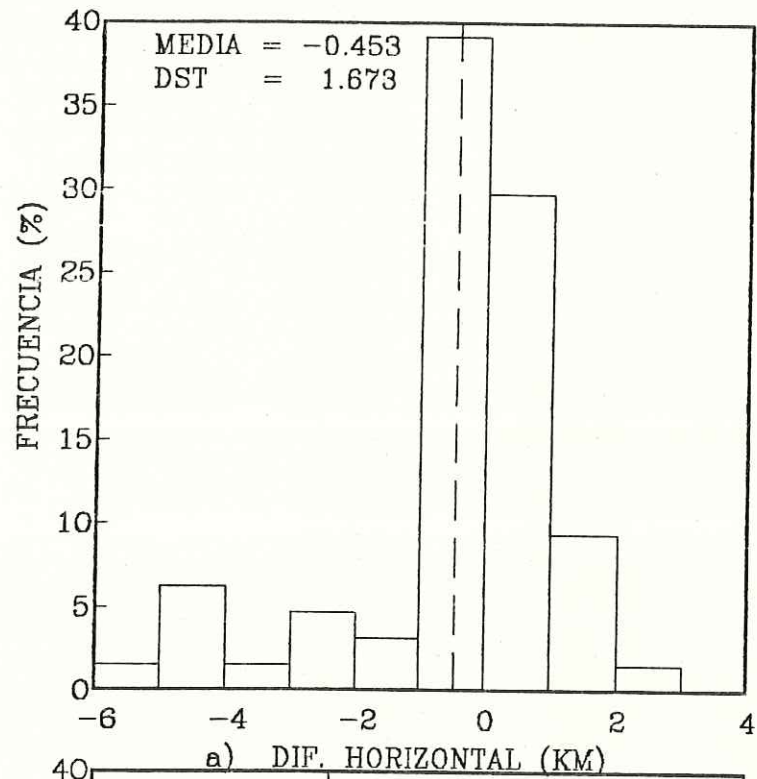


Figura 9. Histograma de frecuencia de errores horizontales de localización y diferencias.

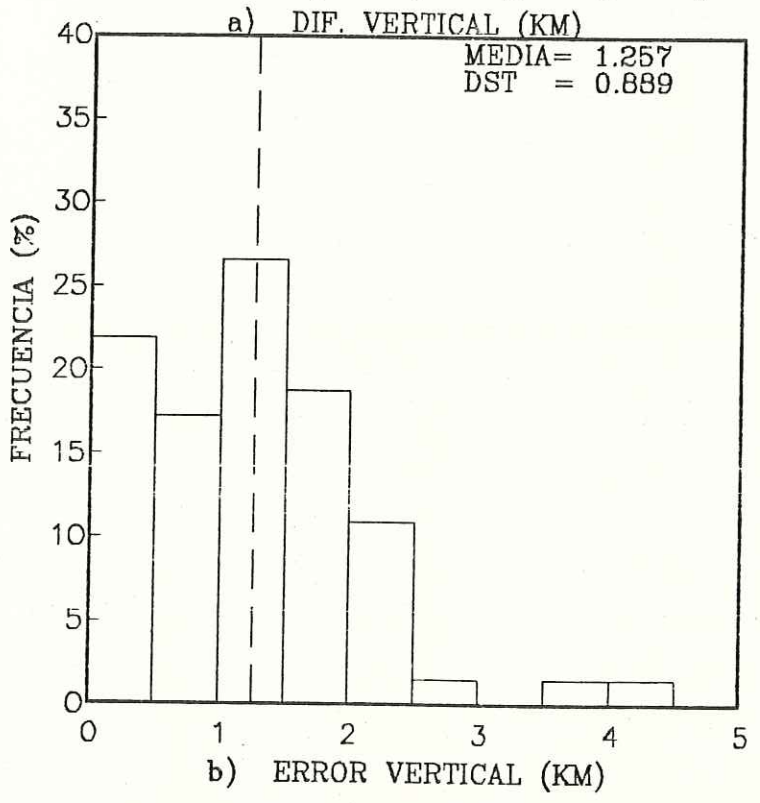
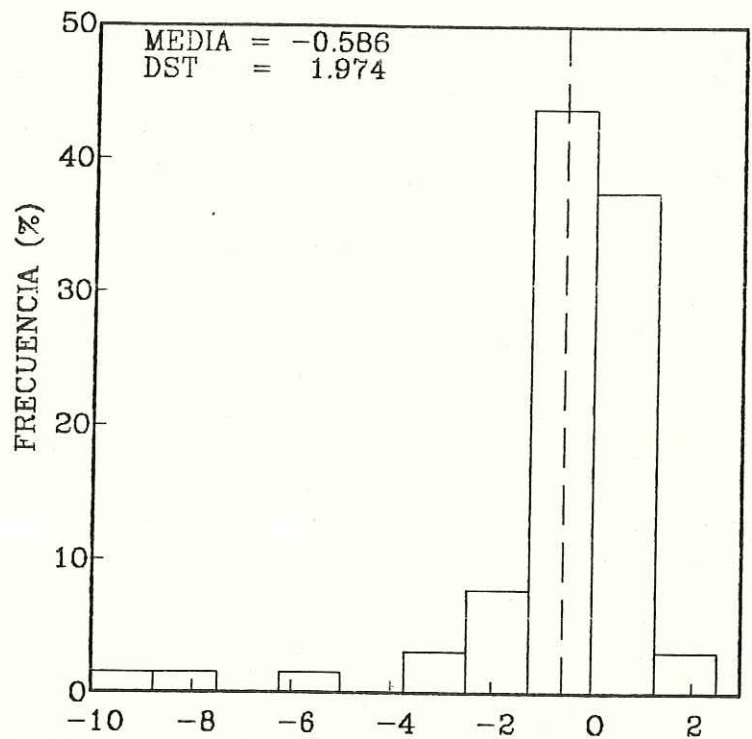


Figura 10. Histograma de frecuencia de errores verticales de localización y diferencias.

TABLA V. DIFERENCIAS DE LOCALIZACION POR INCLUSION DE REGISTROS DIGITALES CON RESPECTO A LOS ANALOGICOS SOLOS.

EVENTO	ORIGEN SEG	RADIO KM	ANGULO RAD.	PROF. KM	E.HOR. KM	E.VER KM
850921	2052	44.24	0.00	0.00	0.00	0.00
850921	2243	48.09	0.00	0.04	0.00	0.00
850922	2017	26.97	0.00	0.00	0.00	0.00
850922	2112	52.41	0.00	0.00	0.00	0.00
850922	2116	39.08	0.02	0.17	0.00	-1.70
850923	17	57.07	0.00	0.00	0.00	0.00
850923	159	51.34	0.08	10.34	0.02	-0.90
850923	710	57.65	0.25	2.75	0.06	-0.10
850923	945	2.97	0.64	7.20	0.73	1.90
850923	1537	39.45	0.00	0.00	0.00	0.00
850923	1752	7.61	0.01	0.08	0.06	0.00
850923	1755	11.47	0.00	0.00	0.00	0.00
850924	144	33.11	0.07	13.23	0.15	11.03
850924	73	16.20	0.01	0.12	0.96	0.03
850924	839	56.11	0.22	6.10	1.56	-2.90
850924	1328	18.46	0.09	0.87	0.27	0.40
850924	1835	55.57	0.06	5.62	0.04	-4.60
850924	2237	26.16	0.00	0.59	1.55	0.54
850924	2250	14.31	28.87	20.45	0.03	17.54
850925	132	21.42	0.14	6.88	0.03	1.07
850925	132	2.17	19.11	3.44	0.44	3.48
850925	354	39.61	0.01	0.06	0.00	0.05
850925	640	20.34	0.04	17.79	0.07	0.99
850925	72	58.33	0.01	0.25	0.05	0.12
850925	724	34.84	0.29	11.99	0.13	12.53
850925	1748	36.35	0.00	0.00	0.00	0.00
850925	1945	25.56	0.06	1.21	0.36	0.12
850925	2048	56.69	0.00	0.04	0.23	0.00
850925	2049	36.59	0.28	3.78	0.04	0.16
850926	855	39.28	0.07	1.26	1.44	0.38
850926	134	23.03	0.08	1.11	0.01	0.45
850927	45	46.36	0.35	2.13	0.03	1.17
850927	658	7.17	0.21	2.42	0.16	0.03
850927	1116	25.66	0.19	4.47	0.03	4.95
850927	1541	40.84	0.07	1.38	0.15	0.37
850927	1720	33.13	0.09	0.95	0.02	0.35
850927	1922	28.67	1.45	7.68	0.23	10.81
850928	24	24.73	0.18	1.24	0.04	0.13
850928	2033	24.77	0.00	0.00	0.00	0.00
850929	10	12.42	0.01	0.04	90.00	0.05
850929	222	31.24	0.02	0.36	1.50	0.23
850929	327	22.53	0.08	1.29	0.09	1.38
850929	859	48.21	0.00	0.00	0.00	0.00
850929	1224	11.53	0.32	2.43	0.24	0.46
850930	336	38.43	0.13	0.63	0.37	0.75
850930	625	4.20	1.07	15.01	0.43	7.76

TABLA V. DIFERENCIAS DE LOCALIZACION POR INCLUSION DE REGISTROS
CONT. DIGITALES CON RESPECTO A LOS ANALOGICOS SOLOS.

EVENTO			ORIGEN SEG	RADIO KM	ANGULO RAD.	PROF. KM	E.HOR. KM	E.VER. KM
850930	759	33.22	0.22	1.39	1.56	3.46	2.10	2.30
850930	98	14.10	0.28	2.29	0.47	0.26	-4.10	-0.90
851001	212	57.52	0.08	0.53	1.51	0.49	0.30	0.10
851001	320	27.91	0.26	2.12	0.24	4.60	0.80	-1.40
851001	1248	8.78	0.07	2.67	0.22	4.91	-1.70	-1.30
851001	1248	8.78	0.07	2.67	0.22	4.91	-1.70	-1.30
851001	1631	47.54	0.42	3.97	0.08	1.83	-0.90	-0.10
851002	53	21.05	0.18	1.61	0.71	0.94	0.20	0.30
851002	1649	37.45	0.58	5.23	0.03	0.75	0.70	0.60
851003	19	45.64	0.34	6.31	0.22	17.01	-0.40	-7.50
851003	217	55.68	0.41	5.26	0.10	4.66	-0.30	0.30
851003	837	30.24	0.01	0.25	0.30	0.11	0.00	0.00
851004	64	59.94	0.32	5.54	0.28	2.35	1.60	-0.50
851004	718	49.11	0.03	0.19	0.61	0.16	0.10	0.10
851004	848	28.93	0.19	1.02	0.79	0.34	-5.50	-3.10
851004	1052	35.72	0.23	15.93	0.07	0.81	-4.50	-2.10
851004	1119	48.85	0.09	0.66	0.00	0.09	-0.60	-0.10
851005	97	43.20	0.02	1.10	1.57	0.72	0.90	0.90
851005	1045	43.37	0.34	4.08	0.58	1.91	0.40	0.20

los 4 km. Calculando las diferencias en localización longitudinal y latitudinal a través de un radio que representa la distancia y un ángulo representado la dirección, encontramos que para el primero el 90% se encuentra dentro de los 6 km de diferencia y el segundo presenta una tendencia a los ángulos bajos que nos señala una preferencia a los movimientos en dirección longitudinal (Figura 11).

Es así como la zona de réplicas se define con mayor precisión y aumentando la representatividad de sus datos, se obtiene una mayor confianza en los controles de localización.

B) Distribución horizontal : la representación gráfica de la distribución horizontal de los eventos presenta particularidades muy especiales, la principal actividad sísmica se encuentra dentro de las coordenadas $103^{\circ}30'$ y $100^{\circ}30'W$ de longitud y los $17^{\circ}0'$ y $18^{\circ}30'N$ de latitud, enclavada en los estados de Michoacán y Guerrero, con una orientación general de preferencia aparente de 44° de azimuth, que varía de acuerdo a la zona (Figura 12). La distribución presenta dos comportamientos predominantes, el primero localizado en las costas del estado de Michoacán, muestra una alineación pronunciada de eventos que guardan la orientación de 9° de azimuth, con algunas alineaciones de orientación 44° azimuth, y con zonas de asismicidad entre dichas alineaciones. La segunda zona ubicada en las costas de Guerrero tiene un comportamiento

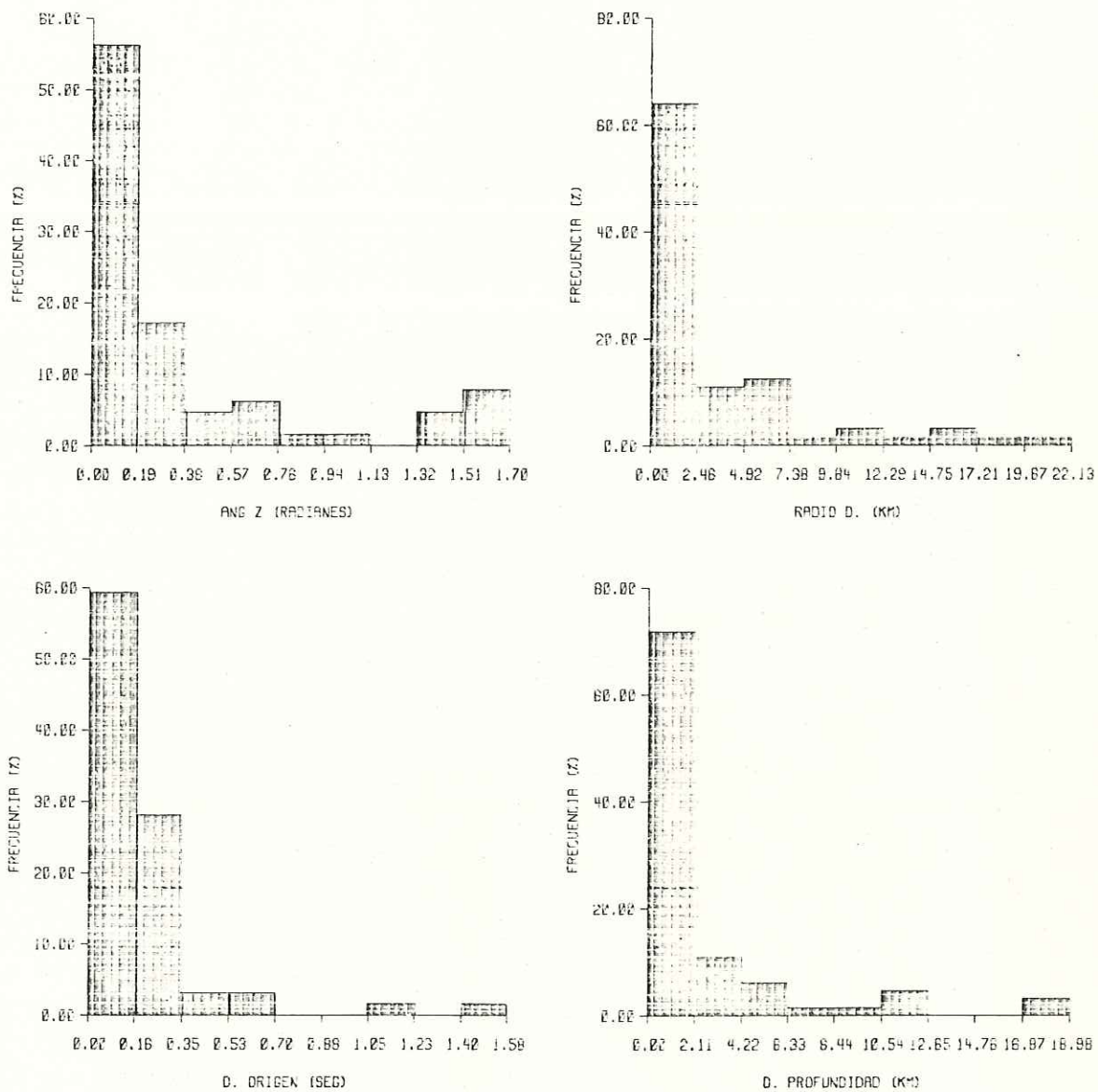


Figura 11. Diferencias de localización.

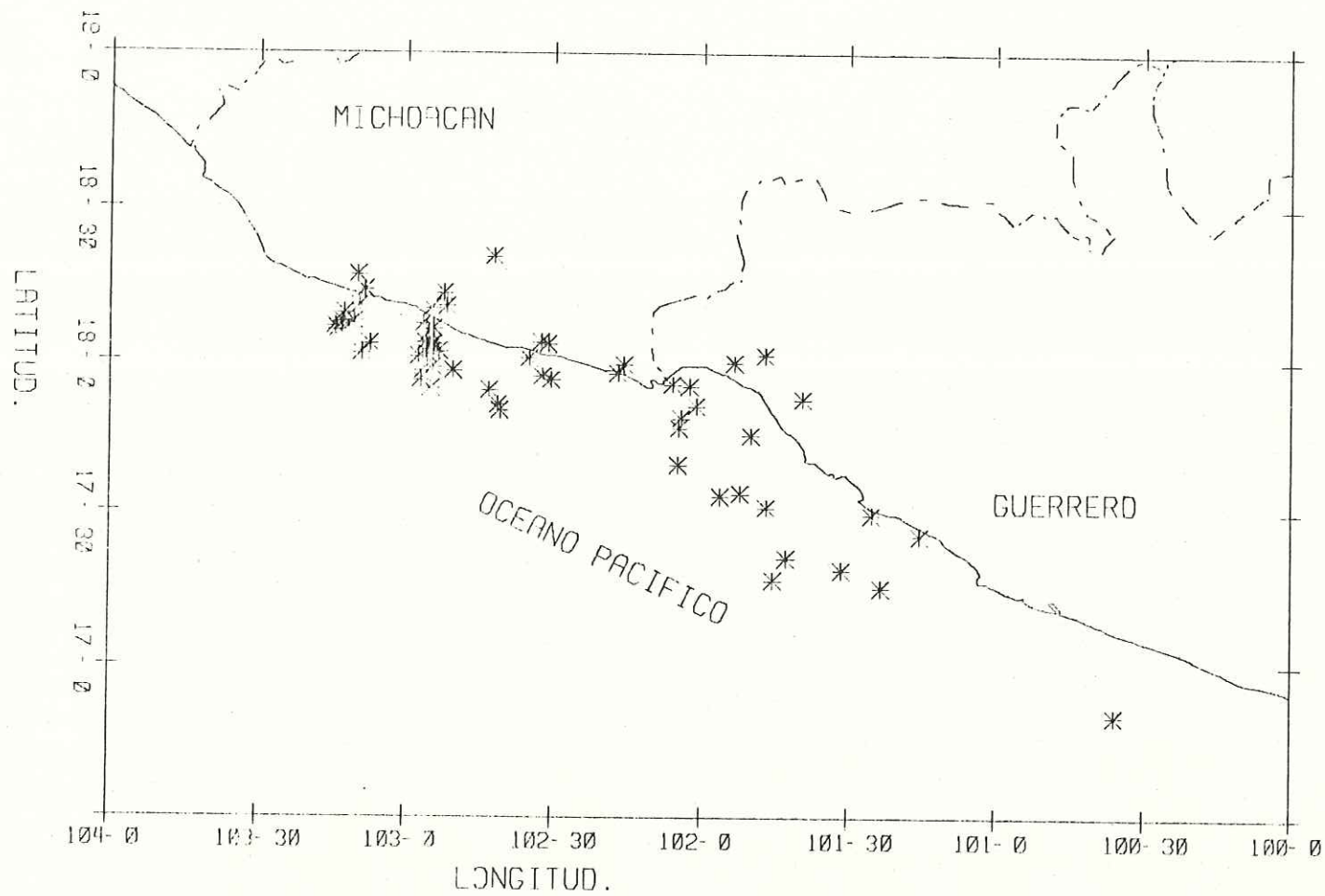


Figura 12 Distribución epicentral de réplicas posteriores al 21 de sept. de 1985. Zona de vacancia sísmica de Michoacán

de distribución epicentral más disperso con un ligero cambio en la orientación de sus alineaciones (32° azimut), aunque éstos son menos marcados (Figura 13). Esta distribución declara la presencia de dos diferentes características en los mecanismos generadores de réplicas en la zona.

Esta diferenciación había sido reportada con anterioridad en el análisis del sismo de Playa Azul (1981) que rompió el período de 81 años sin actividad sísmica mayor ($M_s > 7.1$) en la zona denominada como la vacancia sísmica de Michoacán (Singh, 1980). La distribución de las réplicas mostró la conjunción en dos grupos que se relacionan a los límites del área de ruptura o a dos asperezas que rompieron con unos cuantos segundos de diferencia (Haskov et al, 1983).

De igual manera, la diferenciación zonal concuerda con la proposición de la existencia de la microplaca Orozco (Figura 14) como una división de la placa de Cocos y limitada por la fractura de Orozco (Medina y Espíndola, 1987), presentando períodos de recurrencia para eventos mayores a 7 en la escala de Richter de cada 11.2 años, a diferencia de la zona de los estado de Guerrero y Oaxaca que es de cada 3.6 años.

En base a las anteriores observaciones se decidió separar estas dos zonas y verificar más detalladamente sus características con el fin de analizar la posible vinculación

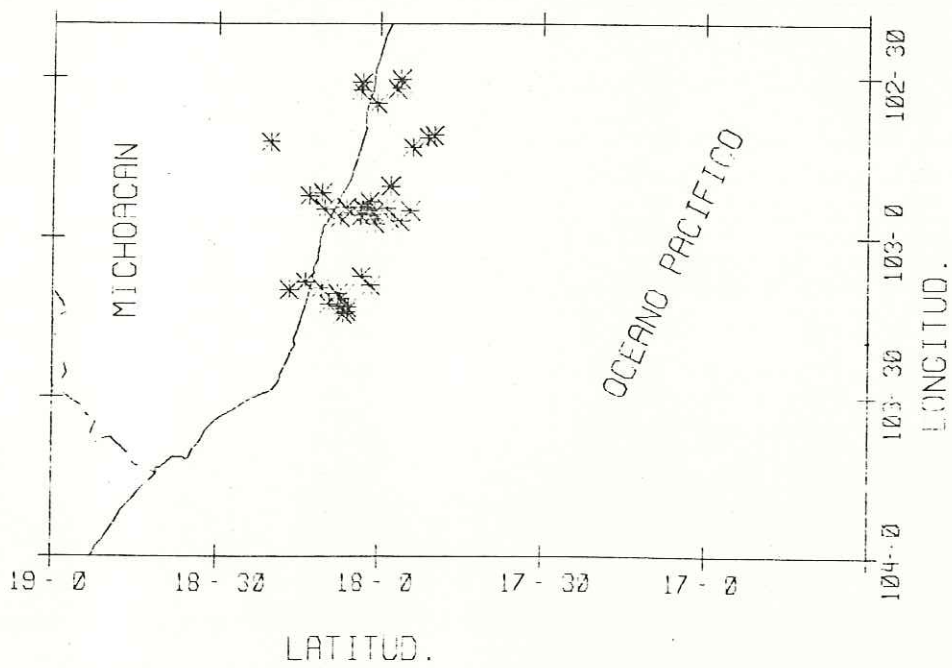


Figura 13a. Distribución de réplicas en el estado de Michoacán. Zona I.

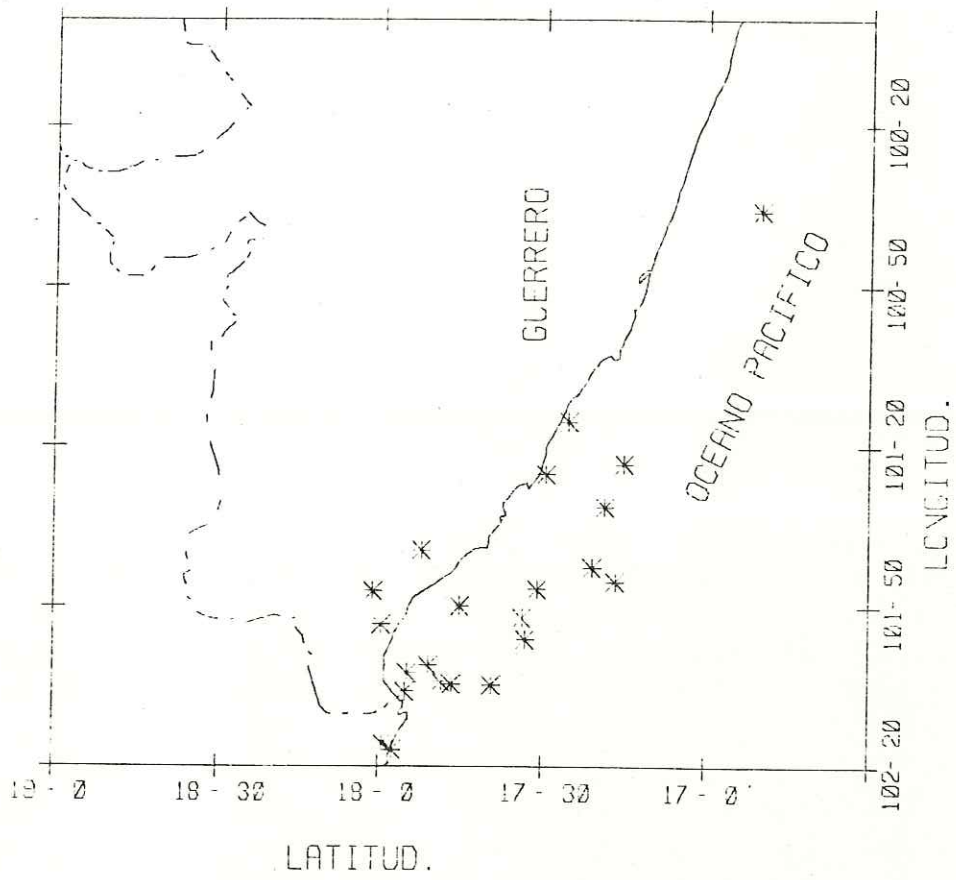
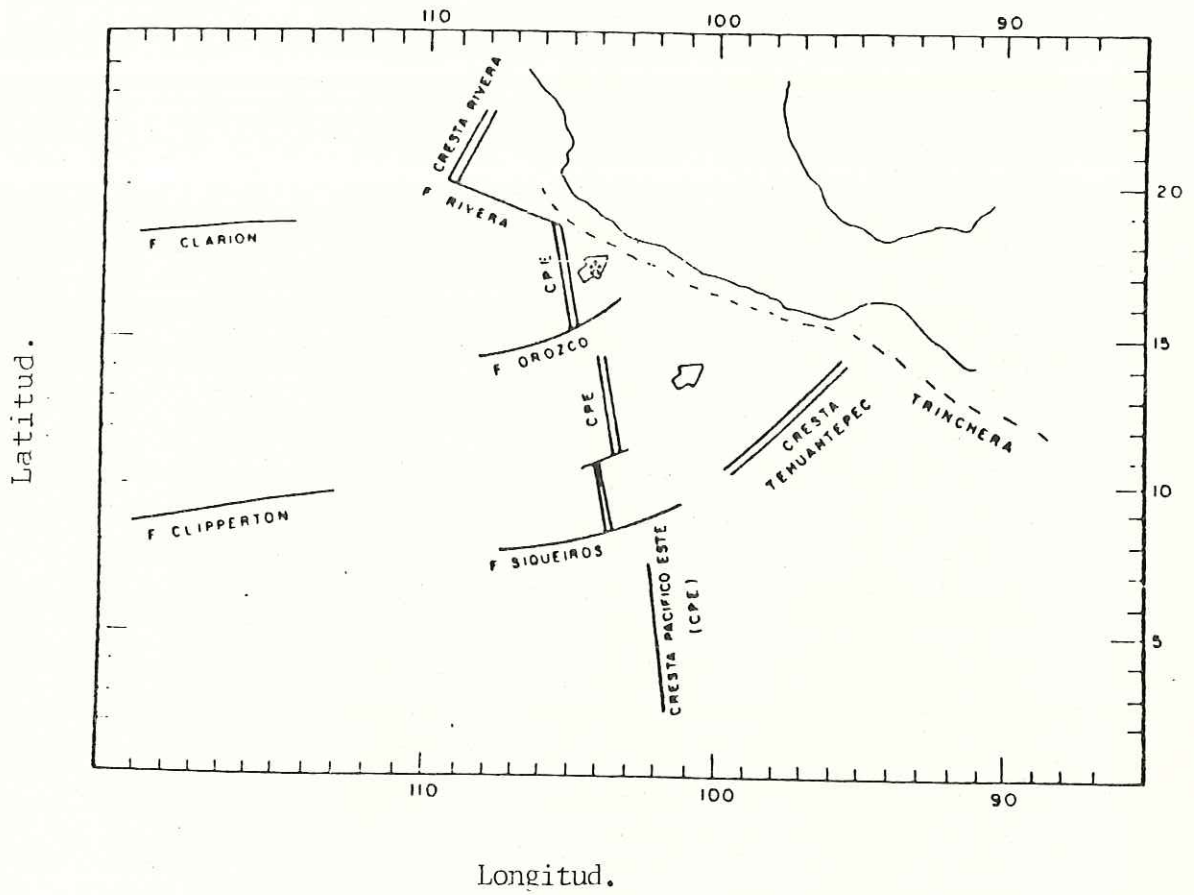


Figura 13b. Distribución de réplicas en el estado de Guerrero. Zona II.



* Microplaca Orozco

Figura 14. Propuesta Microplaca de Orozco.(tomado de Medina, 1987).

existente entre ellas. El límite entre las dos zonas se estableció en las coordenadas $102^{\circ}15'W$, de la cual se obtuvieron 66 registros para la zona I (Michoacán, Tabla VI), y 28 para la zona II (Guerrero, Tabla VII).

C) Distribución vertical : Un histograma de frecuencias de profundidades para toda la zona, muestra una tendencia seminormal de distribución localizada entre los 5 y 35 km, contando con una media de 19.4 km y una desviación estandar de 9.4. Mientras que para la zona I la distribución presenta un sesgo hacia las bajas profundidades, con un rango de 9 a 30 km, una media de 18.1 km y una desviación estandar de 8.4, la zona II muestra un sesgo hacia profundidades más altas, a excepción de un evento localizado a los 4.91 km de profundidad, el rango de profundidades es de 12 a 35 km con una media de 22.4 km y una desviación estandar de 10.7 (Figura 15). Lo que reafirma aun más la diferenciación zonal, mostrando que la zona para la microplaca de Orozco se encuentra a profundidades promedio menores, que la distribución media de profundidades para hipocentros en el resto del área de estudio.

Una mayor exposición de las características de subducción de la zona se logra a través de un perfil a profundidad con origen en las coordenadas $103.0^{\circ}W$ longitud y $17.4^{\circ}N$ latitud, un ángulo de azimut de 44° (mismo que guardan las alineaciones), una extensión de 200 km y una amplitud lateral de 250 km .

TABLA VI. REGISTROS LOCALIZADOS EN LA ZONA I. MICHOACAN

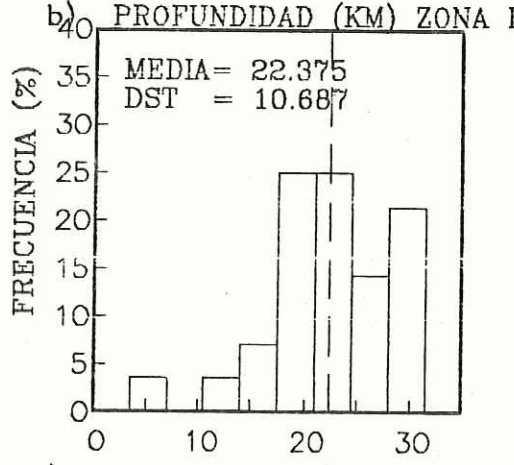
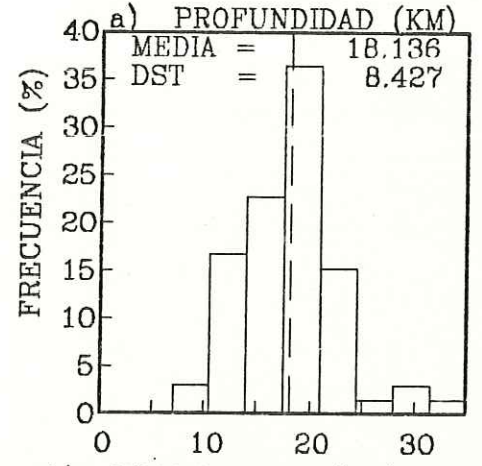
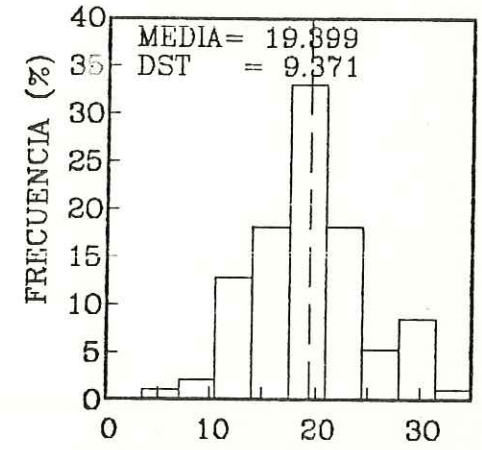
EVENTO	TIEMPO DE ORIGEN	LATITUD	LONGITUD	PROF.	DIST.	AZ
MA7059	850922	2112	52.41 17-57.98	102	50.43	19.96 28.1 331
MA7058	850922	2017	26.97 18-00.97	102	55.22	20.77 19.7 345
MA7064	850923	0017	57.07 18-01.71	102	54.87	10.64 18.6 342
RC7161	850928	2033	24.77 18-03.31	102	30.99	9.16 4.4 264
CQ7161	850928	2033	24.77 18-03.31	102	30.99	9.16 11.2 292
NX7092	850924	1835	55.51 17-59.33	102	15.65	29.56 57.1 282
MA7092	850924	1835	55.51 17-59.33	102	15.65	29.56 78.1 286
MA7076	850923	1537	39.45 18-10.18	102	54.83	16.00 6.2 289
MA7113	850925	1748	36.35 18-07.59	103	12.97	13.86 27.0 75
CQ7113	850925	1748	36.35 18-07.59	103	12.97	13.86 63.8 98
MA7074	850923	0949	06.68 18-01.45	103	9.09	18.27 26.5 47
MA7027	850921	2052	44.24 18-03.45	102	55.99	20.25 15.0 345
NX7078	850923	1755	11.47 18-03.07	102	54.93	16.83 14.5 69
MA7060	850922	2116	39.10 18-06.14	103	13.97	17.28 29.5 71
MA7068	850923	0159	51.26 18-10.62	102	51.74	27.19 11.4 276
MA7071	850923	0710	57.90 17-58.02	102	56.46	10.93 24.7 353
MA7073	850923	0945	03.61 18-03.39	103	7.47	19.54 22.0 48
NX7077	850923	1752	07.62 17-56.17	102	57.04	14.21 24.9 44
MA7083	850924	0144	33.18 18-16.72	103	9.84	21.03 22.9 116
MA7085	850924	0839	56.33 18-13.18	102	52.26	18.28 10.9 251
MA7089	850924	1328	18.55 18-09.40	103	12.57	13.51 25.7 82
RC7094	850924	2237	26.16 17-57.51	102	16.86	24.11 31.1 289
CQ7094	850924	2237	26.16 17-57.51	102	16.86	24.11 38.3 293
MA7094	850924	2237	26.16 17-57.51	102	16.86	24.11 77.1 289
RC7218	850924	2250	43.18 18-00.50	102	34.93	17.95 5.4 28
CQ7218	850924	2250	43.18 18-00.50	102	34.93	17.95 10.0 340
MA7096	850925	0132	21.28 18-02.30	102	55.03	19.71 17.5 342
RC7096	850925	0132	21.28 18-02.30	102	55.03	19.71 38.0 88
RC7102	850925	0640	20.30 18-03.28	102	54.46	18.41 37.0 91
NX7103	850925	0702	58.32 18-06.22	102	54.42	21.80 12.7 93
RC7103	850925	0702	58.32 18-06.22	102	54.42	21.80 37.4 99
NX7104	850925	0724	35.13 18-01.18	102	55.73	10.57 17.3 60
RC7104	850925	0724	35.13 18-01.18	102	55.73	10.57 39.4 85
MA7114	850925	1945	25.62 17-54.37	102	55.02	15.05 31.7 350
CQ7114	850925	1945	25.62 17-54.37	102	55.02	15.05 38.1 57
NX7117	850925	2048	56.69 18-05.92	103	13.19	15.07 45.8 90
MA7118	850925	2049	36.87 18-03.61	102	55.96	11.15 14.7 345
MA7131	850926	0855	39.21 18-07.21	103	11.50	20.44 24.7 72
NX7131	850926	0855	39.21 18-07.21	103	11.50	20.44 42.9 93
CQ7131	850926	0855	39.21 18-07.21	103	11.50	20.44 61.2 93
MA7134	850926	1304	23.11 18-07.33	102	56.40	20.68 7.9 337
NX7134	850926	1304	23.11 18-07.33	102	56.40	20.68 16.4 99
CQ7134	850926	1304	23.11 18-07.33	102	56.40	20.68 34.6 95
RC7139	850927	0405	46.01 18-06.77	103	14.45	20.59 72.6 95
NX7141	850927	0658	07.38 18-00.81	102	57.46	15.62 20.3 63
CQ7141	850927	0658	07.38 18-00.81	102	57.46	15.62 37.4 76
CQ7146	850927	1541	40.77 18-05.55	102	55.32	19.64 32.6 90
CQ7149	850927	1720	33.22 17-54.11	102	43.12	13.18 23.9 28

TABLA VI. CONT. REGISTROS LOCALIZADOS EN ZONA I. MICHOACAN

EVENUTO	TIEMPO DE	ORIGEN	LATITUD	LONGITUD	PROF.	DIST.	AZ
MA7150	850927	1922	30.12 18-13.78	103 8.43	16.58	18.7	104
MA7154	850928	0204	24.91 17-58.66	102 54.66	14.46	24.1	345
CQ7154	850928	0204	24.91 17-58.66	102 54.66	14.46	33.9	68
RC7163	850929	0010	12.43 17-56.91	102 32.20	19.25	11.6	349
MA7175	850930	0336	38.56 18-07.70	103 10.61	21.07	23.0	73
NX7175	850930	0336	38.56 18-07.70	103 10.61	21.07	41.4	95
CQ7175	850930	0336	38.56 18-07.70	103 10.61	21.07	59.6	94
CQ7186	851001	0212	57.60 17-51.26	102 41.29	16.82	27.5	16
NX7186	851001	0212	57.60 17-51.26	102 41.29	16.82	28.9	339
MA7186	851001	0212	57.60 17-51.26	102 41.29	16.82	47.4	321
CQ7189	851001	1248	08.71 18-20.37	102 42.16	33.28	28.8	161
CQ7190	851001	1631	47.96 18-03.72	102 32.45	18.07	8.5	294
NX7190	851001	1631	47.96 18-03.72	102 32.45	18.07	26.4	279
MA7202	851004	0604	59.62 18-10.75	103 9.51	20.77	20.1	87
NX7205	851004	1052	35.49 18-01.83	102 53.39	21.40	13.2	55
CQ7206	851004	1119	48.76 17-56.21	102 30.41	19.91	20.7	327
CQ7209	851005	1045	43.03 17-50.07	102 40.89	11.64	29.5	14
PV7209	851005	1045	43.03 17-50.07	102 40.89	11.64	57.6	66

TABLA VII. REGISTROS LOCALIZADOS EN LA ZONA II. GUERRERO

EVENTO	TIEMPO	DE ORIGEN	LATITUD	LONGITUD	PROF.	DIST.	AZ
MA7030	850921	2243	48.09	18-01.19	101	47.01	26.98 126.9 278
PA7167	850929	0859	48.21	16-50.05	100	35.81	13.14 73.6 319
NX7084	850924	0703	16.21	17-59.64	101	53.24	28.41 96.0 277
MA7084	850924	0703	16.21	17-59.64	101	53.24	28.41 116.5 281
RC7100	850925	0354	39.60	17-33.06	101	56.10	17.80 86.2 310
CQ7100	850925	0354	39.60	17-33.06	101	56.10	17.80 93.8 310
CQ7144	850927	1116	25.47	17-54.90	102	2.41	28.41 63.9 288
NX7144	850927	1116	25.47	17-54.90	102	2.41	28.41 81.7 284
PA7164	850929	0222	31.22	17-16.65	101	45.31	20.72 75.2 85
RC7165	850929	0327	22.61	17-55.31	102	5.90	23.79 50.8 286
PA7165	850929	0327	22.61	17-55.31	102	5.90	23.79 128.7 120
PA7168	850929	1224	11.21	17-33.66	101	52.01	19.39 90.3 106
PA7176	850930	0625	03.13	17-15.14	101	23.24	29.44 37.0 75
PA7177	850930	0759	33.44	17-29.40	101	25.12	4.91 42.7 113
PA7178	850930	0908	13.82	17-25.31	101	15.35	21.52 23.8 113
PA7188	851001	0320	28.17	17-52.38	101	39.39	29.38 87.5 133
ZH7191	851002	0503	20.87	17-20.88	101	42.67	19.04 39.5 6
UN7191	851002	0503	20.87	17-20.88	101	42.67	19.04 66.2 349
PA7191	851002	0503	20.87	17-20.88	101	42.67	19.04 70.3 91
ZH7194	851002	1649	38.03	17-45.20	101	49.83	17.35 17.9 108
CQ7194	851002	1649	38.03	17-45.20	101	49.83	17.35 91.2 294
UN7195	851003	0019	45.98	17-39.27	102	4.71	27.01 40.9 41
PV7195	851003	0019	45.98	17-39.27	102	4.71	27.01 44.8 345
PV7196	851003	0217	55.27	17-48.59	102	4.08	21.87 29.0 335
UN7196	851003	0217	55.27	17-48.59	102	4.08	21.87 29.0 61
UN7203	851004	0718	49.14	17-51.01	102	1.06	25.79 22.3 65
PA7204	851004	0848	29.12	17-30.91	101	46.63	23.29 79.7 104
PA7208	851005	0907	43.22	17-18.59	101	31.28	21.02 50.2 87



c) PROFUNDIDAD (KM) ZONA II

Figura 15. Histograma de profundidad de localización.

La principal actividad sísmica se encuentra dentro de los 10 y 30 km de profundidad (Figura 16), presentando un aparente ángulo de subducción de la placa de 14° . La parte distal a la costa (primeros metros del perfil) muestra un agrupamiento denso de eventos en un intervalo de 20 km aproximadamente y entre los 10 y 25 km de profundidad, la parte proximal muestra un agrupamiento más disperso y alcanza profundidades de hasta 35 km. La localización de este perfil, al igual que la de los restantes, se muestra en la Figura 17.

Los perfiles para las zonas I y II se realizan en dos diferentes transectos para cada uno de estas, el primero de los cuales guarda la misma orientación que las alineaciones generales y el segundo es paralelo a las alineaciones particulares de la zona, que sean más marcadas. El primer transecto de la zona I tiene su origen en las coordenadas 103.25°W longitud y 17.75°N latitud, en una distancia de 150 km y una amplitud lateral de 65 km, presentando una gran concentración de eventos en su parte distal a la costa, en un rango pequeño de distancia, y con un ángulo de subducción de 14° en un espesor de zona sismogénica de 13 km. El segundo transecto con orientación de 9° azimut, presenta un ángulo de subducción de 21° en un espesor de zona sismogénica de 12 km, presentando una mejor alineación y menor espesor de la zona sismogénica que el anterior (Figura 18a).

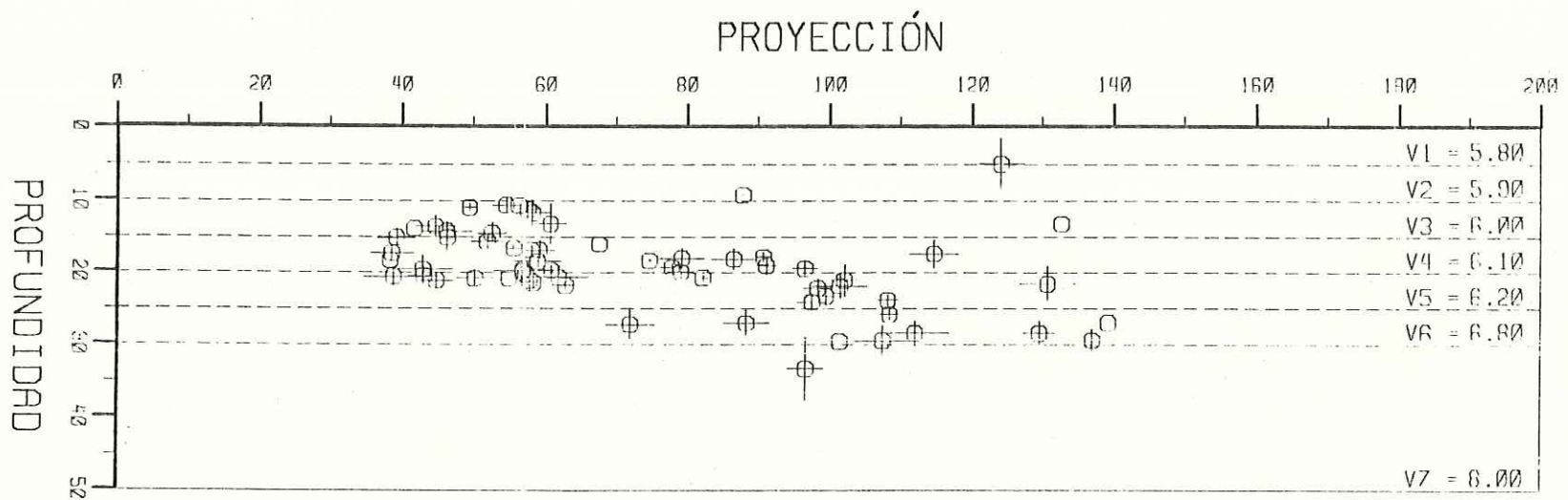


Figura 16. Proyección a profundidad de hipocentros.
Zona de vacancia sísmica Michoacán.

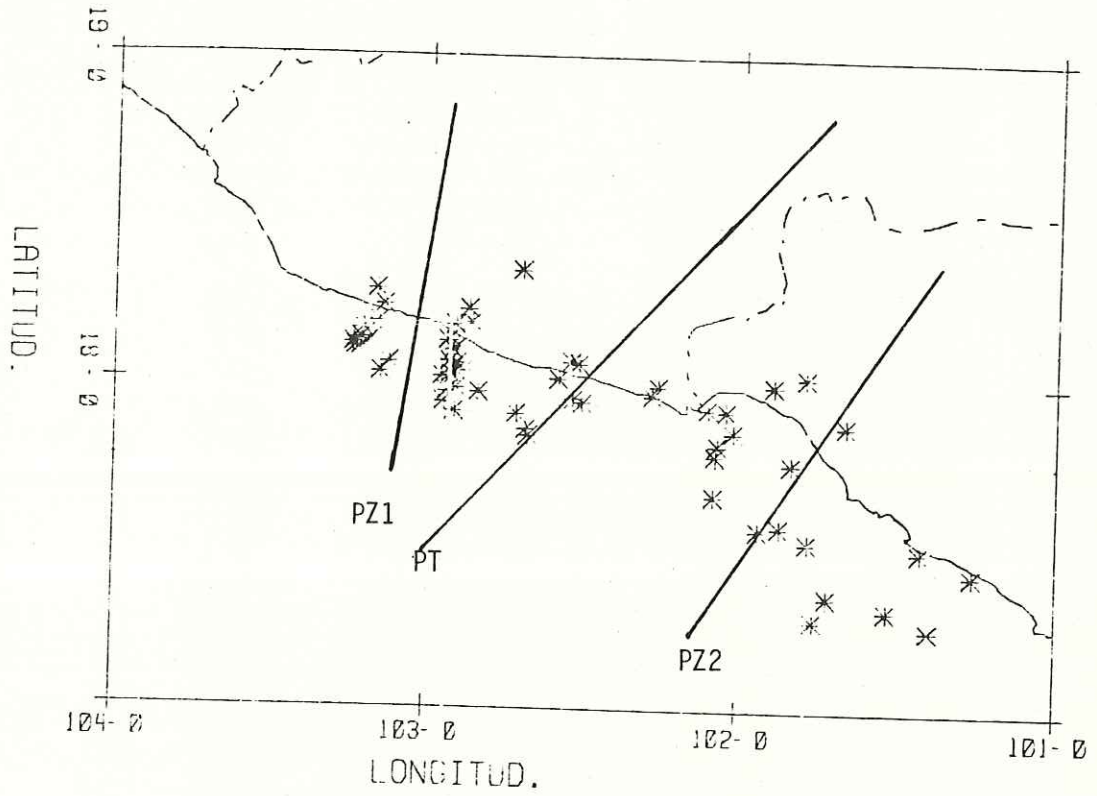


Figura 17a. Localización de perfiles principales.

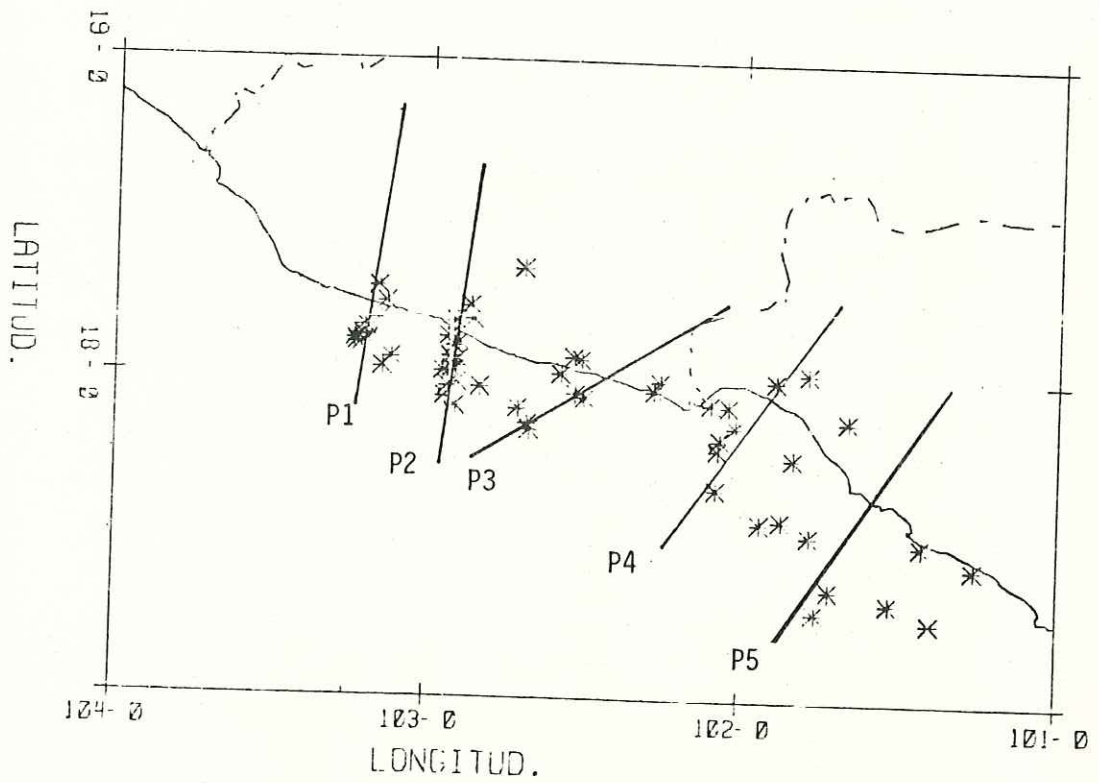


Figura 17b. Localización de perfiles auxiliares.

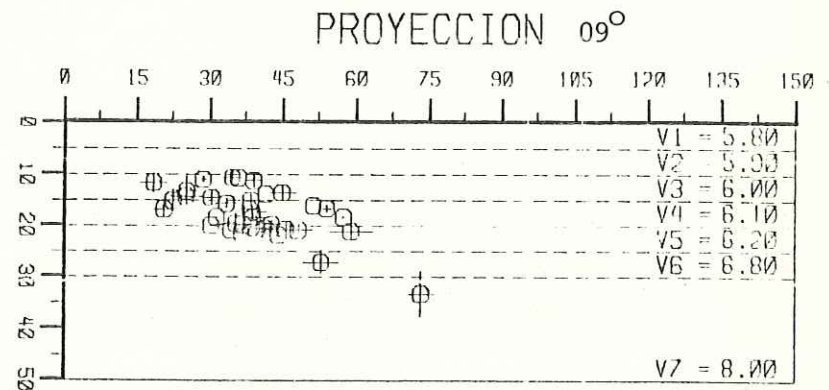
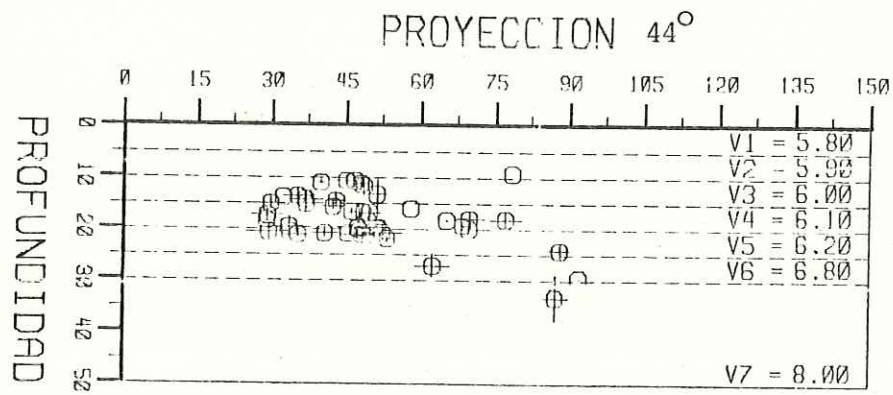


Figura 18a. Proyección a profundidad de hipocentros. zona I.

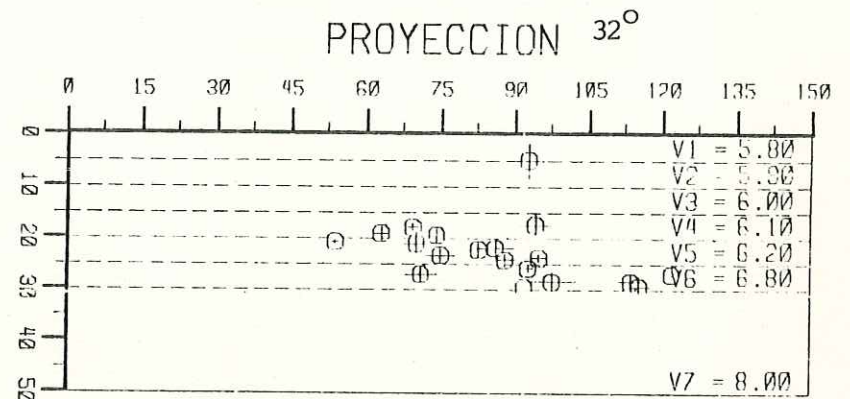
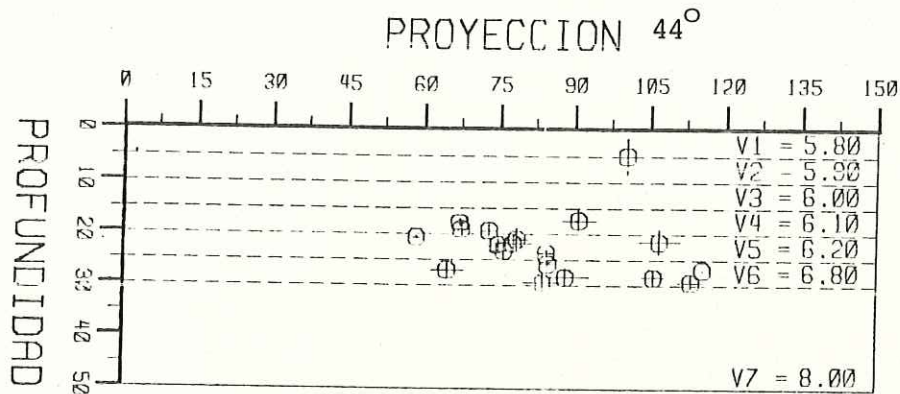


Figura 18b. Proyección a profundidad de hipocentros. zona II.

Para la zona II ambos transectos, tienen su origen en 102.25°W longitud y 17°N latitud, con una distancia máxima de 150 km y una amplitud lateral de 63 km. El primero presenta una distribución dispersa a profundidad, en un ángulo de subducción de 10° dentro de un espesor de zona sismogénica aparente de 15 km. El segundo con una orientación de 32° azimut, presenta un ángulo de subducción de 11° en un espesor de 8 km y con una mejor alineación de eventos (Figura 18b).

Trabajos realizados sobre la misma zona por Mendoza et al (1987) y Stolte et al (1986), definen la subducción de la placa de Cocos en ángulos de 12.5° y 14° respectivamente, por medio de perfiles con orientaciones de 26° y 23° de azimut, y presentando espesores de zona sismogénica de 10 km. Las diferencias con los resultados aquí obtenidos se basan principalmente en el ángulo de orientación de los perfiles y en la superposición de ambas distribuciones zonales diferenciadas dentro de un sólo perfil.

En un examen más detallado, se realizaron perfiles auxiliares sobre cada una de las alineaciones presentes (Figura 19), definiendo claramente los dos tipos de subducción que ya han sido mencionados, y una zona de transición representada por el perfil 3 (Figura 19a), lo cual lleva a suponer la zona entre las coordenada $102^{\circ}20'$ y $102^{\circ}45'$ como límite de la microplaca de Orozco (Fractura de Orozco) y el resto de la placa de Cocos,

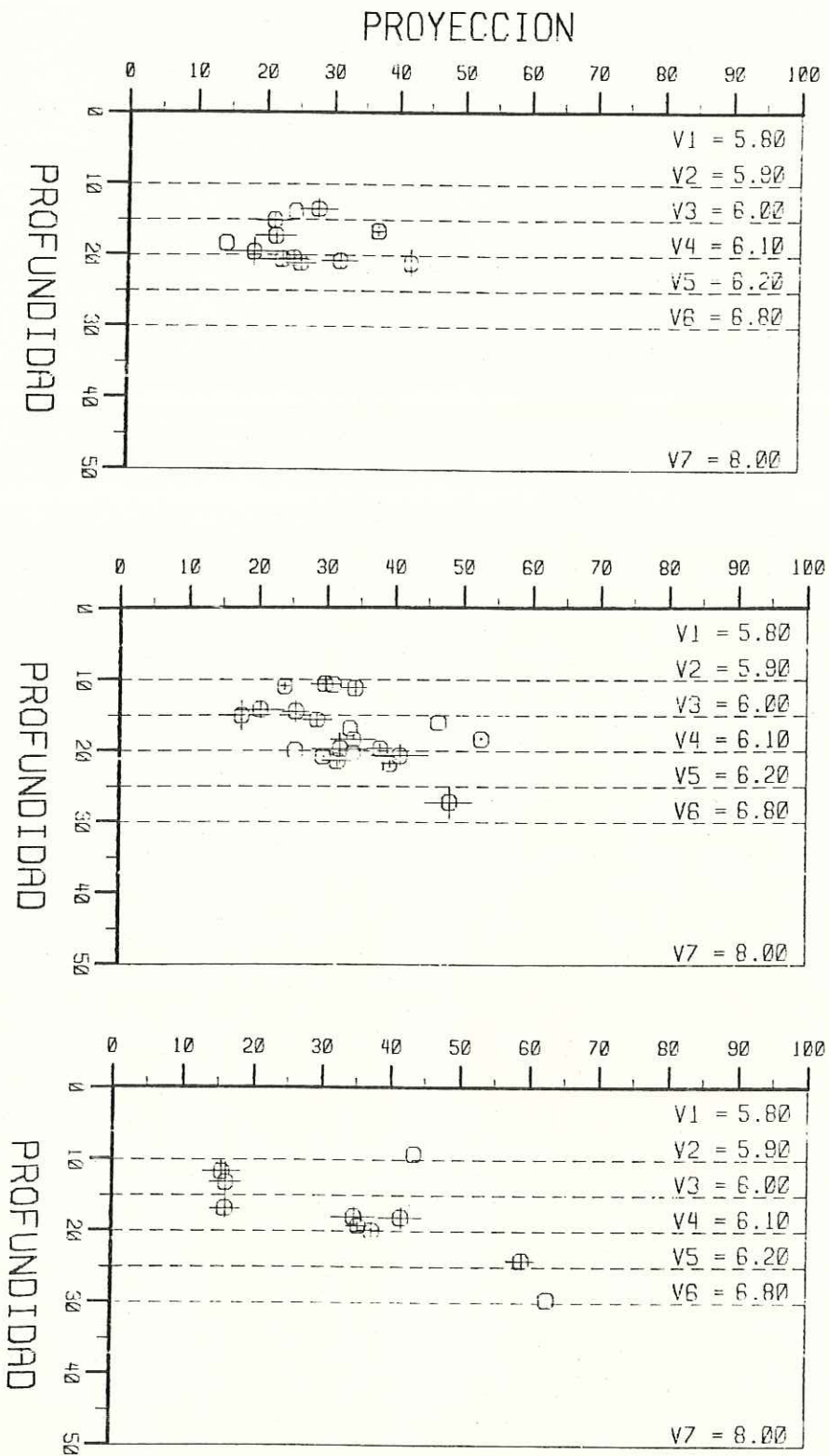


Figura 19a. Perfiles auxiliares de la zonaI.

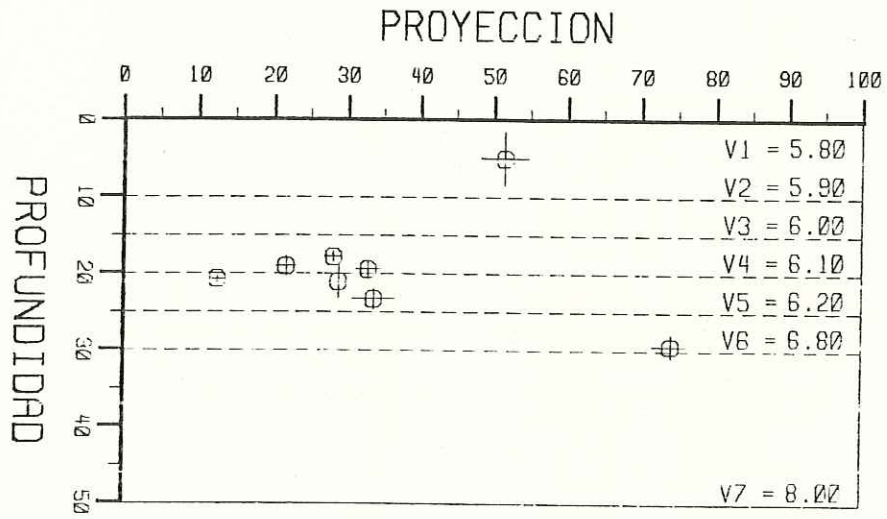
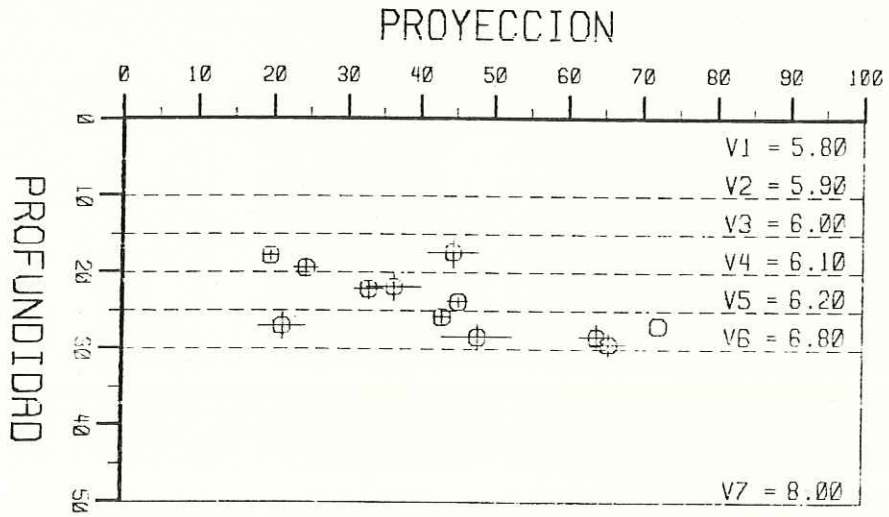


Figura 19b. Perfiles auxiliares de la zona II.

en su continuación subducente bajo la placa Norteamericana . Es notable observar que es en esta zona donde ocurrieron los subeventos del sismo del 19 de septiembre de 1985 (Figura 2). Las particularidades de cada uno de estos perfiles se muestran en la Tabla VIII.

En general, se puede observar que para la microplaca de Orozco es posible asociar, en un perfil con orientación de 9° de azimut, un ángulo de subducción de 21° y un espesor de zona sismogénica de 12 km. Mientras que la placa de Cocos en esta zona subduce en un ángulo de 12° en una orientación de 32° de azimut y presentando espesores de 8 km.

Estas características apoyan las observaciones en diferencias de anomalías magnéticas que se dan entre estas dos zonas (Nixon, 1982) postulándose que la microplaca de Orozco represente una placa oceánica de mayor edad en comparación a la placa de Cocos.

Tabla VIII Especificaciones de los perfiles auxiliares.

1,2,3 pertenecen a la zona I.
4,5 pertenecen a la zona II.

Perfil	Punto de origen		Azimut	Amplitud Lateral	Distancia	Angulo de zona sismogenetica	Espesor de zona sismogenetica
	Long. grados	Lat. grados					
1	103.20	17.90	9	10	100	21	10
2	102.95	17.75	9	10	100	22	15
3	102.80	17.75	58	15	100	14	8
4	102.20	17.50	32	30	100	14	12
5	101.85	17.20	32	30	100	12	6

VI.2 Análisis Espectral.

En base a los 94 registros utilizados para el cálculo de localización de hipocentros, se obtienen los espectros observados de las diferentes componentes de velocidad que contengan cada uno de éstos, eliminando para este efecto los registros que se encuentren saturados (que su amplitud máxima exceda la capacidad de registro del instrumento) o que no cuenten con un suficiente registro de onda S para el análisis espectral. En total se obtuvieron 218 espectros a partir de 83 registros en sus diferentes componentes.

Los espectros observados son posteriormente comparados por medio de un ajuste a su respectivo espectro de Brune, obteniéndose de esta manera el mismo número de juegos de parámetros focales, que incluyen el Momento sísmico, la Caída de esfuerzos y el Radio de la fuente. A partir del Momento sísmico se obtiene la Magnitud de Momento del evento por medio de la relación (Hanks y Kanamori, 1979; cita de Boatwright, 1985; Luco, 1985):

$$\log M_0 = 1.5M + 16.0$$

$$M = (2/3)\log M_0 - 10.7$$

A) Ajuste de espectros: La efectividad de los ajustes se evalúa por medio del índice estadístico $I(f)$ (descrito en el

capítulo V.3b), y donde el mejor ajuste está representado por el número 1 (Tabla IX). El promedio ponderado de dicho ajuste para las componentes vertical, horizontal N-S, y horizontal E-O, son de 1.869, 1.902 y 1.829, contando con diferencias máximas de 4%, y con desviaciones estándar un poco altas siendo 0.855, 0.880, y 0.842 respectivamente.

El promedio total de este índice es de 1.866 de ajuste con una desviación estándar de 0.86, (Figura 20). Los promedios y desviaciones estándar de los índices de ajuste para cada una de las estaciones son :

ESTACION	MEDIA	DES. ESTANDAR
MANZANILLA	1.718	0.58
NEXPA	1.865	0.646
CHIQUIAPAN	1.908	0.843
RIO CHUTA	2.370	1.098
PAPANOA	1.606	0.615
* LA UNION		
* VILLITAS		
* ZIHUATANEJO	1.807	0.756

* Por la poca cantidad de datos de cada una de estas estaciones se decidió unir las en el análisis estadístico.

En general se presentan buenos y malos ajustes (Figura 21). De todas las estaciones, Río Chuta es la que presenta los índices de ajuste más altos (malos ajustes), resultado de un gran contenido de altas frecuencias en los espectros observados para esta estación (p.e Figura 21a). Estas frecuencias, ya sean causadas por efectos de trayectoria o de la fuente, señalan características que no han sido tomadas en cuenta en los modelos teóricos de fuente y propagación. Es decir, que el

TABLA IX. Tabla de ajustes espectrales.

REGISTRO	CANAL1	CANAL2	CANAL3	PROMEDIO
CQ7094	2.380	--	1.809	2.094
CQ7100	1.624	--	1.568	1.596
CQ7113	2.248	--	2.217	2.232
CQ7114	1.825	--	1.581	1.703
CQ7131	2.155	--	1.806	1.980
CQ7134	1.860	--	1.563	1.711
CQ7141	2.076	--	2.116	2.096
CQ7144	2.373	--	1.936	2.154
CQ7154	3.141	--	2.195	2.668
CQ7161	1.668	--	1.381	1.524
CQ7175	1.897	--	1.737	1.817
CQ7186	1.908	--	2.068	1.988
CQ7189	1.909	--	3.291	2.600
CQ7190	1.469	--	1.777	1.623
CQ7194	1.680	--	1.789	1.734
CQ7206	1.678	--	1.570	1.624
CQ7209	1.675	--	1.392	1.533
CQ7218	1.756	--	1.720	1.738
MA7027	1.590	1.599	1.488	1.559
MA7030	1.818	1.494	1.500	1.604
MA7059	1.770	1.446	1.737	1.651
MA7064	1.656	1.575	1.519	1.583
MA7068	1.651	1.380	1.587	1.539
MA7071	1.715	1.928	1.492	1.712
MA7074	2.359	1.823	1.896	2.026
MA7076	1.437	1.822	1.524	1.594
MA7083	2.390	2.132	2.075	2.199
MA7084	1.554	1.381	1.564	1.500
MA7085	1.737	1.758	1.844	1.780
MA7089	1.765	1.511	1.377	1.551
MA7092	1.900	1.656	1.534	1.697
MA7094	1.436	1.998	1.676	1.703
MA7113	1.655	1.538	1.875	1.689
MA7114	1.776	1.768	1.950	1.831
MA7118	2.075	1.818	1.846	1.913
MA7131	2.011	1.546	1.716	1.758
MA7134	2.040	1.625	1.590	1.752
MA7150	1.553	1.806	2.076	1.812
MA7154	1.785	1.595	1.566	1.649
MA7175	1.794	1.635	1.602	1.677
MA7186	1.665	1.599	1.443	1.569
NX7077	1.748	1.740	1.773	1.754
NX7078	1.775	1.910	1.771	1.819
NX7084	1.549	1.528	1.728	1.602

TABLA IX. CONT. Tabla de ajustes espectrales.

REGISTRO	CANAL1	CANAL2	CANAL3	PROMEDIO
NX7092	1.696	2.015	2.063	1.925
NX7103	2.014	1.791	--	1.902
NX7104	1.753	1.913	--	1.833
NX7117	1.607	2.146	--	1.876
NX7131	1.884	2.141	--	2.012
NX7134	1.992	1.947	--	1.969
NX7141	1.676	2.031	--	1.853
NX7144	1.573	2.000	--	1.786
NX7175	1.647	1.734	--	1.690
NX7186	1.986	2.566	--	2.276
NX7190	1.848	2.336	--	2.092
NX7205	1.779	2.027	--	1.903
PA7164	1.345	1.553	1.499	1.466
PA7165	1.842	2.039	1.964	1.948
PA7167	1.776	1.698	1.564	1.679
PA7168	1.658	1.655	1.794	1.702
PA7176	1.601	1.510	1.715	1.609
PA7177	1.317	1.561	1.636	1.505
PA7191	1.366	1.490	1.478	1.445
PA7204	1.391	1.541	1.505	1.479
PA7208	1.613	1.573	1.434	1.540
RC7094	1.861	1.936	1.789	1.862
RC7096	2.608	2.713	2.190	2.504
RC7102	2.046	2.678	1.828	2.184
RC7103	1.890	1.995	1.940	1.942
RC7104	2.852	3.035	2.809	2.899
RC7139	2.155	2.078	2.074	2.102
RC7161	2.667	2.793	3.039	2.833
RC7163	2.262	2.192	2.302	2.252
RC7165	2.942	3.280	2.699	2.974
RC7218	2.404	2.308	2.327	2.346
PV7196	1.829	1.815	1.612	1.752
PV7209	1.467	1.595	1.352	1.471
UN7191	1.789	1.889	1.803	1.827
UN7195	2.249	2.252	2.058	2.186
UN7196	2.059	2.088	1.867	2.005
UN7203	1.936	1.766	1.779	1.827
ZH7191	1.340	1.942	--	1.641
ZH7194	1.499	1.442	--	1.470
PROMEDIO PONDERADO	1.869	1.902	1.829	
DESVIACION STANDART	0.855	0.880	0.842	
PROMEDIO TOTAL				1.866
DSV. STANDART TOTAL				0.860

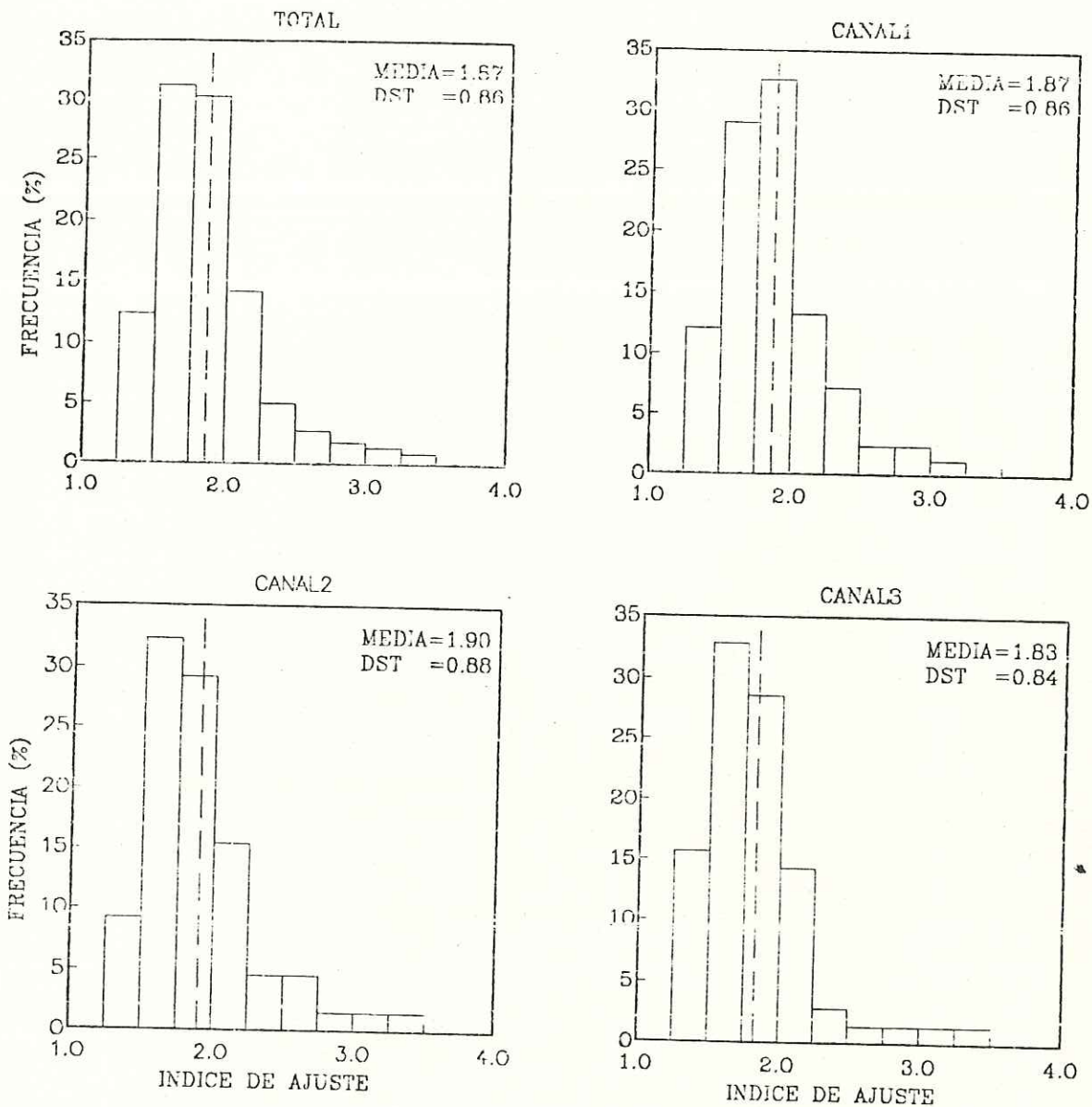


Figura 20. Histograma de ajuste de espectros. 3 canales de velocidad.

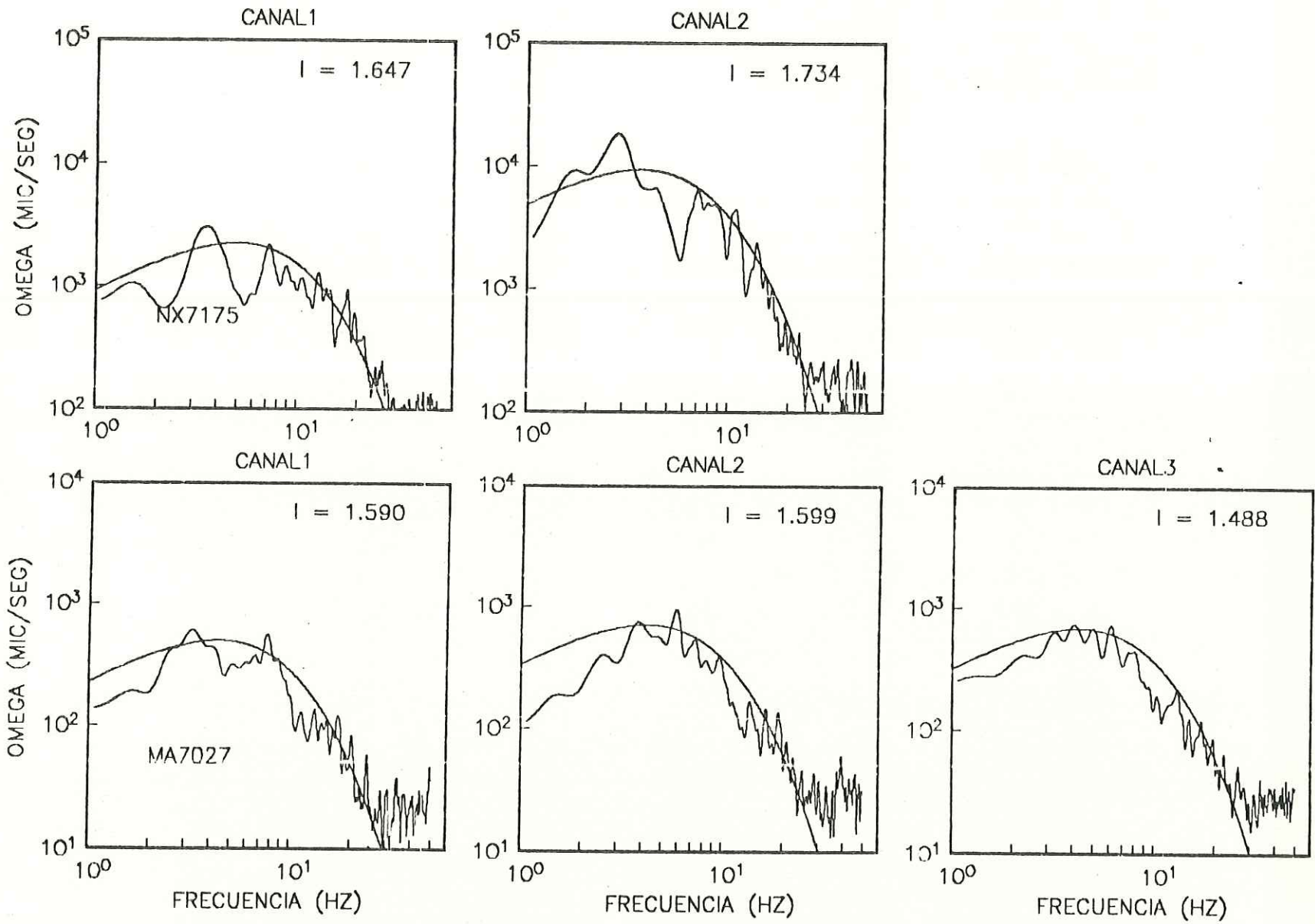


Figura 21a. Ejemplo de ajuste de espectros.

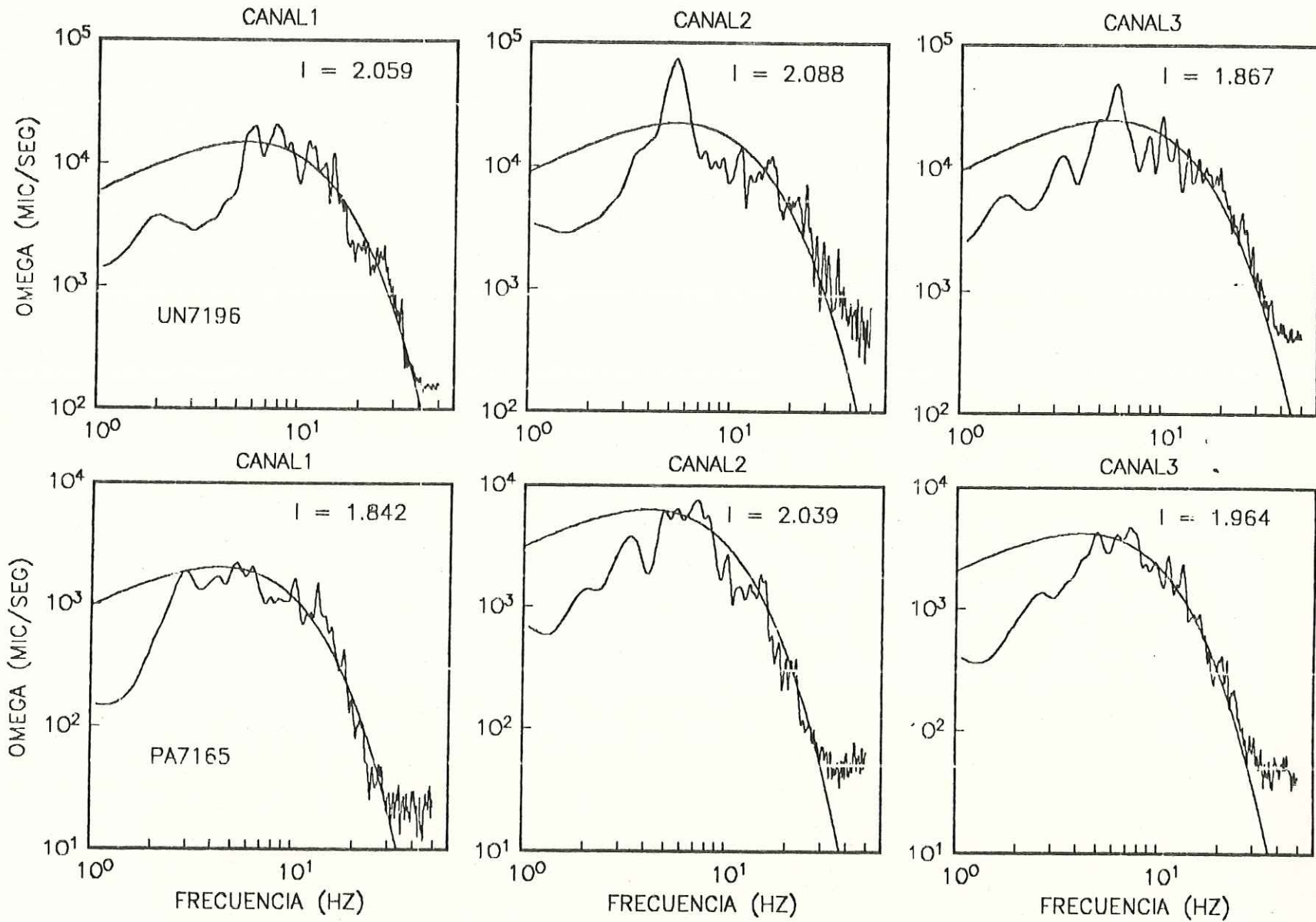


Figura 21b. Ejemplo de ajuste de espectros.

Momento : 0.579E 18
 C.Esfu. : 0.049
 fc : 6.87
 Radio : 173.40
 Q : 80.0

Momento : 0.810E 18
 C.Esfu. : 0.091
 fc : 7.58
 Radio : 157.30
 Q : 100.0

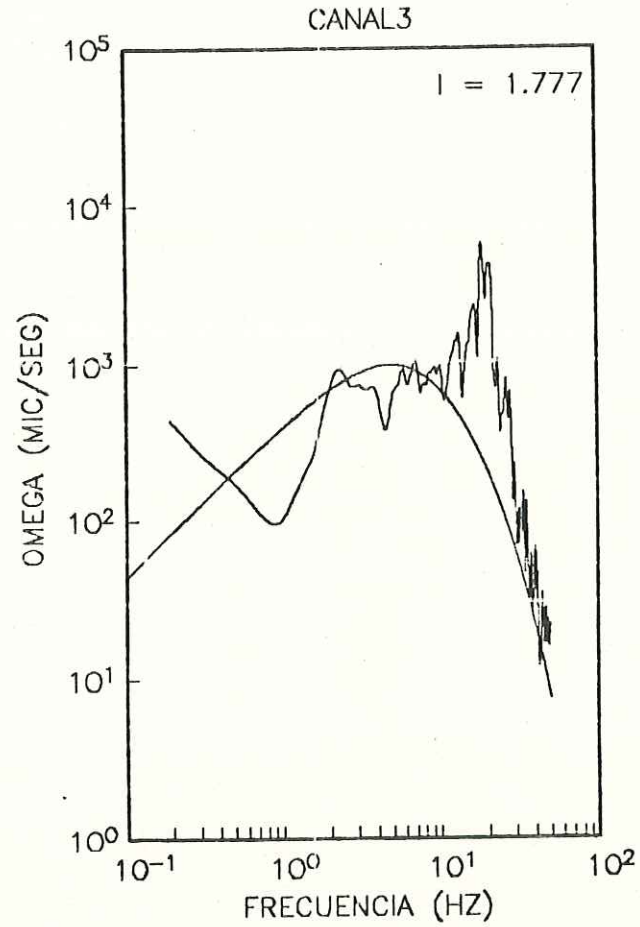
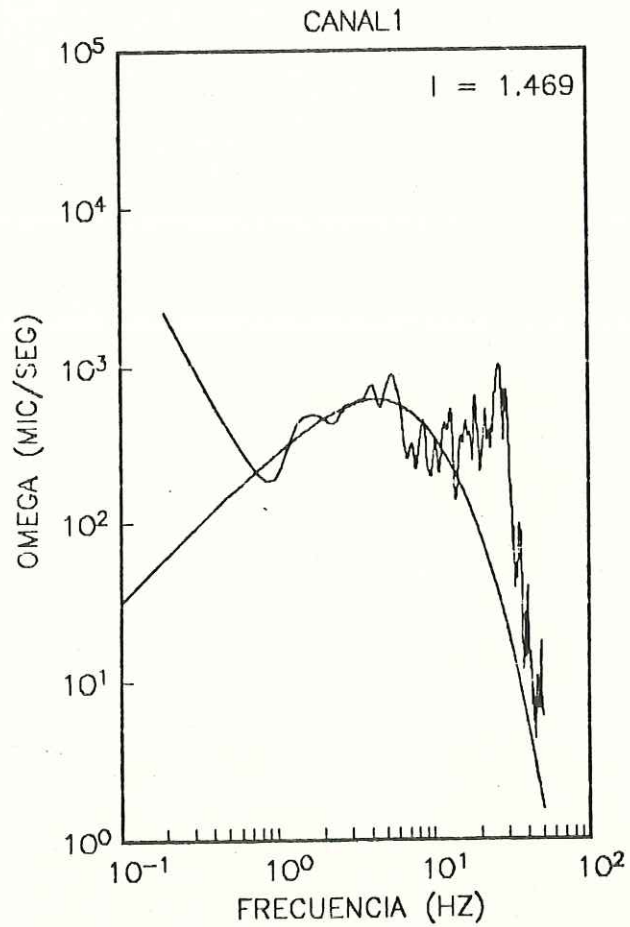


Figura 21c. Ejemplo de ajuste de espectros.

RC7104

Momento : 0.300E 19
 C.Esfu. : 0.857
 fc : 10.32
 Radio : 115.50
 Q : 400.0

Momento : 0.910E 19
 C.Esfu. : 2.243
 fc : 9.83
 Radio : 121.20
 Q : 300.0

Momento : 0.877E 19
 C.Esfu. : 2.625
 fc : 10.49
 Radio : 113.60
 Q : 300.0

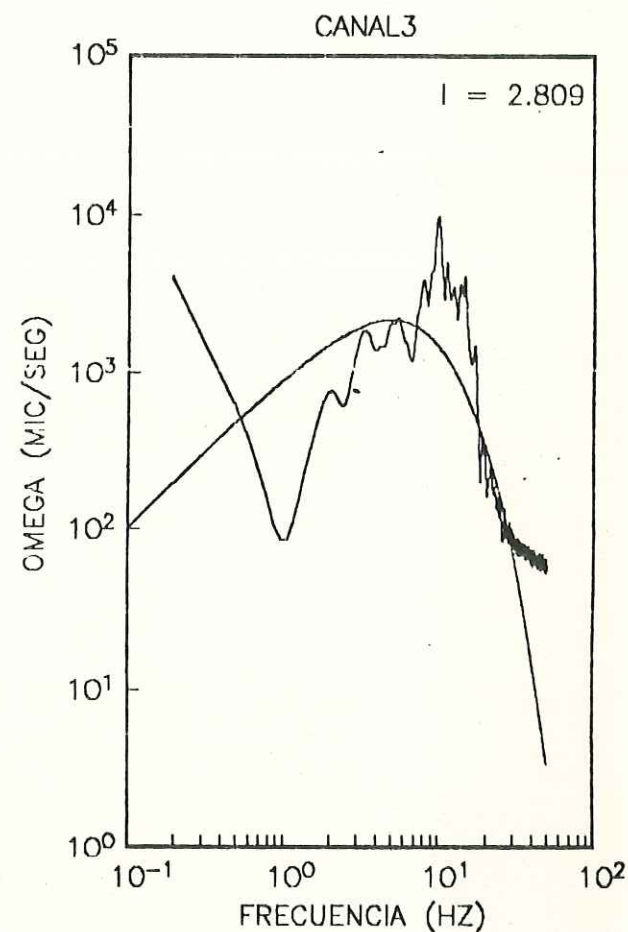
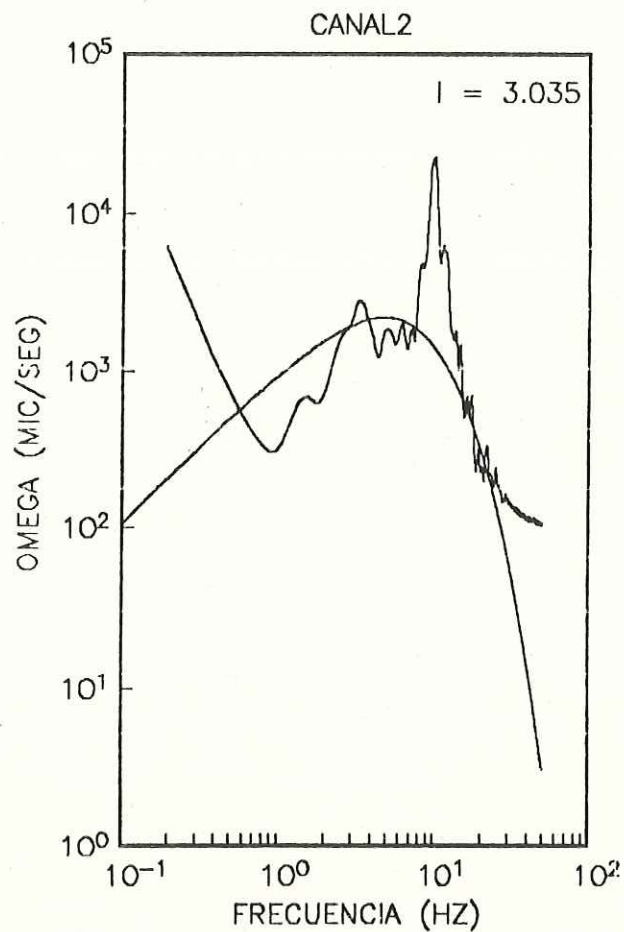
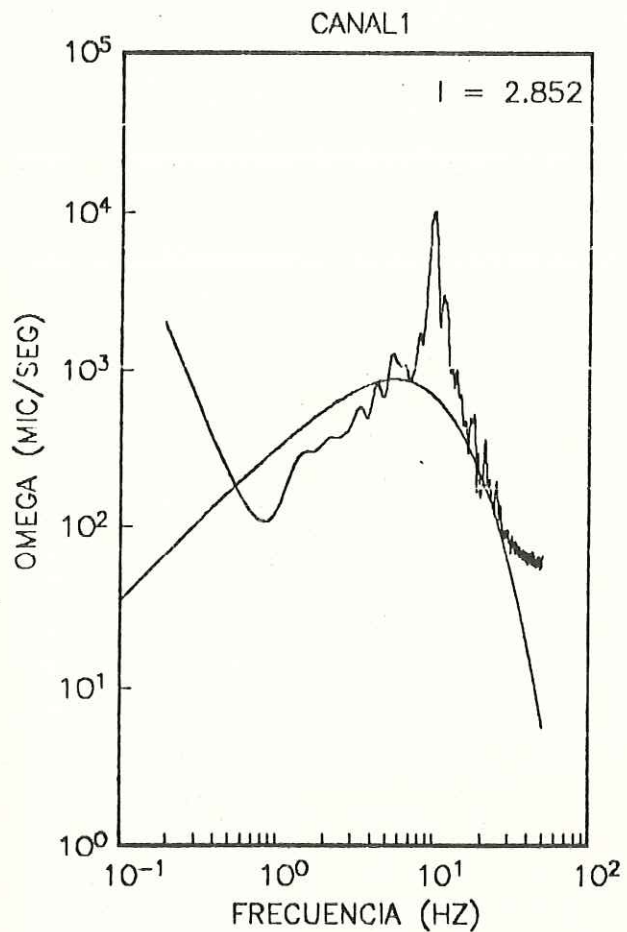


Figura 21d. Ejemplo de ajuste de espectros.

comportamiento de la zona es más compleja que ese modelo. Esto es una respuesta también a las expectativas para índices más bajos que no se dieron.

Una posible explicación para este efecto es la amplificación de las altas frecuencias, ocasionada por la resonancia de las ondas sísmicas en el período natural del suelo en la zona de registro (Brune, 1989, comunicación personal*).

A pesar de esto, los ajustes espectrales observados cuentan con índices lo suficientemente aceptables como para tomar en cuenta la representatividad de los parámetros focales obtenidos a partir de éstos.

De los 218 juegos de parámetros focales obtenidos 152 corresponden en localización hipocentral a la zona I (Tabla X) y los 66 restantes a la zona II (Tabla XI).

B) Distribución de parámetros focales :

Para este trabajo, los parámetros espectrales observados (Figura 22) muestran una relación entre Momento sísmico y Radio de la fuente, con límites inferiores para Caídas de esfuerzos menores a los 0.1 bares y superiores menores a los 200 bares.

* Scripps Institution of Oceanography La Jolla Cal.

TABLA X. Parámetros focales de la zona I. Michoacán.

EVENTO	CANAL	C. ESF.	F. ESQ.	MOMENTO	MAGNITUD	RADIO
CQ7094	1	0.858	3.89	0.563E 20	2.4668	0.3065
CQ7094	3	3.250	7.22	0.333E 20	2.3154	0.1652
CQ7113	1	0.341	3.70	0.259E 20	2.2417	0.3218
CQ7113	3	0.831	4.73	0.303E 20	2.2879	0.2521
CQ7114	1	0.474	4.73	0.173E 20	2.1254	0.2521
CQ7114	3	0.992	5.84	0.192E 20	2.1555	0.2041
CQ7131	1	0.794	6.13	0.133E 20	2.0485	0.1943
CQ7131	3	1.456	7.58	0.129E 20	2.0406	0.1573
CQ7134	1	0.126	5.38	0.312E 19	1.6291	0.2214
CQ7134	3	0.169	5.04	0.506E 19	1.7697	0.2362
CQ7141	1	0.221	5.04	0.664E 19	1.8483	0.2362
CQ7141	3	0.270	4.88	0.893E 19	1.9338	0.2440
CQ7154	1	0.036	3.76	0.262E 19	1.5790	0.3166
CQ7154	3	0.041	3.76	0.298E 19	1.6166	0.3166
CQ7161	1	0.012	9.51	0.535E 17	0.4522	0.1253
CQ7161	3	0.022	9.51	0.101E 18	0.6353	0.1253
CQ7175	1	2.357	5.47	0.554E 20	2.4626	0.2178
CQ7175	3	6.313	7.83	0.507E 20	2.4370	0.1523
CQ7186	1	0.247	5.94	0.454E 19	1.7383	0.2008
CQ7186	3	0.444	5.75	0.902E 19	1.9368	0.2074
CQ7189	1	0.051	6.65	0.669E 18	1.1837	0.1792
CQ7189	3	0.227	7.83	0.183E 19	1.4746	0.1523
CQ7190	1	0.049	6.87	0.579E 18	1.1415	0.1734
CQ7190	3	0.091	7.58	0.810E 18	1.2389	0.1573
CQ7206	1	0.037	13.17	0.624E 17	0.4966	0.0905
CQ7206	3	0.092	11.38	0.241E 18	0.8877	0.1047
CQ7209	1	0.599	13.17	0.101E 19	1.3028	0.0905
CQ7209	3	0.716	11.20	0.197E 19	1.4957	0.1064
CQ7218	1	0.040	7.58	0.350E 18	0.9962	0.1573
CQ7218	3	0.037	7.58	0.327E 18	0.9760	0.1573
MA7027	1	0.184	9.36	0.865E 18	1.2582	0.1273
MA7027	2	0.212	8.63	0.127E 19	1.3702	0.1381
MA7027	3	0.211	8.77	0.121E 19	1.3543	0.1359
MA7059	1	1.296	8.09	0.945E 19	1.9503	0.1474
MA7059	2	1.598	7.22	0.164E 20	2.1099	0.1652
MA7059	3	1.333	7.96	0.102E 20	1.9724	0.1498
MA7064	1	0.165	12.14	0.355E 18	1.0003	0.0981
MA7064	2	0.287	9.99	0.111E 19	1.3296	0.1193
MA7064	3	0.232	9.51	0.104E 19	1.3109	0.1253
MA7068	1	0.968	12.55	0.189E 19	1.4842	0.0950
MA7068	2	1.152	11.38	0.301E 19	1.6194	0.1047
MA7068	3	1.090	11.02	0.315E 19	1.6318	0.1082
MA7071	1	1.388	11.76	0.329E 19	1.6450	0.1014
MA7071	2	1.537	9.21	0.759E 19	1.8867	0.1294
MA7071	3	1.180	9.36	0.554E 19	1.7959	0.1273

TABLA X. Parámetros focales de la zona I. Michoacán.
cont.

EVENUTO	CANAL	C. ESF.	F. ESQ.	MOMENTO	MAGNITUD	RADIO
MA7074	1	1.457	8.63	0.874E 19	1.9277	0.1381
MA7074	2	2.396	9.67	0.102E 20	1.9727	0.1232
MA7074	3	2.287	8.77	0.131E 20	2.0441	0.1359
MA7076	1	0.049	6.98	0.549E 18	1.1263	0.1706
MA7076	2	0.056	5.94	0.103E 19	1.3077	0.2008
MA7076	3	0.051	5.94	0.932E 18	1.2796	0.2008
MA7083	1	0.371	11.95	0.839E 18	1.2490	0.0997
MA7083	2	0.601	10.84	0.182E 19	1.4732	0.1100
MA7083	3	0.720	9.99	0.278E 19	1.5965	0.1193
MA7085	2	0.079	8.77	0.448E 18	1.0678	0.1359
MA7085	1	0.034	8.22	0.235E 18	0.8805	0.1450
MA7085	3	0.073	9.06	0.378E 18	1.0184	0.1315
MA7089	1	0.403	9.06	0.209E 19	1.5128	0.1315
MA7089	2	0.687	9.06	0.356E 19	1.6677	0.1315
MA7089	3	0.746	9.06	0.387E 19	1.6914	0.1315
MA7092	1	5.970	6.23	0.950E 20	2.6186	0.1912
MA7092	2	14.887	6.98	0.168E 21	2.7842	0.1706
MA7092	3	16.408	6.98	0.186E 21	2.8124	0.1706
MA7094	1	10.621	8.49	0.669E 20	2.5169	0.1404
MA7094	2	35.837	8.49	0.226E 21	2.8690	0.1404
MA7094	3	25.726	7.33	0.251E 21	2.9002	0.1625
MA7113	1	0.622	8.35	0.411E 19	1.7094	0.1427
MA7113	2	1.034	7.58	0.916E 19	1.9413	0.1573
MA7113	3	1.137	8.22	0.789E 19	1.8982	0.1450
MA7114	1	1.551	9.83	0.629E 19	1.8326	0.1212
MA7114	2	3.000	8.63	0.180E 20	2.1367	0.1381
MA7114	3	2.870	9.36	0.135E 20	2.0533	0.1273
MA7118	1	0.161	10.49	0.537E 18	1.1198	0.1136
MA7118	2	0.270	10.49	0.902E 18	1.2700	0.1136
MA7118	3	0.010	7.00	0.100E 19	1.3000	0.1703
MA7131	1	1.969	10.84	0.596E 19	1.8170	0.1100
MA7131	2	2.403	9.67	0.102E 20	1.9736	0.1232
MA7131	3	1.623	9.06	0.841E 19	1.9165	0.1315
MA7134	1	0.114	7.83	0.918E 18	1.2751	0.1523
MA7134	2	0.197	8.35	0.130E 19	1.3758	0.1427
MA7134	3	0.231	8.77	0.132E 19	1.3800	0.1359
MA7150	1	0.260	10.15	0.957E 18	1.2871	0.1174
MA7150	2	0.655	10.15	0.241E 19	1.5547	0.1174
MA7150	3	0.586	9.51	0.262E 19	1.5792	0.1253
MA7154	1	0.164	10.49	0.548E 18	1.1256	0.1136
MA7154	2	0.256	9.67	0.109E 19	1.3255	0.1232
MA7154	3	0.269	10.15	0.992E 18	1.2975	0.1174
MA7175	1	2.490	10.15	0.917E 19	1.9415	0.1174
MA7175	2	3.795	10.15	0.140E 20	2.0635	0.1174
MA7175	3	3.443	10.15	0.127E 20	2.0353	0.1174

TABLA X. Parámetros focales de la zona I. Michoacán.
cont.

EVENUTO	CANAL	C. ESF.	F. ESQ.	MOMENTO	MAGNITUD	RADIO
MA7186	1	1.304	9.06	0.676E 19	1.8532	0.1315
MA7186	2	3.234	9.06	0.168E 20	2.1161	0.1315
MA7186	3	2.156	9.06	0.112E 20	1.9987	0.1315
NX7077	1	1.968	9.06	0.102E 20	1.9723	0.1315
NX7077	2	2.513	7.83	0.202E 20	2.1702	0.1523
NX7077	3	0.869	7.33	0.849E 19	1.9194	0.1625
NX7078	1	0.423	8.49	0.266E 19	1.5838	0.1404
NX7078	2	0.677	6.65	0.887E 19	1.9320	0.1792
NX7078	3	1.055	11.38	0.276E 19	1.5940	0.1047
NX7092	1	1.474	4.22	0.757E 20	2.5528	0.2825
NX7092	2	4.714	4.02	0.280E 21	2.9318	0.2967
NX7092	3	2.870	4.02	0.171E 21	2.7881	0.2967
NX7103	1	0.688	5.04	0.207E 20	2.1767	0.2362
NX7103	2	0.864	5.21	0.235E 20	2.2143	0.2287
NX7104	1	0.260	7.83	0.209E 19	1.5136	0.1523
NX7104	2	0.700	7.10	0.754E 19	1.8848	0.1679
NX7117	1	2.961	11.76	0.703E 19	1.8644	0.1014
NX7117	2	2.112	6.13	0.353E 20	2.3320	0.1943
NX7131	1	0.350	4.58	0.141E 20	2.0662	0.2605
NX7131	2	1.113	4.36	0.519E 20	2.4432	0.2735
NX7134	1	0.380	6.23	0.605E 19	1.8214	0.1912
NX7134	2	1.162	6.54	0.160E 20	2.1022	0.1821
NX7141	1	0.223	6.44	0.322E 19	1.6381	0.1851
NX7141	2	0.638	5.04	0.192E 20	2.1551	0.2362
NX7175	1	3.653	11.38	0.956E 19	1.9536	0.1047
NX7175	2	5.367	7.33	0.524E 20	2.4465	0.1625
NX7186	1	0.663	5.75	0.135E 20	2.0532	0.2074
NX7186	2	2.467	5.65	0.526E 20	2.4476	0.2108
NX7190	1	0.133	5.30	0.346E 19	1.6591	0.2250
NX7190	2	0.273	3.95	0.171E 20	2.1214	0.3015
NX7205	1	0.034	7.10	0.362E 18	1.0057	0.1679
NX7205	2	0.048	6.03	0.848E 18	1.2524	0.1975
RC7094	1	12.992	12.34	0.266E 20	2.2502	0.0965
RC7094	2	16.041	12.34	0.329E 20	2.3113	0.0965
RC7094	3	17.650	12.96	0.312E 20	2.2965	0.0919
RC7096	1	0.480	10.66	0.153E 19	1.4225	0.1118
RC7096	2	0.708	9.51	0.317E 19	1.6340	0.1253
RC7096	3	0.777	9.99	0.300E 19	1.6183	0.1193
RC7102	1	1.440	14.06	0.200E 19	1.5003	0.0848
RC7102	2	1.298	11.76	0.308E 19	1.6256	0.1014
RC7102	3	1.854	11.76	0.440E 19	1.7289	0.1014
RC7103	1	10.494	8.92	0.571E 20	2.4710	0.1337
RC7103	2	14.413	9.99	0.557E 20	2.4640	0.1193
RC7103	3	13.879	9.67	0.592E 20	2.4813	0.1232
RC7104	1	0.857	10.32	0.300E 19	1.6184	0.1155

TABLA X. Parámetros focales de la zona I. Michoacán.
cont.

EVENTO	CANAL	C. ESF.	F. ESQ.	MOMENTO	MAGNITUD	RADIO
RC7104	2	2.243	9.83	0.910E 19	1.9395	0.1212
RC7104	3	2.625	10.49	0.877E 19	1.9285	0.1136
RC7139	1	2.231	7.96	0.171E 20	2.1217	0.1498
RC7139	2	3.887	7.45	0.362E 20	2.3389	0.1599
RC7139	3	6.197	9.51	0.277E 20	2.2620	0.1253
RC7161	1	0.318	19.79	0.158E 18	0.7660	0.0602
RC7161	2	0.289	17.66	0.202E 18	0.8372	0.0675
RC7161	3	0.461	19.79	0.230E 18	0.8740	0.0602
RC7163	1	0.198	13.83	0.289E 18	0.9407	0.0862
RC7163	2	0.386	12.96	0.683E 18	1.1898	0.0919
RC7163	3	0.647	15.01	0.738E 18	1.2120	0.0794
RC7218	1	0.178	11.38	0.466E 18	1.0790	0.1047
RC7218	2	0.319	11.38	0.836E 18	1.2480	0.1047
RC7218	3	0.240	10.32	0.842E 18	1.2503	0.1155
PV7209	1	9.549	9.99	0.369E 20	2.3448	0.1193
PV7209	2	15.124	8.63	0.907E 20	2.6051	0.1381
PV7209	3	13.154	9.67	0.561E 20	2.4658	0.1232

TABLA XI. Parámetros focales de la zona II. Guerrero.

EVENTO	CANAL	C. ESF.	F. ESQ.	MOMENTO	MAGNITUD	RADIO
CQ7100	1	5.026	5.56	0.113E 21	2.6677	0.2143
CQ7100	3	9.021	6.76	0.113E 21	2.6675	0.1763
CQ7144	1	6.267	5.13	0.179E 21	2.8023	0.2324
CQ7144	3	6.379	4.80	0.222E 21	2.8639	0.2481
CQ7194	1	23.104	12.34	0.474E 20	2.4169	0.0965
CQ7194	3	23.104	12.34	0.474E 20	2.4169	0.0965
MA7030	1	45.775	11.57	0.114E 21	2.6714	0.1030
MA7030	2	55.129	10.49	0.184E 21	2.8100	0.1136
MA7030	3	56.266	10.32	0.197E 21	2.8300	0.1155
MA7084	1	92.289	8.77	0.527E 21	3.1146	0.1359
MA7084	2	160.173	8.77	0.915E 21	3.2743	0.1359
MA7084	3	160.173	8.77	0.915E 21	3.2743	0.1359
NX7084	1	19.370	4.08	0.110E 22	3.3268	0.2919
NX7084	2	28.586	4.08	0.162E 22	3.4395	0.2919
NX7084	3	28.886	4.29	0.141E 22	3.4001	0.2780
NX7144	1	12.948	4.65	0.496E 21	3.0971	0.2563
NX7144	2	22.895	4.43	0.102E 22	3.3045	0.2691
PA7164	1	0.722	8.09	0.526E 19	1.7808	0.1474
PA7164	2	1.541	7.33	0.151E 20	2.0852	0.1625
PA7164	3	1.401	8.63	0.840E 19	1.9163	0.1381
PA7165	1	28.725	15.01	0.328E 20	2.3104	0.0794
PA7165	2	53.908	12.55	0.105E 21	2.6481	0.0950
PA7165	3	43.157	13.39	0.693E 20	2.5272	0.0890
PA7167	1	0.609	5.13	0.174E 20	2.1274	0.2324
PA7167	2	1.616	6.76	0.202E 20	2.1696	0.1763
PA7167	3	1.466	6.76	0.183E 20	2.1414	0.1763
PA7168	1	10.470	12.34	0.215E 20	2.1877	0.0965
PA7168	2	26.816	12.34	0.550E 20	2.4600	0.0965
PA7168	3	19.389	12.34	0.397E 20	2.3661	0.0965
PA7176	1	6.494	15.50	0.672E 19	1.8516	0.0769
PA7176	2	11.270	15.50	0.117E 20	2.0112	0.0769
PA7176	3	11.270	15.50	0.117E 20	2.0112	0.0769
PA7177	1	3.793	20.11	0.180E 19	1.4698	0.0593
PA7177	2	8.673	20.11	0.411E 19	1.7093	0.0593
PA7177	3	5.749	18.84	0.331E 19	1.6468	0.0632
PA7191	1	10.611	9.21	0.524E 20	2.4460	0.1294
PA7191	2	18.768	8.49	0.118E 21	2.6817	0.1404
PA7191	3	15.604	9.36	0.733E 20	2.5435	0.1273
PA7204	1	45.172	14.76	0.541E 20	2.4556	0.0807
PA7204	2	58.019	11.76	0.138E 21	2.7259	0.1014
PA7204	3	58.195	13.83	0.848E 20	2.5854	0.0862
PA7208	1	12.228	13.83	0.178E 20	2.1338	0.0862
PA7208	2	17.756	13.83	0.259E 20	2.2417	0.0862
PA7208	3	10.411	12.75	0.194E 20	2.1578	0.0935

TABLA XI. Parámetros focales de la zona II. Guerrero.
cont.

EVENTO	CANAL	C. ESF.	F. ESQ.	MOMENTO	MAGNITUD	RADIO
RC7165	1	1.815	15.01	0.207E 19	1.5108	0.0794
RC7165	2	1.800	15.01	0.205E 19	1.5084	0.0794
RC7165	3	2.016	15.01	0.230E 19	1.5413	0.0794
PV7196	1	1.375	6.44	0.198E 20	2.1651	0.1851
PV7196	2	2.114	6.13	0.353E 20	2.3321	0.1943
PV7196	3	1.445	7.10	0.156E 20	2.0947	0.1679
UN7191	1	11.302	6.76	0.141E 21	2.7327	0.1763
UN7191	2	40.170	9.67	0.171E 21	2.7890	0.1232
UN7191	3	50.476	10.49	0.169E 21	2.7845	0.1136
UN7195	1	13.293	14.52	0.167E 20	2.1156	0.0820
UN7195	2	15.343	11.95	0.347E 20	2.3267	0.0997
UN7195	3	22.758	12.96	0.403E 20	2.3701	0.0919
UN7196	1	45.018	16.01	0.423E 20	2.3839	0.0744
UN7196	2	56.354	15.01	0.643E 20	2.5055	0.0794
UN7196	3	77.875	16.28	0.696E 20	2.5285	0.0732
UN7203	1	28.632	18.84	0.165E 20	2.1116	0.0632
UN7203	2	42.877	20.44	0.194E 20	2.1579	0.0583
UN7203	3	23.067	15.01	0.263E 20	2.2469	0.0794
ZH7191	1	45.753	12.96	0.810E 20	2.5723	0.0919
ZH7191	2	35.290	12.14	0.759E 20	2.5537	0.0981
ZH7194	1	3.412	13.61	0.522E 19	1.7783	0.0876
ZH7194	2	5.286	13.61	0.808E 19	1.9051	0.0876

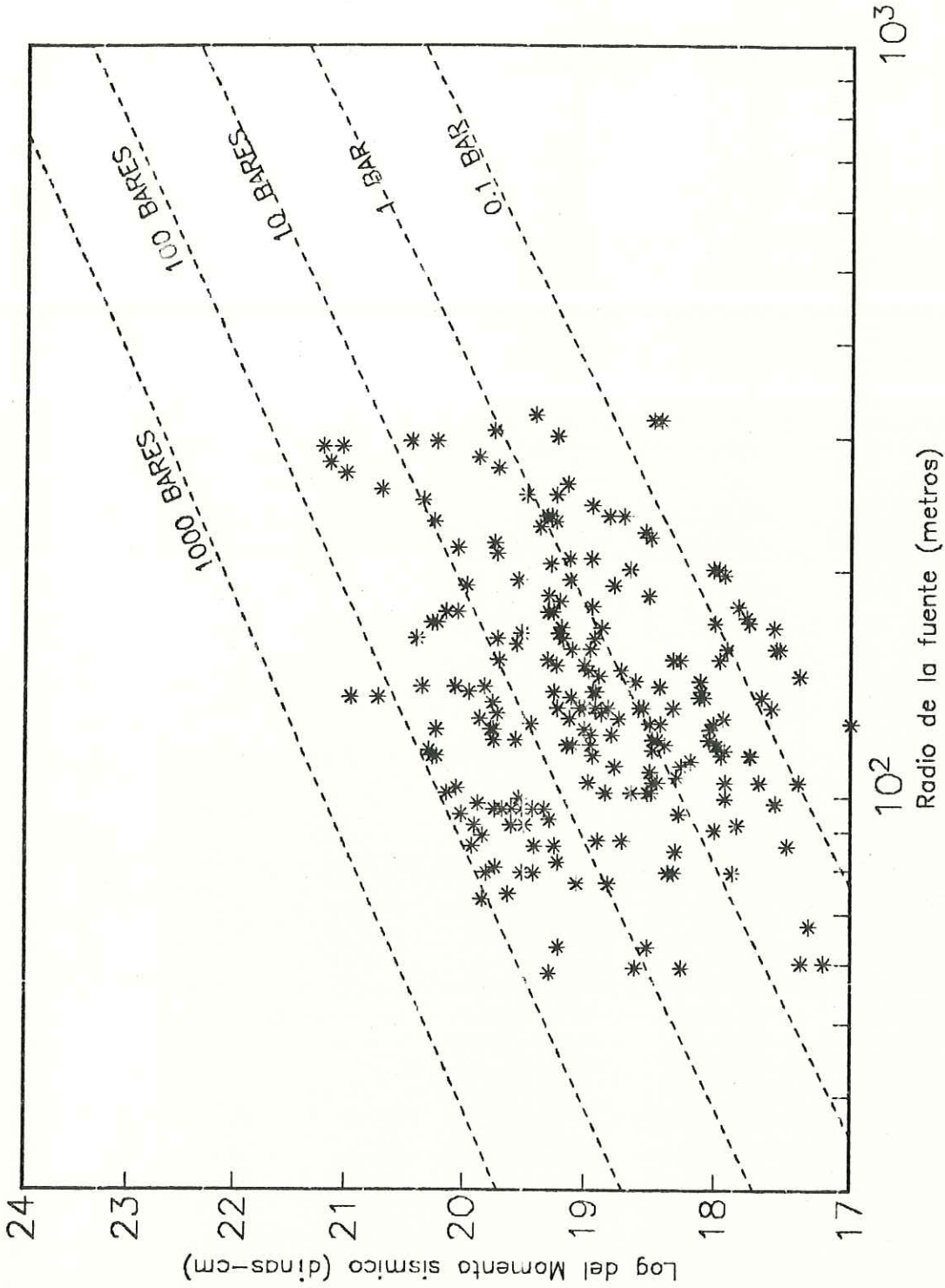


Figura 22. Parámetros espectrales de fuente. Zona de vacancia sísmica de Michoacán.

En general, se ha observado que los parámetros espectrales para eventos mayores ($M_s > 7.1$) muestran una relación entre el Momento sísmico y las dimensiones de la fuente, con Caídas de esfuerzo del orden de decenas de bares (Hanks y Wyss, 1972) y en ocasiones de centenas (Hanks y McGuire, 1981).

Al evento del 19 de septiembre de 1985 se le calculó una Caída de esfuerzos de 19 bares (Priestley y Masters, 1986). Y para los sismos de Colima (1973) y Playa Azul (1981) el cálculo fué de 10 bares (Reyez et al, 1979; Singh et al, 1981), considerándose un promedio de Caída de esfuerzos para esta zona de 20 bares (Kanamori y Anderson; cita de MC Nally et al, 1981).

En cambio para las réplicas se ha observado que este límite es muy variable (Tucker y Brune, 1973; Archuleta et al, 1982; Brune et al, 1985; De Natalle et al, 1987) y que dependerá particularmente de las características geotectónicas de la fuente (Figura 23).

La características y distribución de los parámetros focales, serán indicativos de las condiciones en que un régimen tectónico determinado, dé origen a los esfuerzos ejercidos sobre una zona propensa a terremotos.

Para esclarecer un poco más este concepto nos basaremos en

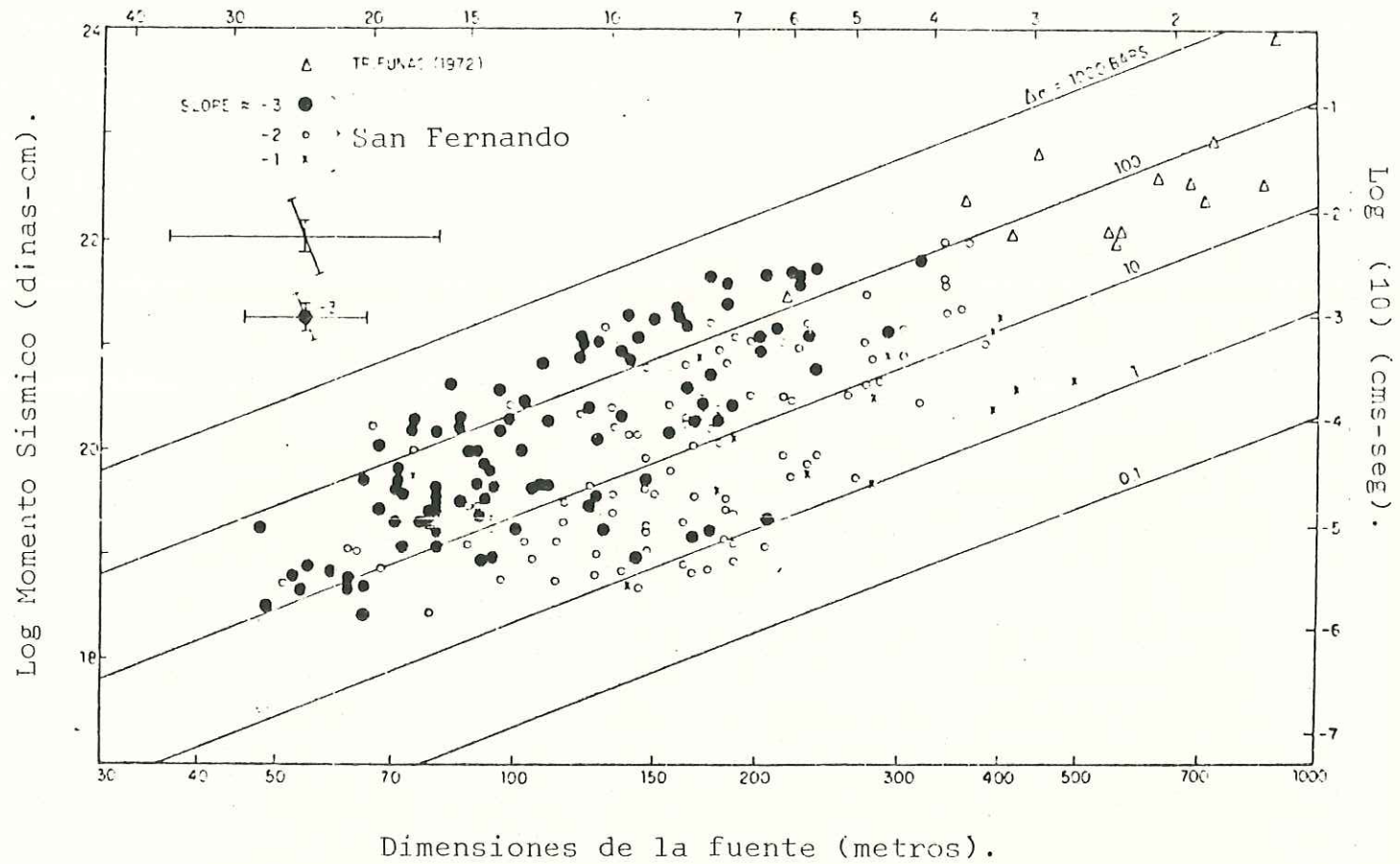


Figura 23 . Parámetros espectrales observados. Replicas sismo San Fernando (tomado de Tucker & Brune, 1973).

que, de acuerdo a definiciones citadas por Strehlau (1977), en un plano de falla determinado, el esfuerzo necesario para lograr una aceleración en ambos lados de ésta, es denominado esfuerzo efectivo y al esfuerzo que se opone a dicha aceleración se le denomina esfuerzo friccional. Al producirse la aceleración, el esfuerzo es liberado en forma de energía calórica radiada y en forma de ondas sísmicas, este último aspecto es conocido como Caída de esfuerzos, es decir, la diferencia de esfuerzos antes y después del desplazamiento. En cambio al estado de esfuerzos general que guarda una zona de falla, debido a los procesos geodinámicos de la litosfera se le conoce como esfuerzo tectónico .

En base a ésto, y a partir de diferentes modelos (Kanamori, 1972; Abe, 1974a,b, 1975; cita de Strehlau, 1977) se ha encontrado que el esfuerzo efectivo y la Caída de esfuerzos en algunas zonas son muy cercanos en valor (30-100 bares) implicando entonces que el esfuerzo friccional y el final después del deslizamiento guarden también una relación de proporcionalidad equitativa. Sin embargo, en ocasiones en que esta relación no es muy cercana, la Caída de esfuerzos sólo representa una porción del esfuerzo efectivo aplicado.

De la misma manera, se ha calculado (Kanamori y Anderson, 1975; cita de Strehlau, 1977), que para bajos esfuerzos friccionales el esfuerzo tectónico inicial es del orden de sólo

unos cientos de bares y así, siendo aproximadamente igual a la Caída de esfuerzos, se representa una liberación de esfuerzos casi completa. En cambio, si el esfuerzo friccional es grande los esfuerzos tectónicos pueden ser del orden de kilobares y en ese caso sólo una porción del esfuerzo acumulado será liberado y representado por la Caída de esfuerzos, haciendo notar que las características mineralógicas y físicas sobre el plano de falla son los términos dominantes que afectan las características de liberación del esfuerzo y en particular si éste es parcial o completo.

De esta manera, eventos con Caídas de esfuerzo parcial pueden ocurrir cuando la falla se detiene prematuramente y se encadena después de la fase de ruptura, de tal manera que el deslizamiento a lo largo de la falla no alcance un valor correspondiente al esfuerzo dinámico promedio aplicado sobre ésta; o cuando el esfuerzo liberado no es uniforme y coherente a lo largo de todo el plano de falla, sino más bien como una serie de eventos múltiples con secciones de falla que permanescan selladas (Brune, 1985).

A este respecto, tres tipos de eventos sísmicos han sido clasificados a partir de sus valores de Caídas de esfuerzo (Brune, 1985). Eventos de Caídas de esfuerzo parciales (<100 bares), Caídas de esfuerzo completa (\approx 100 bares) y eventos sobreesforzados con Caídas de esfuerzo mayores que el esfuerzo

efectivo absoluto que puede ser mantenido durante años (>300 bares).

Para explicar eventos con bajas Caídas de esfuerzo (<100 bares) existen dos teorías: modelos de Caídas de esfuerzo parcial y modelos de bajo esfuerzo efectivo.

Los bajos valores de Caídas de esfuerzos para los eventos principales en la zona de estudio sugieren la presencia de complejidades focales que liberen Caídas de esfuerzo parciales. Estas complejidades pueden ser el resultado de la presencia de barreras y asperezas como las sugeridas en modelos para otras zonas (Das y Kanamori, 1977; Madariaga, 1980; Shipley et al, 1980; Kelleher et al, 1974, citados por McNally et al, 1986); Madariaga, 1985). Sumadas a la liberación no uniforme de los esfuerzos por la interacción de las diferentes placas en esta zona.

En cambio para las réplicas, representando esfuerzos efectivos menores debidos a la liberación del rompimiento principal, estos bajos valores de Caídas de esfuerzo representan diferencias en los esfuerzos tectónicos ejercidos en la totalidad de la zona.

En relación a ésto, la zona de la trinchera donde convergen las placas de Cocos y de Norteamérica, se ha

caracterizado por la discordancia entre las razones de deslizamiento sísmico calculado y la velocidad de placa calculada (RM2), con una posible explicación en subducciones no uniformes de cordilleras asísmicas (p.e. vacancia sísmica de Michoacán) o de zonas de fractura (p.e. fractura de Orozco) (McNally y Minster, 1981).

Precisamente, tomando como límite la fractura de Orozco, y en base a la diferencia de tiempos de recurrencia de eventos sísmicos mayores ($M_s > 7$), se ha demostrado la existencia de discontinuidades en el sistema subductivo de la zona de estudio (Medina et al, 1987), proponiendo la existencia de la microplaca Orozco limitante con las placa de Cocos y Rivera. Esta microplaca mantiene una baja velocidad de subducción que es la causa de la baja sismicidad detectada; en contraste, el fragmento de la placa de Cocos mantiene una velocidad de subducción mayor, probablemente ocasionada por un bajo esfuerzo friccional y asperezas de placa pequeñas, o debido a un bajo espesor de placa en la zona de gran interacción (Singh y Suárez, 1986; cita de Medina, 1988).

La distribución de los parámetros focales a lo largo de la zona de estudio presentan características que apoyan ambas teorías, y por lo cual se analizan histogramas de frecuencias y contornos de valores con el fin de observar la distribución zonal de los parámetros focales (Momento sísmico, Caída de

esfuerzos y dimensión de la falla) a lo largo de la zona de estudio.

Momento sísmico : la distribución del momento sísmico a lo largo de toda la zona de estudio, muestra un comportamiento seminormal con una media de $\log^{-1}(18.82)$ dinas-cm y una desviación estandar de $\log^{-1}(9.48)$ en un rango de $\log^{-1}(17)$ a $\log^{-1}(21.5)$ dinas-cm.

Para la zona I el rango de momento sísmico se limita de los $\log^{-1}(17)$ a los $\log^{-1}(20.5)$ dinas-cm, con una media de $\log^{-1}(18.45)$ y una desviación estandar de $\log^{-1}(9.17)$, sesgándose hacia los valores bajos de este parámetro. La zona II en cambio, presenta un sesgo hacia los valores altos, con una media de $\log^{-1}(19.68)$ y una desviación estandar de $\log^{-1}(9.49)$ en un rango entre los $\log^{-1}(18)$ y las $\log^{-1}(21.5)$ dinas-cm (Figura 24).

El Momento sísmico para las zonas I y II, representando el valor escalar del tamaño del temblor, difieren en sus rangos por valores de hasta un orden de magnitud, siendo los más altos observados para la zona de la placa de Cocos. Esto se asocia directamente a los ángulos de subducción de cada una de las placas. En este caso, la microplaca de Orozco con un mayor ángulo de subducción ofrece una menor superficie de fricción, y por lo tanto su resistencia al movimiento se reducirá.

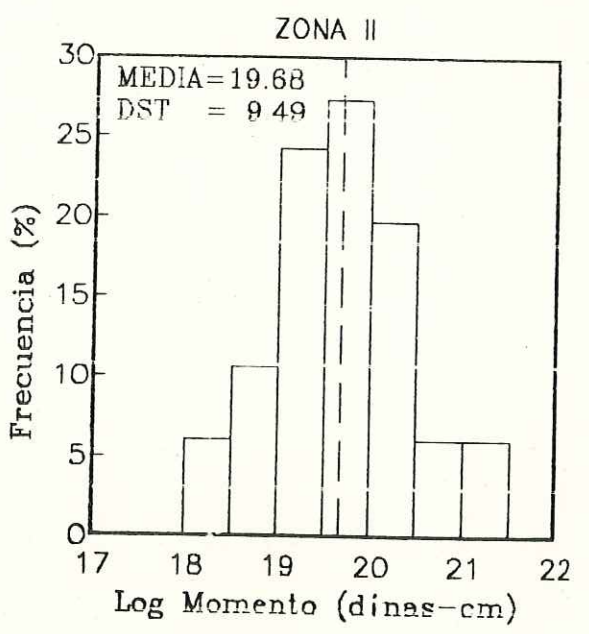
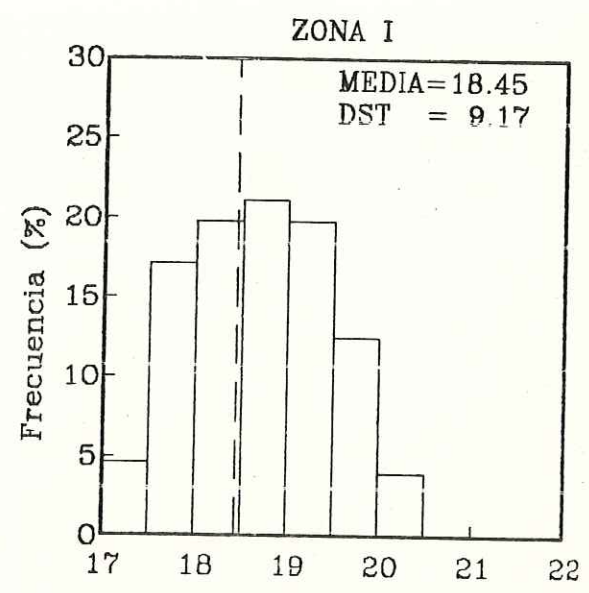
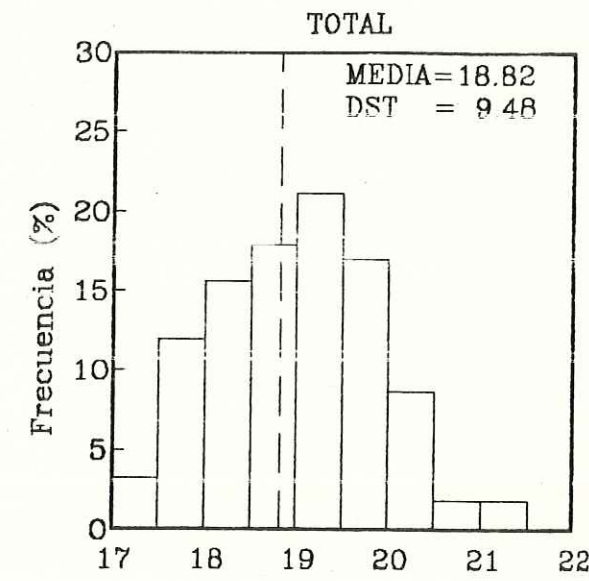


Figura 24. Histograma de frecuencia de Momento sísmico.

Efectuándose los deslizamientos con magnitudes menores que en la placa de Cocos que cuenta con un ángulo de subducción mucho menor y que por lo mismo ofrece mayor resistencia a la subducción.

La distribución de este parámetro se percibe con mayor claridad en un contorno de valores del Momento sísmico (Figura 25) de donde podemos deducir que la zona de la microplaca de Orozco, que presenta valores bajos del Momento sísmico con respecto al resto de la zona, se encuentra influenciada por un régimen tectónico de menor intensidad al observado para la placa de Cocos, donde se originan réplicas de mayor tamaño, y con una zona de transición entre las dos que ha sido anteriormente descrita en este trabajo. La zonificación de esfuerzos tectónicos es aplicable también para explicar las diferencias de Caídas de esfuerzos dinámicas en otras regiones (Boatwright, 1985).

Caída de esfuerzos : la distribución de frecuencia del parámetro Caída de esfuerzos presenta un comportamiento de decaimiento exponencial dentro de un rango de 0 a 100 bares, aunque un evento alcanzó los 160 bares se decidió omitirlo del histograma de frecuencia para aumentar la representatividad gráfica de este análisis, pero tomándose en cuenta para los demás procedimientos. Para la zona I el comportamiento de decaimiento exponencial es altamente marcado, con un 75% de los

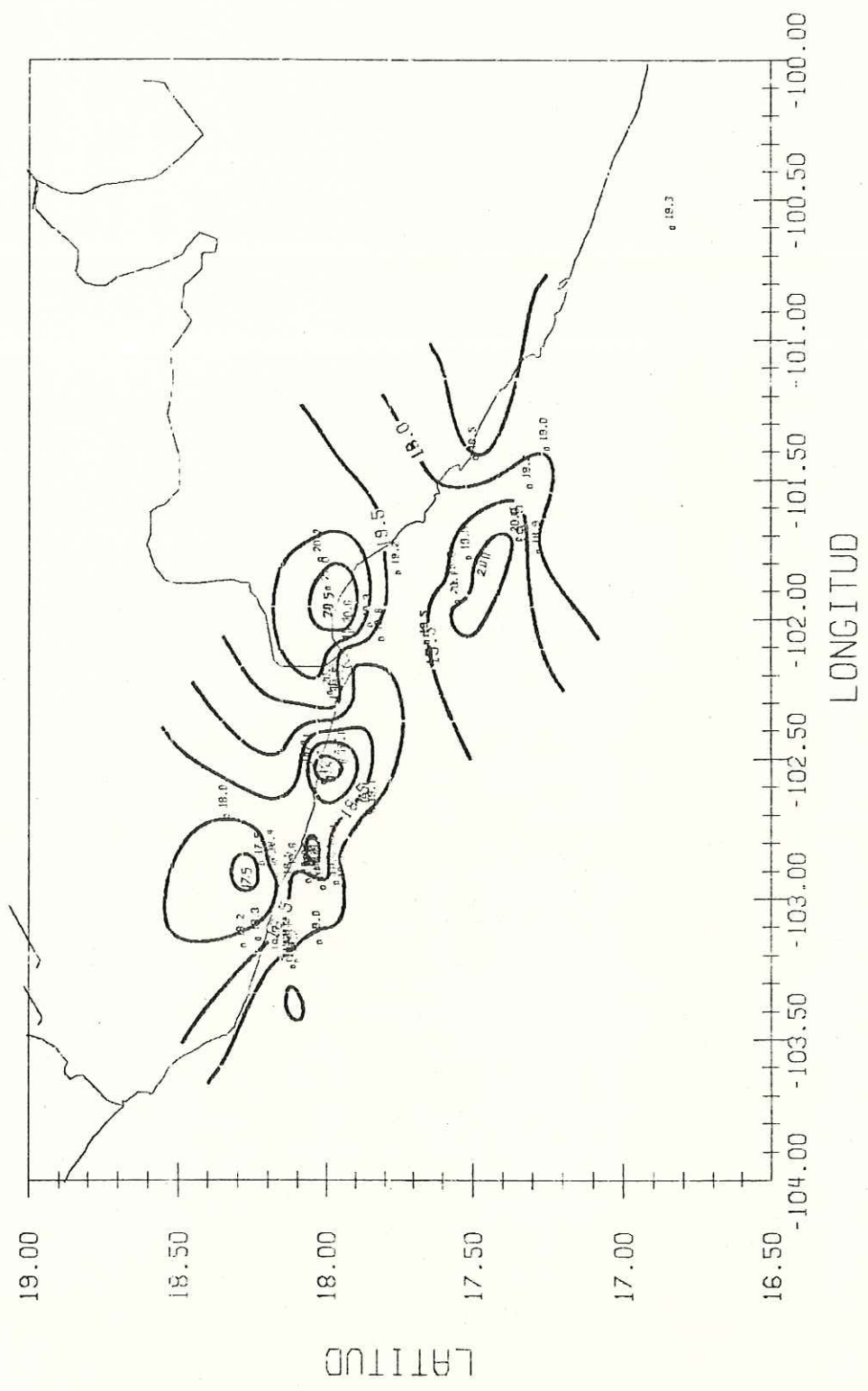


Figura 25. Contorno de valores de Log. Momento sísmico (dinas-cm).

datos dentro de los 0 y 2 bares y no alcanzando los 20 bares como límite máximo. Por su parte la zona II presenta un comportamiento de decaimiento más suave con solo el 15% de los datos dentro de los 0 y 2 bares, y con un máximo de 160 bares (Figura 26).

Es evidente que la zona en general guarda un estado de bajo esfuerzo efectivo como resultado de la liberación del esfuerzo tectónico del evento principal, que sumado a la generación de esfuerzos parciales bajos por la presencia de barreras y asperezas, aumentando así el esfuerzo friccional, den como resultado una gran influencia de las Caídas de esfuerzos con valores bastante bajos.

De la misma manera, es notorio que la zona influenciada por la subducción de la microplaca de Orozco, guarde un régimen tectónico de esfuerzos menores al resto de la placa de Cocos, o en su defecto que el esfuerzo friccional sea mayor, menos probable por su mayor ángulo de subducción.

Un contorno de valores de este parámetro sobre la zona de estudio (Figura 27) señala que en la misma región donde se suceden los Momentos sísmico de mayor intensidad, se registran también las Caídas de esfuerzo mas altas, posiblemente asociada al límite de placas por el final de la zona de transición descrita con anterioridad en este estudio, y resultado de la

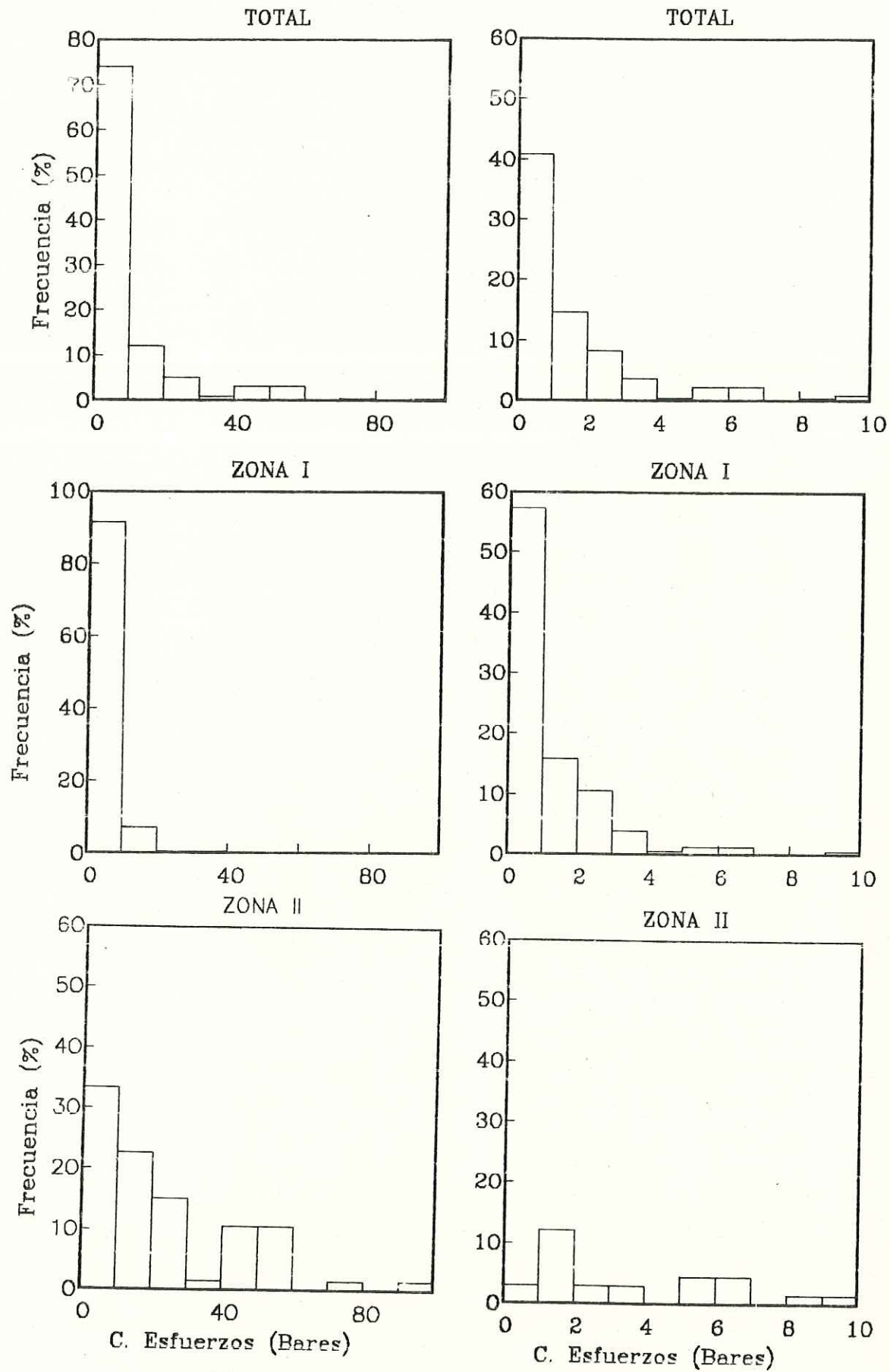


Figura 26 . Histograma de frecuencia de Caída de esfuerzos.

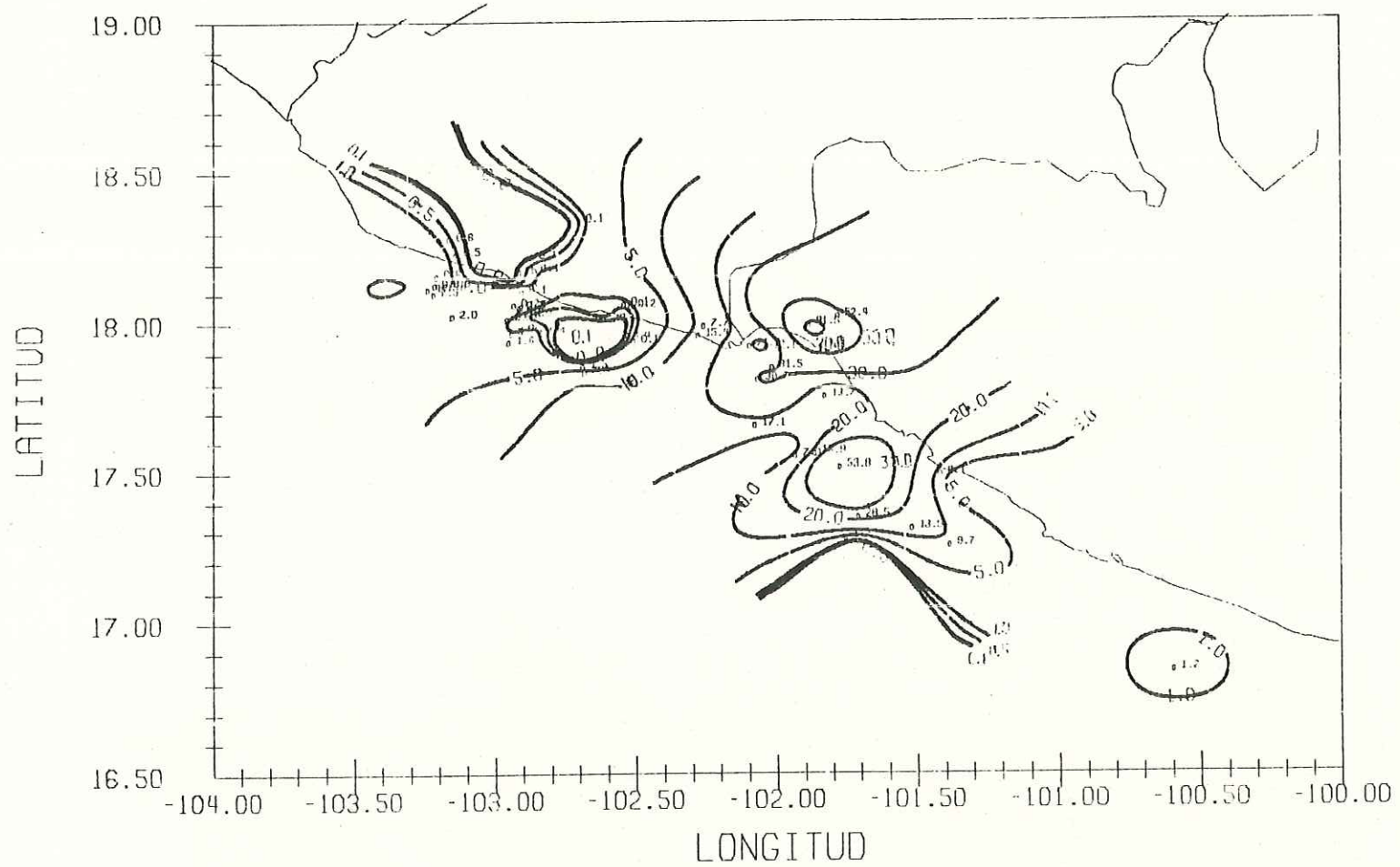


Figura 27. Contorno de valores de Caída de esfuerzos (bares).

interacción de la microplaca de Orozco, la placa de Cocos y la subducción de la fractura de Orozco. De la misma manera se observa una diferencia notable en los valores de este parámetro para las diferentes zonas, siendo mucho menores los valores de los contornos en la zona de subducción de la microplaca Orozco con respecto a la zona de la placa de Cocos.

Dimensiones de la fuente : el radio de la fuente sísmica, presenta una distribución seminormal dentro de los 0 y 200 metros con un rápido crecimiento antes de los 150 metros y un comportamiento de decaimiento exponencial a mayores dimensiones de fuente, contando con una media de 0.144 km y desviación estandar de 0.08 km. La zona II presenta este comportamiento más marcado en comparación a la zona I, contando con medias de 0.127 y 0.151 km y desviaciones estandar de 0.075 y 0.08 respectivamente (Figura 28). El contorno de valores para el radio de la fuente (Figura 29) presenta un gradiente marcado en el límite de las dos zonas de estudio, sin embargo el contraste entre éstas no es muy marcado.

En general, a partir de las anteriores observaciones se puede observar que las características descritas para la microplaca Orozco, sugieren un movimiento de rotación con rumbo Noroeste a partir del movimiento general del sistema Cocos-Pacífico que es Este-Oeste, apoyando así las observaciones sobre la extensión Este de la zona de fractura de

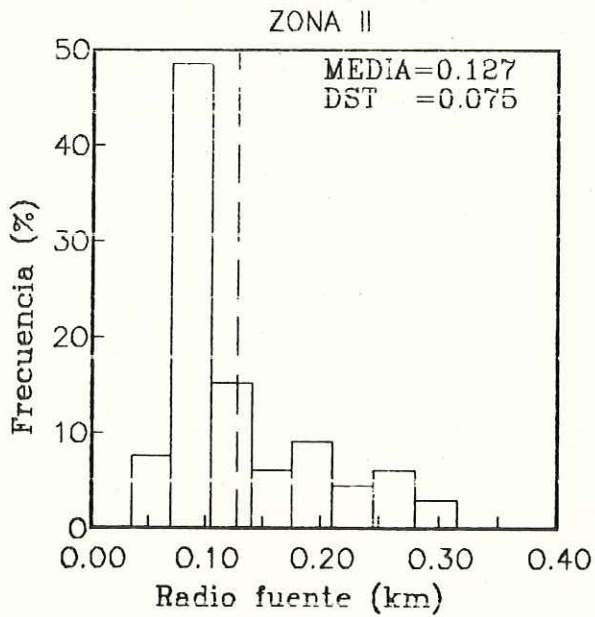
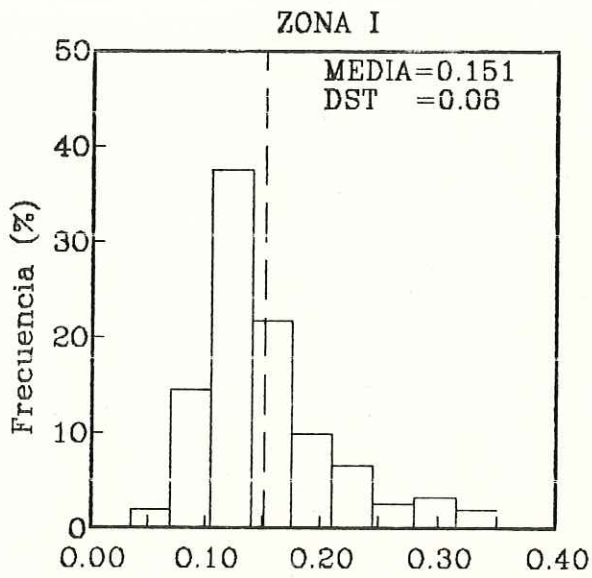
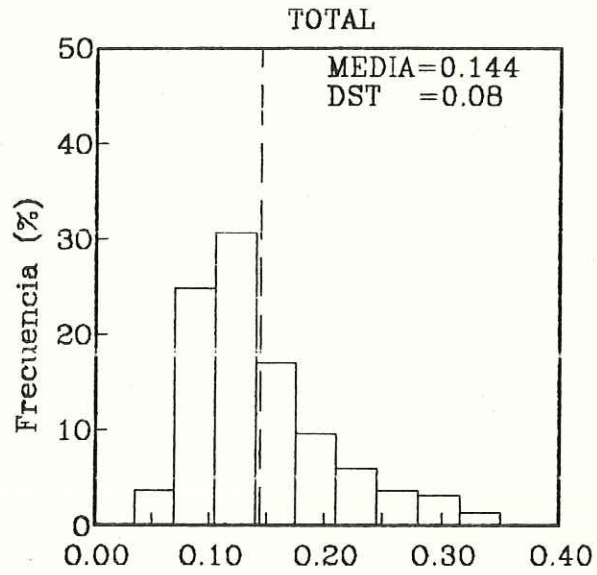


Figura 28, Histograma de frecuencia del Radio de la fuente.

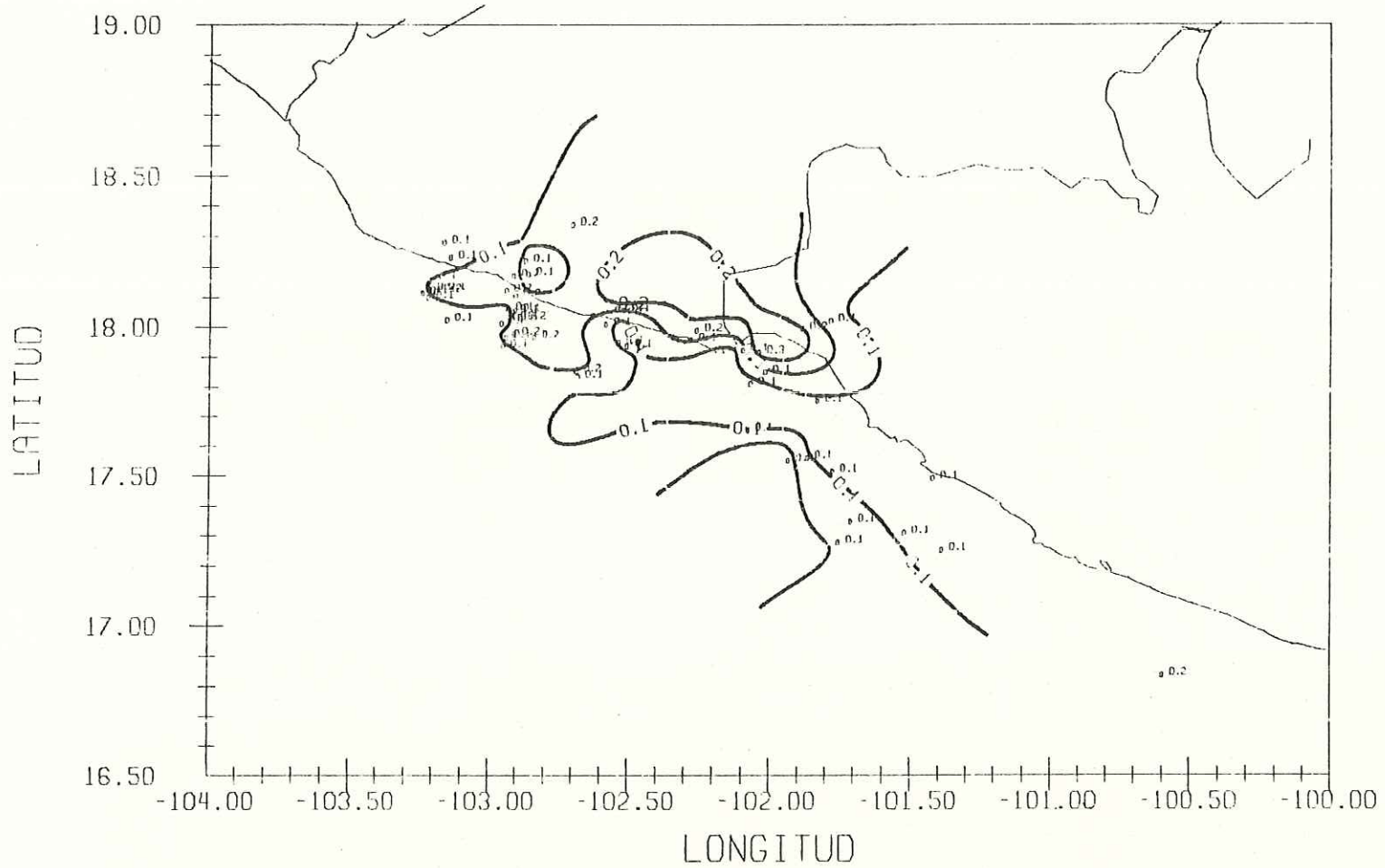


Figura 29. Contorno de valores de Radio de la fuente (km).

Orozco, cerca de los 15° de latitud N, que mantiene esta misma dirección Noreste ocasionada por una reorientación de 10° por parte de la Cresta del Pacífico del Este, que es fácilmente justificada por alineaciones de anomalías magnéticas sobre la placa de Cocos (Lynn y Lewis, 1976).

Por otro lado, algunas estructuras geológicas de la zona se pueden asociar a las características subductivas de las placas involucradas en este sistema.

Una zona de levantamiento topográfico de 100 metros de alto y alrededor de 80 km de longitud, caracterizada por tres largas terrazas de decenas de metros de altura y decenas de km de largo (McNally, 1981), situada sobre la zona de subducción de la fractura Orozco y la Placa de Cocos, aproximadamente entre los 101.6 y 102.6° long. W, se asocia al bajo ángulo de subducción de esta placa (12) en comparación a las placas que la rodean (Microplaca Orozco 21° y Cordillera de Tehuantepec 21°).

El movimiento de rotación sugerido para la microplaca de Orozco, implica una separación bajo la trinchera con respecto a la placa de Cocos, lo que podría explicar la aparición del campo volcánico Guanajutao-Michoacán, con una gran densidad de conos cineríticos por kilómetro cuadrado (Connor, 1987; cita de Medina 1988).

De la misma manera, mediante este movimiento de rotación, es posible asociar al sistema de triple unión que forman los grabens de Tepic-Chapala, Chapala-Acambay y el graben de Colima, con la continuación de la fractura Rivera que separa la microplaca de Orozco de la Placa Rivera (Figura 30), haciendo notar que la zona del graben de Colima, como parte del Eje Volcánico Mexicano, guarda una orientación similar a la dirección de subducción de la microplaca de Orozco.

Características geomorfológicas de orientación del mencionado Eje Volcánico Mexicano son también asociables a las diferencias en subducción del sistema (Medina, 1988).

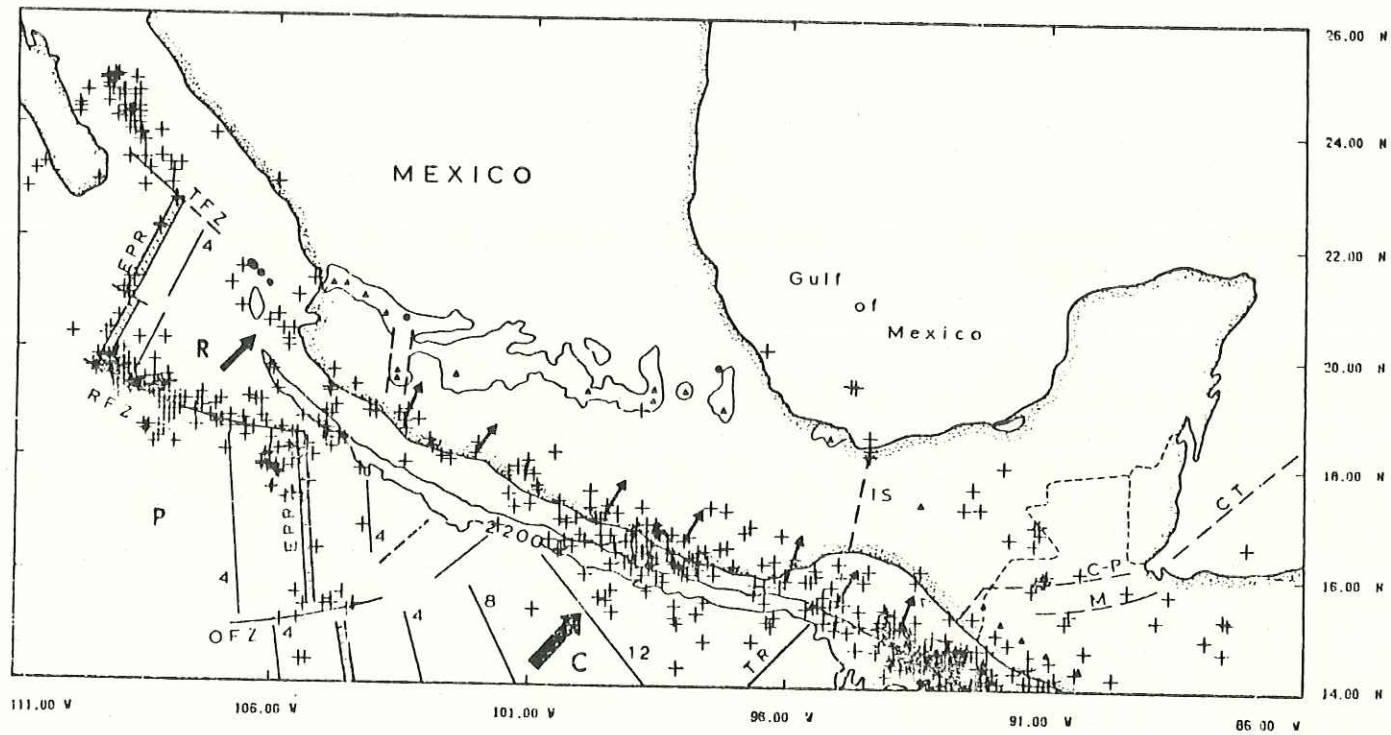


Figura 30. Asociación de la sismicidad y algunas características Geomorfológicas de la zona de estudio. C. Placa Cocos P. Placa del Pacífico. R. Placa Rivera. La edad de las anomalías magnéticas esta en millones de años (Tomado de Nixon, 1982).

VII. Conclusiones.

La inclusión de las lecturas a partir de registros digitales mejoraron la calidad de las localizaciones hipocentrales, resultado que se ve reflejado en una disminución de los errores horizontales y verticales de localización de 0.453 km (15%) y 0.586 km (23%) respectivamente. El promedio para los nuevos errores horizontales calculados es de 2.5 km, mientras que para los verticales es de 1.89 km, lo que garantiza un mejor control de localización.

Las diferencias en los parámetros de localización señalan la tendencia por parte de las nuevas localizaciones, a un agrupamiento en sentido latitudinal, como resultado del movimiento de epicentros en el eje longitudinal.

En general, tanto la distribución de hipocentros como la de parámetros espectrales de la fuente, señalan que la zona denominada como vacancia sísmica (GAP) de Michoacán (Singh et al, 1980), se encuentra dominada sísmicamente por un sistema de subducción compuesto de dos diferentes placas oceánicas que se encuentran delimitadas por la fractura Orozco (Figura 31).

Las diferencias entre los mecanismos subductivos de estas dos placas, traen como consecuencia que los eventos producidos sobre la Trinchera Mesoamericana en esta zona, presenten Caídas

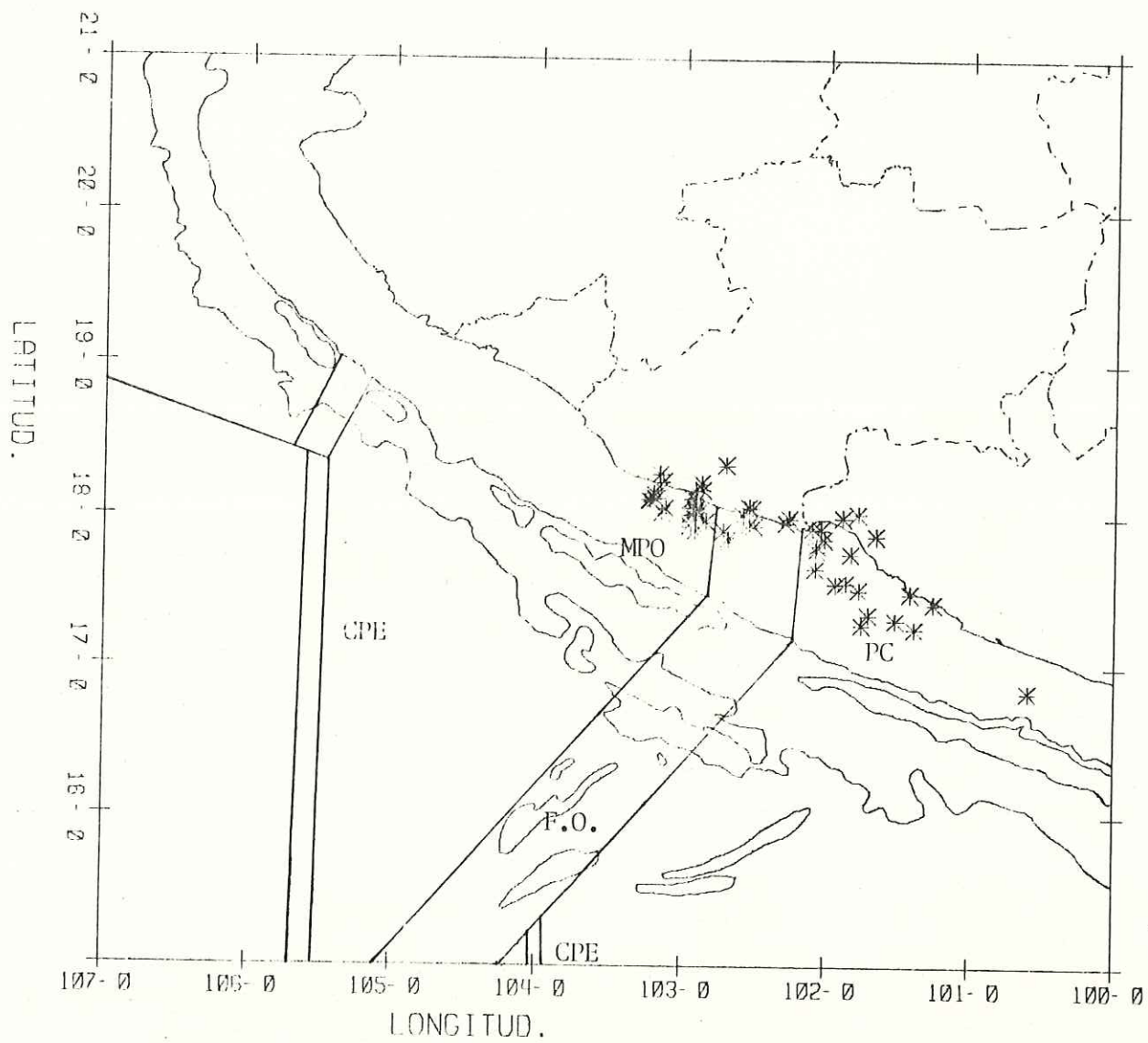


Figura 31 . Distribución de zonas sísmicas en el GAP Michoacán.
 CPE Cresta del Pacífico del Este. PC. Placa Cocos.
 FO. Fractura de Orozco. MPO. Microplaca Orozco.

de Esfuerzos menores a los 100 bares (referenciado como una liberación total de esfuerzos efectivos), por lo que el promedio es considerado de 20 bares (Kanamori y Anderson, 1979; cita de Mc Nally et al, 1981).

La placa que subduce sobre casi todo el estado de Michoacán conocida como Microplaca de Orozco, presentando una orientación de 9° de azimut con un echado de 21° y con espesores de zona sismogénica de aproximadamente 12 km. Dichas características dan como resultado esfuerzos efectivos de menor intensidad, comparados con el resto de la zona, generando eventos de bajos valores de Momento sísmico y muy bajas Caídas de esfuerzos. Esta última característica está influenciada también por la presencia de barreras y asperezas que limitan la subducción. El periodo de recurrencia sísmica para esta placa es de 11.2 años (Medina et al, 1987).

En cambio, la placa de Cocos que subduce en esta zona bajo el estado de Guerrero y parte de Michoacán, presenta una orientación de 32° de azimut en un echado de 12° y con espesores de placa de 8 km, indicando de esta manera ser más joven que la Microplaca de Orozco. Los esfuerzos efectivos ejercidos por esta placa son de mayor magnitud, ocasionando por esto eventos de mayores Momentos sísmicos y también mayores Caídas de esfuerzo, que en este caso parecen no estar tan influenciadas por la presencia de barreras y asperezas. La

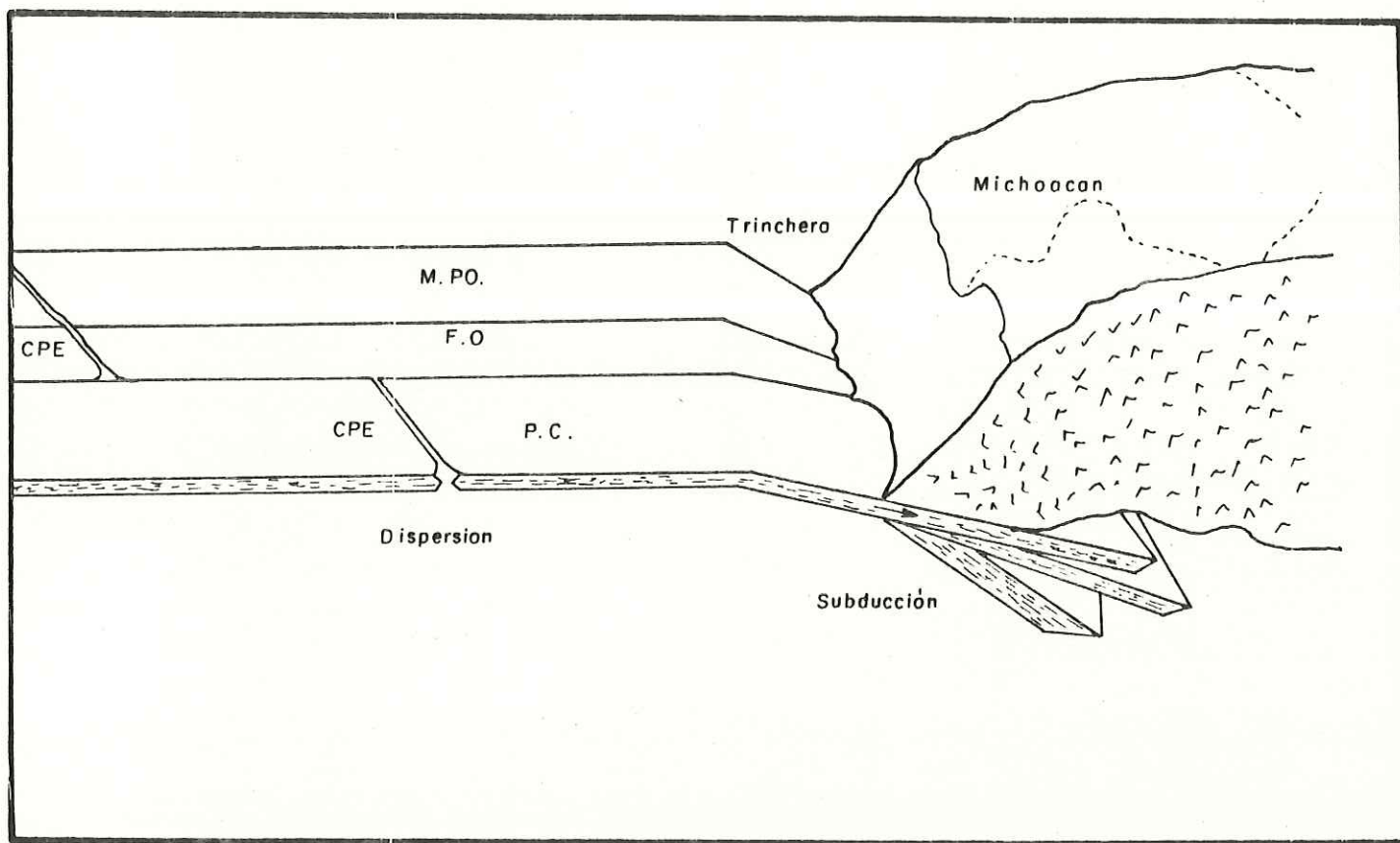


Figura 32. Esquema del sistema subductivo GAP Michoacán.
 CPE. Cresta del pacífico del este. PC. Placa Cocos.
 FO. Fractura de Orozco. MPO. Micronlaca Orozco.

recurrencia sísmica es de 3.6 años para eventos mayores ($M_s > 7$) (Medina et al, 1987), acorde al régimen tectónico de mayor esfuerzo efectivo.

La zona de transición entre estas dos placas se encuentra dentro de las coordenadas $102^{\circ}45'$ y $102^{\circ}20'$ W, presentando un ángulo de subducción de 14° en una orientación de 58° , y por lo tanto mostrando un desnivel de mayor profundidad de subducción hacia la placa de Cocos. Es en los límites de esta zona con la placa de Cocos donde ocurren los eventos de mayor magnitud y de mayor Caída de esfuerzos, siendo también la zona que presenta registros con un alto contenido de energía en las frecuencias altas, resultado de la interacción de las diferentes placas que intervienen en este sistema de subducción (Figura 32).

LITERATURA CITADA

- ACOSTA-CHANG, J.G., 1980, Estudio de atenuación de ondas en el área del terremoto de Oaxaca del 30 de Noviembre 1978, Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, Junio 1980.
- ANDERSON, J.G., S. Hough, 1984, A model for the shape of the fourier amplitud spectrum of acceleration of high frequencies., Bull. Seismol. Soc. Am., V.74, No.5, pp. 1969-1993.
- ARCHULETA R.J., E. Cranswick, C. Muller, y P.S. Pudich, 1982, Source parameters of the 1980 Mammoth Lakes, California, earthquake sequence, J. Geophys. Res., V.87, No.B6, pp.4595-4607.
- BOATWRIGHT J., 1985, Charcteristics of the aftershocks sequence of the Borah Peak, Idaho, earthquake determined from digital recordings of the events, Bull. Seismol. Soc. Am., V.75, No.5, pp.1265-1284.
- BRUNE J.N., 1970, Tectonic Stress and the spectra of the seismic shear waves from earthquakes., J. Geoph. Res., V.75, No.26, pp. 4997-5009.
- BRUNE J.N., 1971, Correction., J. Geoph. Res., V.76, No. 20, pp.5002.
- BRUNE J.N., J. Fletcher, F. Vernon, L. Haar, T. Hanks y J. Berger, 1985, Low stress-drop earthquakes in the light of new data from the Anza, California, telemetred digital array. Maurice Ewin Series, V.6, Am. Geophys. Union, Geophysics Monograph 37, Washington, D.C., pp. 237-245.
- De NATALLE G., E. Del Pezzo, M. Martini, y A. Zollo, 1987, Source parameters of microearthquakes at Pahlegraen Fields (Southern Italy) volcanic area., Physics of the earth and planetary interiors, V.47, pp.25-42.
- EISSLER H., L. Aztis, y H. Kanamori, 1986, Tectonic setting and source parameters of the 19 sept 85 and 21 sept 85 Michoacan, Mexico, earthquakes., Geophys. Res. Lett., V. 13, No.6, pp. 569-572.

- EKSTROM G. and A.M. Dziewonski, 1986, A very broad band analysis of the Michoacan, Mexico, earthquake of the september 19, 1985., Geophys. Res. Lett., V.13, No.6, pp. 605-608.
- HANKS T.C. and M. Wyss, 1972, The use of body-wave spectra in the determination of seismic-source parameters, Bull. seismol. Soc. Am., V.62, No.2, pp. 561-5899.
- HANKS T.C. and H. Kanamori, 1979, b values and w- seismic source models: implications for tectonic stress variations along active crustal fault zones and the estimation of high-frequency strong ground motion., J. Geophys. Res., V.84, pp. 2235-2242.
- HANKS T.C. and R.K. McGuire, 1981, The character of high-frequency strong ground motion., Bull. Seismol. Soc. Am., V.71, pp. 2071-2096.
- HAVSKOV J., S.K. Simgh, E. Nava, T. Dominguez, and M. Rodriguez, 1983, Playa Azul, Michoacan, Mexico, earthquake of 25 October 1981 (ms=7.3)., Bull. Seismol. Soc. Am., V.73, No.2m pp.449-457.
- HOUGH S.E, J.G. Anderson, J.N. Brune, F. Vernon, J. Berger, J. Fletcher, L. Haar, T. Hanks, and L. Baker, 1987, Attenuation near Anza, California, Bull. Seismol. Soc. Am. (sometido a consideracion).
- HOUSTON H. and H. Kanamori, 1986, Source Characteristics of the 1985, Michoacan, Mexico, earthquake at periods of 1 to 30 seconds, Geophys. Res. Lett. V.13, No.6, pp.597-600.
- KELLEHER J., L. R. Sykes, and J. Oliver, 1973, Possible criteria for predicting eartquake locations and their aplication to mayor plate boundaries of the Pacific and the Caribbean., J. Geophys. Res., V.78, pp.2547-2585.
- LEE W.H. and J.C. Lahr, 1975, HYPO71: A computer program for determining hypocenters, magnititude and first motion form of the local earthquake., U.S. Geol. Surv. open file report, pp. 75-311.
- LUCO J.E., 1985, On strong ground motion estimates based on models of the radiated spectrum., Bull Seismol. Soc. Am., V.75, No.3, pp.641-649.

- LYNN W.S. and B.T.R. Lewis, 1976, Tectonic evolution of the northern Cocos plate., *Geology*, V.4, No.12, pp.718-722.
- MADARIAGA L., 1985, Dinámica de la fuente sísmica, barreras y asperezas, Cap.3, en *Mecanismos de los terremotos y tectónica.*, Ed de la Universidad Complutense de Madrid. España 1985.
- McNALLY K.C. and J.C. Minster, 1981, Nonuniform seismic slip rates along the Middle America Trench., *J. Geophys. Res.*, V.86, No.B6, pp.4949-4959.
- McNALLY K.C., J.R. Gonzales-Ruiz, and C. Stolte, 1986, Seismogenesis of the 1985 great (Ms=8.1) Michoacan, Mexico earthquake., *Geophys. Res. Lett.*, 13, No.6, pp.585-588.
- MEDINA-MARTINEZ F y M. Espindola, 1987, Acerca de la existencia de una microplaca en el pacífico Mexicano, la placa Orozco., *GEOS*, V.7, No.1, pp.14-17.
- MEDINA-MARTINEZ F, M. Espindola y A. Gomieta, 1987, Aspectos estadísticos de la actividad sísmica en México., *CIENCIA*, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias (sometida a revisión).
- MEDINA-MARTINEZ F., 1988, The Mexican Volcanic Belt: Is its generation totally compatible with tectonic plate theory., in *Critical aspects of the tectonic plates theory*, Theophrastus Publication Co. Greece (Submitted).
- MENDOZA-GARCILAZO L., A. Reyes, J. Acosta, S. Alvares, 1987, Estimaciones hipocentrales de réplicas del sismo de Michoacán del 19 de septiembre 1985., *Memorias de la Unión Geofísica Mexicana*, Abril 1987.
- MOLNAR P., B.E. Tucker y J.N. Brune, 1973, Corner frequency of P and S-waves on models of earthquakes sources., *Bull. Seismol. Soc. Am.*, V.63, No.6, pp.2091-2104.
- NAVA A., 1987, Terremotos, Colecc. La ciencia en México 34, Fondo de Cultura Económica, México D.F.
- NIXON G.T., 1982, The relationship between Quaternary volcanism in central Mexico and the seismicity and structure of subducted ocean lithosphere., *Geol. Soc. of Am. Bull.*, V.93, No.6, pp.514-523.

- PRIESTLEY K.F. and T.G. Masters, 1986, Source mechanism of the september, 1985, Michoacan earthquake and its implications., Geophys. Res. Lett., V.13, No.6, pp.601-604.
- RASCON-CHAVEZ O., 1968, Modelo estocástico para simular registros de temblores en terreno duro., 169, Instituto de Ingenieria de la UNAM.
- REYES-ZAMORA A., J.N. Brune, C. Lomnitz, 1979, Source mechanism and aftershocks study of the Colima, Mexico earthquake of january 30, 1973., Bull. Seismol. Soc. Am., V.69, NO.6, pp.1819-1840.
- SINGH S.K., J. Yamamoto, J. Havskov, H. Guzmán, D. Novelo, y R. Castro, 1980, Seismic GAP of Michoacan, Mexico, Geophys. Res. Lett., V.7, pp.69-72.
- SINGH S.K., L. Astiz, y J. Havskov, 1981, Seismic GAPS and recurrence periods of large earthquakes along the Mexican subduction zone. A reexamination., Bull. Seismol. Soc. Am., V.71, No.3, pp.827-843.
- STREHLAU J., 1977, Shallow earthquakes and strain accumulation proceses-evidence from Seismology, Geodesy, Rock mechanics, and materials science, Tesis de Maestria en Ciencias, University of California, San Diego., April 1977.
- STOLTE C., K.C. McNally, G.W. Simila, J. Gonzales-Ruiz, A. Reyes, L. Munguia, C. Rebollar, and L. Mendoza., 1986, Time structure of a postfailure Wadati-Benioff zone., Geophys. Res. Lett., V.13, No.6, pp.577-580.
- TUCKER B.E. and J.N. Brune, 1973, Seismograms, S-wave spectra, and source parameters for aftershocks of San fernando earthquake., in San Fernando, California, eartquake of february 9, 1971., NOAA special report 1973, pp. 69-121.
- UDIAS A., 1985, Fundamentos teóricos de la generación de ondas sísmicas. Cap.2, en Mecanismo de los terremotos y tectónica, Ed. de la Universidad Complutense de Madrid., Espana 1985.
- UNAM Sesimologic Group, 1986, The september 1985 Michoacan earthquake: aftershocks and history of rupture., Geophys. Res. Lett., V.13, No.6, pp.573-576.