

4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISIÓN CIENCIAS DE LA TIERRA

ANALISIS DE VARIACIONES DE SISMICIDAD EN LA  
ZONA DE LA BRECHA DE GUERRERO

T E S I S  
PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO GEOFÍSICO  
P R E S E N T A :  
ISAÍAS ARÉVALO ZACARIAS

ASESOR DE TESIS:  
DR. RAMON ZUÑIGA DAVILA-MADRID



MEXICO, D.F.

2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

SR. ISAIAS AREVALO ZACARIAS  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Francisco Ramón Zúñiga Dávila Madrid y que aprobó esta Dirección para que le cosa sobre usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geofísico

ANALISIS DE VARIACIONES DE SISMICIDAD EN LA ZONA DE LA BRECHA DE  
GUTRERO

- I INTRODUCCION
- II LA BRECHA DE GUTRERO
- III LA RED SISMOGRAFICA DE GUTRERO
- IV ANALISIS DE LOS DATOS
- V RESULTADOS
- VI CONCLUSIONES

Quisiera usted contar con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se impriman en legajo y visible de cada ejemplar de la tesis el título de esta

tesis misma, a tener en cuenta que el título profesional es aquel que se debe a un puesto, servicio social durante un tiempo más que de seis meses como requisito para el examen profesional.

Atentamente  
"POR BIEN RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
De la Universidad de Guayaquil  
DIRECCION

FRANCISCO RAMÓN ZÚÑIGA DÁVILA MADRID

Esta tesis esta dedicada a  
mis padres mi esposa y mi hijo.

## AGRADECIMIENTOS.

Al Dr. Ramón Zuñiga Dávila-Madrid; por aceptarme como su discípulo, sus enseñanzas tanto en lo profesional como en lo personal, también por sus atenciones, ya que sin su comprensión y apoyo a este trabajo no hubiera podido concluir.

A los Sinodales, M.C. Andrés Tejero Andrade, Dr. Carlos Valdés González, Dr. Carlos Mortera Gutiérrez, Dr. Jorge Aguirre González; que sin orden de importancia, hayan accedido al asesoramiento y colaboración de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, por admitirme dentro de sus aulas, de superarme como persona y terminar una educación superior.

A mis padres que siempre me apoyaron, y a los que debo lo que soy y lo que puedo llegar a ser, por la educación que me brindaron, también por haber confiado en mí para el termino de estos estudios.

A mi esposa que me impulso en todo momento en el termino de este trabajo, no dejo que decayera mi animo durante esta actividad, y muy especialmente por otorgarme el titulo de padre.

A mis hermanos, familiares y amigos que son muy importantes para mí, y que de alguna manera siempre estuvieron involucrados en esta tarea.

A mis compañeros de la Universidad con los que compartí toda mi carrera, y experiencias buenas y una que otra mala.

A mis compañeros en el Centro de Computo de Reynosa Tamaulipas, por su aceptación, su amistad y las facilidades que me brindaron para continuar con este trabajo.

# INDICE

Resumen.	1
I.- Introducción.	3
II.- La Brecha de Guerrero.	8
III.- La Red de Guerrero.	13
III.1 Ubicación de la red.	13
III.2 Características Instrumentales.	14
IV.- Análisis de los datos.	17
IV.1 Definiciones de algunos conceptos de importancia.	19
IV.2 Herramientas de análisis estadístico de sismicidad	22
IV.2.1 La técnica de la comparación estadística Z.	22

IV.2.2 La función $As(t)$ .	23
IV.2.3 La función LTA.	24
IV.2.4 GENAS.	25
IV.2.5 Mapas de valor Z.	26
IV.2.6 La técnica del "ajuste de valor b".	28
V.- Resultados.	29
VI.- Conclusiones.	42
Referencias.	45

## RESUMEN.

Técnicas estadísticas son empleadas para integrar mapas de valor  $Z$ , para una evaluación rápida y objetiva de la ubicación y extensión de posibles variaciones en la sismicidad umbral de una región. El catálogo de sismicidad de Guerrero, es analizado con esta técnica por un periodo de mas de 5 años. El objetivo principal fue ubicar en espacio y en tiempo las principales variaciones en sismicidad, así como tratar de discriminar las variaciones causadas por efectos artificiales introducidas por la operación de las redes sismológicas. Con este fin se efectuó una determinación de los tiempos en los cuales existen cambios significativos en la tasa de sismicidad. Posteriormente se analizaron los intervalos de tiempo durante los cuales se llevó a cabo un registro continuo y homogéneo. Comparando dos períodos considerados representativos (1989-1993, 1993-1995), se encontró que existe una variación debido al cambio en la determinación de la magnitud, ocurrido a principios de 1993. Esto hizo posible aplicar correcciones a las magnitudes de los eventos del catálogo para los intervalos identificados las cuales permitieron ubicar anomalías reales en la sismicidad de la región. Además condujo a discriminar aquellas variaciones causadas por cambios en la operación de la red.

Las correcciones propuestas pueden ser usadas para llevar a cabo el análisis sísmico a detalle de la zona de la Brecha de Guerrero, usando los datos corregidos del catálogo de sismicidad obtenido a través de la red *Sismográfica de Guerrero*, que opera el Instituto de Geofísica de la UNAM.

Agregando además mayor información sobre las posibles causas de las variaciones observadas, los estudios de riesgo, los de predicción sísmica y los de sismotectónica se pueden realizar con mayor confiabilidad.

## I. INTRODUCCIÓN.

El análisis de riesgo sísmico, los estudios de sismotectónica y las investigaciones sobre la actividad sísmica de una zona dependen de gran manera de la calidad de los datos contenidos en los catálogos de sismicidad. Un catálogo de sismicidad es un compendio de datos de localización (conocidos como parámetros hipocentrales) y tamaño (por ejemplo el tipo de magnitud o medida de la liberación de energía), de todos los sismos registrados considerados de importancia que han ocurrido en una zona particular dentro de un período dado. En ocasiones se añade a lo anterior datos sobre los efectos causados por dichos eventos, o una medida de su intensidad en varias regiones. Dicha información proviene del análisis de los registros de una o varias redes de estaciones sismométricas. Por lo tanto, a primera vista se podría suponer que para obtener un catálogo de sismicidad adecuado, basta con compilar los resultados disponibles para todos los sismos que se considere pertinente.

Sin embargo, la calidad de esta información es afectada por la operabilidad del monitoreo de la sismicidad (no depende únicamente del reporte sin interrupción de localizaciones y magnitudes) en una región. Por lo que es de suma importancia la homogeneidad con que se efectúa el monitoreo al paso del tiempo.

Esto se debe a que, no es posible que las condiciones de operación tanto de la red de observación como de la agencia que reportan sismicidad se mantengan estables con el transcurso del tiempo, ya que es de esperar que la instrumentación y las técnicas de monitoreo cambien y se vayan mejorando al paso de los años.

Por ejemplo empleando datos de catálogos sísmicos internacionales, Habermann (1982), encontró que los datos de sismicidad para la década de los 70 fueron numerosamente menos que los datos registrados en la década de los 60. Esto se debió a que en los 60 se dio un gran impulso a redes de monitoreo de carácter regional mientras que durante los años 70 se cerraron arreglos regionales de estaciones que habían estado funcionando algunos años atrás en Norteamérica, como los conocidos por las siglas VELA (Very Large Aperture Array). Lo anterior ocasionó que el nivel de detección aumentara, o sea que no fuera posible detectar sismos de menor magnitud como se había estado haciendo con anterioridad, sobre todo en el continente americano.

Las variaciones de sismicidad debidas a cambios en operación de una red dificultan la distinción de las variaciones de carácter natural (geológico o tectónico) que en ocasiones se ha visto llegan a preceder a macrosismos (e.g., Mogi, 1969; Wesson y Nicholson, 1988; Keilis-Borok et.al., 1988; Varnes, 1989; Sykes y Jaumé, 1990).

Variaciones en sismicidad consideradas artificiales han sido reportadas en la literatura como causadas por diferentes variaciones en la operatividad del monitoreo y registro como: a) un cambio en la agencia que opera el catálogo (Habermann y Wyss, 1984); b) empleo de nuevos métodos de cómputo y análisis (Wyss y Habermann, 1988); c) introducción de nuevos equipos de registro y/o detección (Wyss, 1991); d) reducción o ampliación de las redes sismográficas (Habermann, 1982; Wyss, 1991); e) cambios en la definición de magnitud empleada (Pérez y Scholz, 1984). En vista de lo anterior, si se quiere efectuar un análisis de sismicidad para una zona en particular, con miras a detectar posibles cambios que pudieran ayudar a detectar la inminencia de un macrosismo, es necesario efectuar, primeramente, una discriminación de las variaciones debidas a causas artificiales de aquellas de origen tectónico.

Para el caso de las evaluaciones de riesgo sísmico, es necesario saber si las magnitudes reportadas no han sufrido cambios y de ser así, de qué manera. Por ejemplo, un cambio en magnitud de 0.3 unidades puede ocasionar una variación en el número de sismos dentro de un rango de magnitudes o iguales a una magnitud dada por unidad de tiempo (a la que llamaremos tasa de sismicidad) en un factor de dos, si se mantienen ciertas condiciones (como por ejemplo que el llamado "valor  $b$ " o tasa de excedencia no presente cambio).

Con miras a resolver el problema de cambios en la computación de magnitudes, Habermann (1983) propuso el empleo de la combinación de una técnica estadística con el análisis sistemático de la tasa de sismicidad para diferentes cortes en magnitud a la que llamó "firma de magnitud". El método se basa en el empleo de herramientas estadísticas interactuando gráficamente para identificar cambios en la tasa de sismicidad. Dicha técnica se ha empleado con éxito para determinar aumentos o disminuciones en las magnitudes reportadas en diferentes catálogos (e.g., Habermann, 1991; Zúñiga, 1989; Wyss y Habermann, 1988). Sin embargo un defecto de la técnica de la firma de magnitud es que no puede resolver entre incrementos y decrementos en las magnitudes es decir no permite obtener una relación lineal general entre magnitudes de dos periodos. La técnica de Zúñiga y Wyss, (1995) ha permitido resolver relaciones entre magnitudes calculadas en diferentes periodos (de carácter más general), las cuales no podían ser analizadas por medio de la firma de magnitud.

Sin embargo, la extensión espacial de la zona de afectación de las mencionadas anomalías en magnitud, no había sido formalmente considerada en ningún estudio hasta el realizado por Wyss y Wiemer (1994), quienes emplearon una adaptación de los métodos de Habermann con este fin, a la que llamaron mapas de valor Z.

En este trabajo se presenta la aplicación del método de mapas de valor  $Z$  y de comparación de tasas de sismicidad en intervalos definidos, a datos de sismicidad de Guerrero. Dichos métodos permiten determinar, el tiempo, la localización y, en cierta medida, la extensión espacial de las variaciones de sismicidad observadas en los catálogos, así como ubicar periodos durante los cuales se efectuó un registro homogéneo.

El método de mapas de valor  $Z$  se basa en una evaluación estadística de la variación en la *tasa de sismicidad promedio* (media aritmética del número de eventos mayores a una magnitud dada por unidad de tiempo) con respecto al tiempo, añadida a una comparación sistemática en el espacio. La técnica descansa en la premisa de que la relación frecuencia-magnitud y la tasa de sismicidad de los eventos independientes en una zona permanecen constantes a través del tiempo. Esto se cumple primordialmente si se considera una región que involucre diferentes regímenes tectónicos. Sin embargo, también se ha visto que zonas de cobertura menor muestran una notable constancia en la tasa de sismicidad durante periodos relativamente largos, lo cual se aprovecha para identificar posibles anomalías.

Al investigar las variaciones en sismicidad, e identificar cambios de origen natural, es posible que se puedan detectar con mayor precisión fenómenos precursores tales como quietud o patrones de sismicidad, de manera que se pueda determinar la posibilidad de ocurrencia de un macrosismo con un mayor índice de confiabilidad.

## II. LA BRECHA DE GUERRERO.

Una brecha sísmica es un segmento de la falla que representa el contacto entre placas donde ha transcurrido mucho tiempo sin la presencia de un terremoto de gran magnitud ( $M_w > 7.5$ ) y donde se acumula a lo largo del tiempo la suficiente energía elástica para producir un gran temblor (Kelleher et al., 1973, McCann et al., 1979, Nishenko y Singh, 1987).

En la parte occidental de Guerrero, en la llamada Costa Grande, la brecha de Guerrero fue definida por varios autores (v.g. Kelleher et al., 1973; McNally et al., 1981; Nishenko y Singh, 1987). Esta brecha sísmica de la placa es delineada por las zonas de ruptura de los más recientes terremotos ocurridos en las zonas laterales. La brecha se ubica entre las coordenadas  $99^\circ$ - $101.5^\circ$ W (fig. 1) a lo largo de la línea de costa, donde no ha tenido lugar un sismo mayor a 7.5 ( $M_w$ ) desde 1908. Por lo tanto, se asume que desde 1908 se ha acumulado la energía sísmica, que eventualmente se manifestará en un terremoto (Kelleher et al. , 1973).

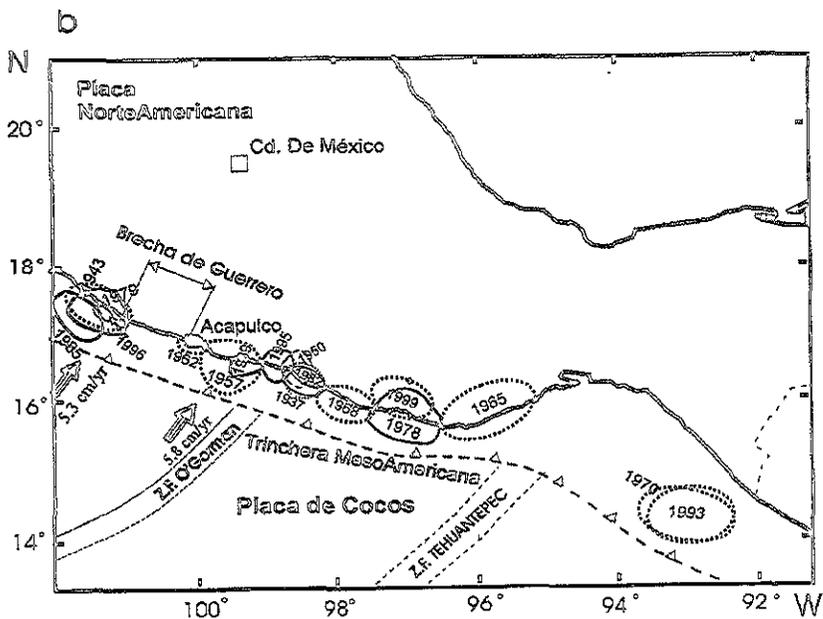


Fig. 1. Ubicación de la Brecha de Guerrero,  
*Y áreas de ruptura inferidas para los últimos  
 Grandes sismos ocurridos en la zona de subducción.*

La distribución de sismicidad en esta zona muestra una inusual disposición a lo largo de dos bandas de actividad. La banda sísmica costera, la cual es de aproximadamente 35 km. de ancho muestra hipocentros con profundidades focales de entre 10 y 25 km.

La segunda zona de sismicidad esta situada sobre el continente y está claramente separada de la actividad de la costa, esta segunda zona muestra profundidades focales entre los 32 y 42 km.

La ausencia de sismos entre estas dos bandas es más evidente donde la cobertura de las estaciones es mejor (fig. 2).

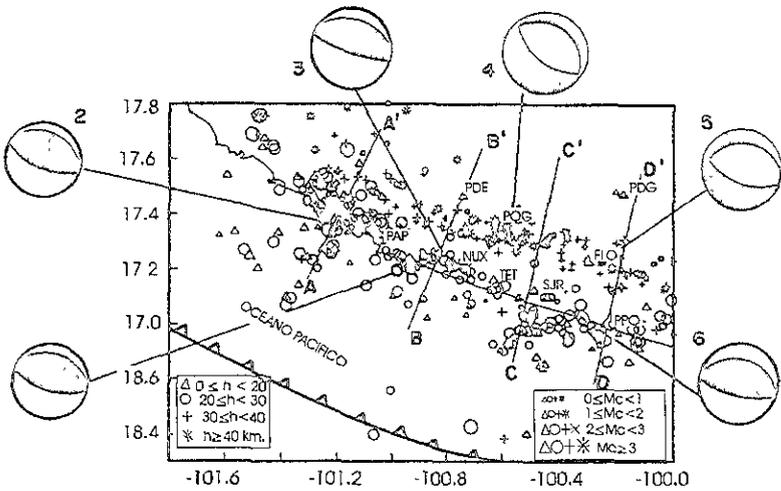
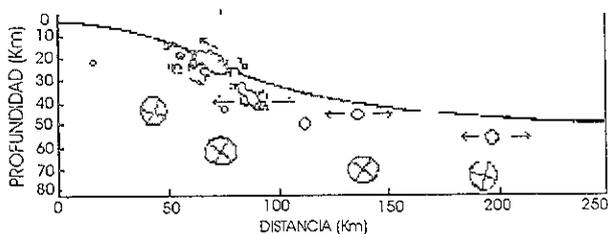


Fig. 2. Características de la sismicidad en la Brecha de Guerrero.

Entre la zona costera y la trinchera la actividad sísmica se reduce, esta ausencia no es debido a la distancia que hay con los instrumentos en tierra, si no a la limitación en el registro de sismos con magnitudes menores a 3 en magnitud de coda. Estos sismos aparecen donde la saturación de sedimentos, tienen un papel determinante en el comportamiento mecánico entre las placas (Suárez et al., 1990.).

Estos sismos tienen una relación con la zona de subducción donde la placa de Cocos subduce por debajo de la placa Norteamericana con una inclinación inicial que va de los 12-14° progresivamente.

La máxima profundidad de la actividad sísmica en la zona de mayor acoplamiento es 25-30 km, conforme la placa penetra, su inclinación se vuelve casi horizontal, una vez que alcanza 50 km de profundidad (fig. 3).



*Fig. 3. Inclinación de la zona de subducción en la Brecha de Guerrero. Tomado de Suárez et al. 1990.*

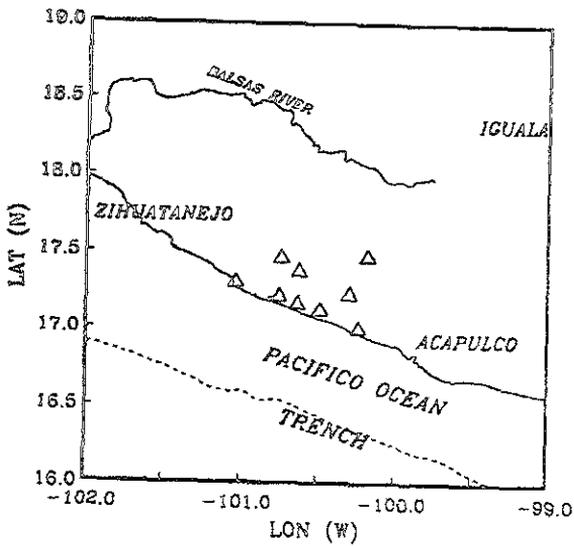
La aparente horizontalidad de la subducción en la parte central de México puede ser debido a la poca edad de la placa de Cocos (Suárez et al., 1990). Que al ser joven (~ 25 millones de años) es una placa todavía caliente, con mayor tendencia a flotar, esto es comparado con una placa de mayor edad, que se ha enfriado y que ha asimilado material que la hace pesada. En el sureste de México y América Central la placa de Cocos es mas vieja, y la inclinación de la subducción puede alcanzar hasta 30° y no hay evidencia de segmento horizontal.

### III. LA RED DE GUERRERO.

La red telemétrica de Guerrero surge como el resultado del programa de cooperación del Instituto de Geofísica de la UNAM con el Institute de Physique du Globe (IPG) de Estrasburgo, Francia. Esta red de nueve estaciones telemétricas con registro digital se instaló en septiembre de 1987. El objetivo de la red (la red ya no esta en funcionamiento) es, entre otros, monitorear la actividad sísmica en la brecha de Guerrero y comprender la geometría y estado de esfuerzos de la placa de Cocos, que, esta entrando de bajo de la placa Norteamericana en esta región.

#### III.1. UBICACION DE LA RED.

La red de Guerrero se encuentra ubicada en la costa grande de Guerrero al NW de Acapulco, entre el  $101.2^{\circ}$  W y  $100.0^{\circ}$  W de longitud y entre el  $17.1^{\circ}$  N y  $17.7^{\circ}$  N de latitud (ver figura 4).



*Fig. 4. Ubicación geográfica de la red de Guerrero.  
Los triángulos señalan las estaciones de registro.*

### III.2. CARACTERÍSTICAS INSTRUMENTALES.

La red esta constituida por ocho estaciones sismológicas telemétricas, una estación local y un conjunto de recepción-registro.

En general, el equipo se puede dividir en dos grupos: el primero lo conforman las estaciones telemétricas: Nuxco, Papanoa, Puerto del Edén, San Jerónimo, La Florida, Papayo, Punta de Gallo, y Progreso.

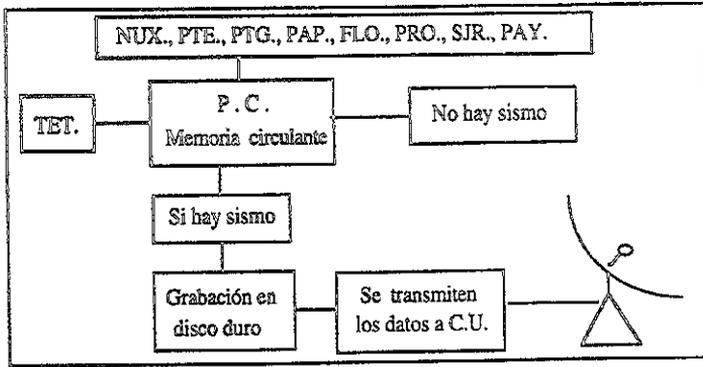
El segundo grupo se compone por la estación central y de registro en Tetitlán, Guerrero. Cada estación sismográfica se compone de un sismómetro de una componente vertical, un amplificador modulador,

un emisor UHF, una antena direccional, un acumulador y un panel solar.

Est	Lat	Lon	Alt(msm)
POG	17.37N	100.62W	650
SJR	17.12N	100.50W	40
PAP	17.27N	101.06W	260
FLO	17.24N	100.28W	840
NUX	17.24N	100.76W	80
PDG	17.18N	100.18W	250
TET	17.14N	100.62W	50
PDE	17.43N	100.75W	1620
PPO	17.00N	100.25W	100

Los sismómetros son de tipo MARK-PRODUCT L-4C con frecuencia natural de 1 Hz. El amplificador modulador y las baterías de litio están colocadas en un cilindro metálico impermeable. Ambos componentes fueron introducidos con el sismómetro en un cilindro de aluminio para evitar variaciones de temperatura. Cada estación transmite permanentemente la señal modulada hacia la estación central, donde se recibe, demodula y decodifica para ser registrada digitalmente.

La estación central tiene las siguientes componentes: ocho receptores UHF y sus respectivas antenas, un conjunto de demodulación y de detección, un digitizador, una memoria circulante y una estación sismológica de tres componentes (E-W, N-S, y vertical).



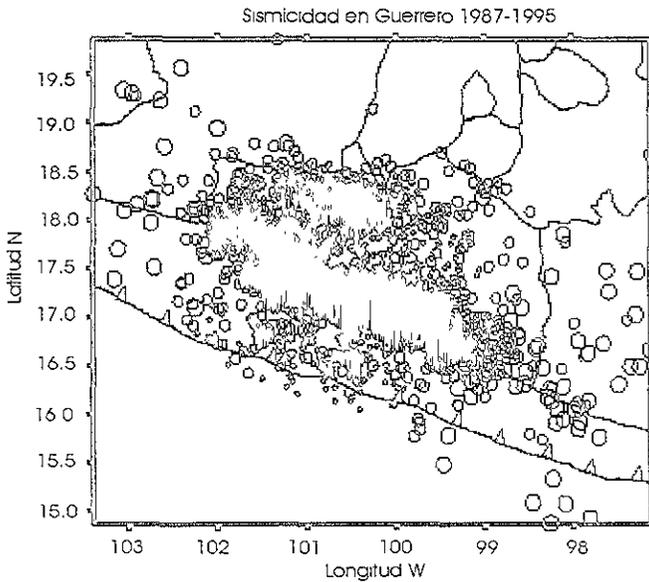
*Fig. 5. Esquema de la adquisición de datos.*

Las señales sísmicas después de ser demoduladas son digitalizadas y se les añade una base de tiempo codificada. La memoria circulante tiene un retardo de 16 segundos con el fin de no perder los primeros arribos, para los casos en los que el sistema se dispara con el arribo de la onda S. El sistema de registro demodula las señales recibidas de cada estación y un sistema de registro de tiempo. Cuando este sistema se dispara, las señales son codificadas y posteriormente grabadas. En caso de detección, los datos se graban en el disco duro de una PC.

El comando de grabación o “Bus de alarma”, es un sistema de circuitos de detección colocados en una tarjeta del comando de grabación, que comparan la suma de las señales seleccionadas con un nivel previamente elegido, de tal manera que, para que el sistema se dispare, la señal debe sobrepasar un voltaje prefijado por medio de un potenciómetro. Desde 1990 se usa un sistema con base en una computadora personal la cual controla todo el sistema de detección.

#### IV. ANALISIS DE LOS DATOS.

El catálogo con el que se trabajo contó con 6978 eventos ocurridos desde el 8 de Septiembre de 1987, hasta el 31 de Julio de 1995 la figura (6), muestra la ubicación espacial de los epicentros y algunos rasgos tectónicos importantes de la zona.



*Fig. 6. Mapa que muestra los epicentros con que se trabajo en este análisis.*

La historia de actividad sísmica puede observarse en la gráfica magnitud contra tiempo de la Fig. 7.

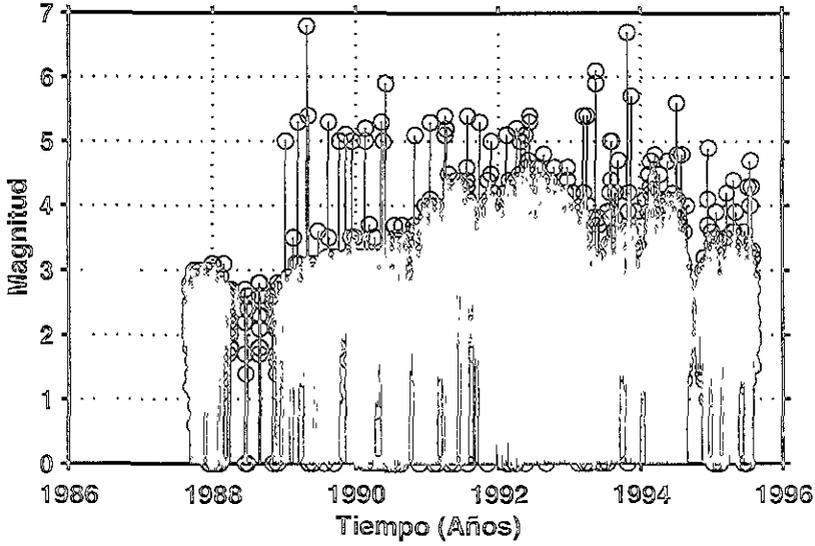


Fig 7. Historia de la actividad sísmica en la Brecha de Guerrero.

Para llevar a cabo el análisis del catálogo de sismicidad registrado por la Red de Guerrero, se realizaron los siguientes pasos:

- Desagrupar los datos del catálogo (eliminar réplicas y enjambres ya que estos no permiten la definición de una sismicidad umbral que pueda usarse en los análisis estadísticos) e identificar cambios significativos en la tasa de sismicidad, los cuales pueden

explicarse por cambios en la determinación de la magnitud.

Definir la magnitud mínima de completos.

- Identificar cambios significativos en los índices (tasa de sismicidad, valor  $b$  u otro parámetro) en el catálogo corregido.
- Definir volúmenes anómalos en espacio, tiempo, y magnitud en una banda.
- Investigar la naturaleza de los cambios en los índices (artificial o natural).
- Estimar el significado de la anomalía.

Una breve descripción de estos pasos estadísticos se describen a continuación, así mismo, se hace referencia a algunas definiciones de importancia.

#### IV.1. DEFINICIONES DE ALGUNOS CONCEPTOS DE IMPORTANCIA.

Dos niveles en la magnitud son importantes cuando se examinan datos de sismicidad. El primero es la magnitud mínima de completéz, y el segundo la magnitud mínima de homogeneidad.

La magnitud mínima de completéz es la magnitud que se toma como base y todos los eventos que se encuentren por arriba de esta magnitud son reportados

La magnitud mínima de homogeneidad, es el nivel sobre el cual los eventos son reportados consistentemente (sin cambios en la definición de sus parámetros a través del tiempo).

Estos datos son esenciales para detectar cambios en los índices de sismicidad, ya que pueden reflejar si existen cambios en los procesos tectónicos y no cambios en la capacidad de detección.

Para separar los eventos independientes de las réplicas es utilizado el algoritmo desarrollado por Reasenberg (1985). Este algoritmo propone que los sismos consisten en una serie en tiempo al azar (con distribución Poissoniana) y de componentes dependientes (réplicas y enjambres). Los eventos que ocurren dentro de un tiempo cercano a otro se asume que son dependientes.

Una distribución de Poisson se basa en el hecho de que una serie de tiempo interviene en muchos de los procesos y la distribución es exponencial. Estos tiempos pueden ser generados tomando  $|\log(U)|$  donde U es una serie de distribución uniforme al azar con números entre 0 y 1.

La distribución de una serie de sismos es descrita usando la relación de Gutenberg – Richter también llamada de Ishimoto-Ida:

$$\text{Log } N = a - bM \quad \dots (1)$$

Donde  $N$  es el número de eventos con magnitudes mayores a  $M$  y  $a$ ,  $b$  son constantes obtenidas empíricamente.

Las series que resultan después de remover los eventos dependientes, dan como resultado eventos independientes, los cuales servirán para configurar un catálogo de eventos independientes.

Para determinar si existe algún cambio relacionado con la detección, se asume que existe un decremento o incremento en el número de eventos que son examinados. Este cambio generalmente es reflejado en la tasa de eventos pequeños y no en los eventos grandes.

Un cambio sistemático en magnitud, sin embargo, afecta tanto a sismos pequeños como grandes. Dichos cambios los podemos apreciar en las gráficas de número acumulado vs magnitud (también llamadas gráficas de valor  $b$ ), o en los histogramas de distribución de magnitudes.

El incremento sistemático en magnitud mueve la curva de valor  $b$  a la derecha o hacia arriba, y si la magnitud decrece se puede obtener lo contrario, es decir mover la curva hacia abajo o hacia la izquierda.

## IV.2. HERRAMIENTAS DE ANALISIS ESTADÍSTICO DE SISMICIDAD.

### IV.2.1. LA TECNICA DE LA COMPARACION ESTADISTICA Z.

Esta prueba se basa en la hipótesis de que si tenemos dos muestras con medias aritméticas  $M_1$  y  $M_2$ , de tamaño  $N_1$  y  $N_2$ , y desviaciones estándar  $s_1$  y  $s_2$ , obtenidas de poblaciones con medias iguales, entonces la diferencia  $M_1 - M_2$  es una variable aleatoria con distribución normal, media 0 y desviación estándar dada por

$$S = \sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}} \quad \dots (2)$$

Dado lo anterior, podemos calcular un valor z:

$$z = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \quad \dots (3)$$

El cual nos ayuda a identificar si la diferencia entre dos medias existe dentro de un intervalo de confianza predeterminado. En nuestro caso, se consideran las medias aritméticas en la tasa de sismicidad calculada para dos intervalos de tiempo dados.

La técnica de comparación se basa en dos funciones estadísticas principalmente, la función AS y la función LTA, propuestas por Habermann (1983) que son descritas a continuación.

#### IV.2.2. LA FUNCION AS(t).

La función AS(t) (Habermann,1983,1987,1991) fue diseñada para responder preguntas específicas sobre el comportamiento de una tasa de sismicidad como: ¿donde se localiza en tiempo el cambio mas significativo entre dos puntos terminales dados?. Anteriormente, se utilizaba la función AS(t) para la identificación de anomalías en la parte final de una serie de tiempo. Pero la función AS(t) no es capaz de detectar anomalías cuando dos o más cambios ocurren en la serie de tiempo. Es por ello que se pensó en diseñar otras funciones que lo permitieran.

El valor Z en el tiempo t es calculado usando la ecuación 3 en la siguiente forma:

$$z(t) = (R_1 - R_2) / (\sigma_1^2 / n_1 + \sigma_2^2 / n_2)^{1/2} \quad \dots(4)$$

Donde  $R_1$  es la tasa promedio en el periodo 1 (de  $t_0$  a  $t$ ),  $R_2$  la tasa promedio en el periodo 2 ( $t$  a  $t_e$ ), donde  $t$  es el tiempo ( $t_0 < t < t_e$ ) y  $t_0$  y  $t_e$  son el inicio y el final del catálogo respectivamente.  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  son las desviaciones estándar en estos periodos respectivamente, y  $n_1$  y  $n_2$  el numero de muestras. En general, el tiempo  $t$  se puede ir incrementando para realizar un análisis corrido de todo el registro.

#### IV.2.3. LA FUNCION LTA

Para una prueba estadística más robusta de un cambio significativo, la función LTA resulta la más adecuada aplicada a una serie de tiempo:

$$z(t) = (R_{all} - R_{wt}) / (s_{all}^2 / n_{all} + s_{wt}^2 / n_{wt})^{1/2} \quad \dots(5)$$

Esta función LTA compara la tasa promedio de todo el registro a estudiar  $R_{all}$  con la tasa  $R_{wl}$  determinada para una ventana de longitud (en tiempo, o duración)  $wl$  ( $n$  indica el número de muestras,  $t$  tiempo en donde se ubica la ventana,  $s$  la desviación estándar). Esta ventana se mantiene constante durante todo el análisis. Para una determinación de los cambios globales en la tasa de sismicidad, la ventana puede ir recorriendo todo el intervalo del catálogo.

La duración de la ventana de la función LTA agrega una dimensión (parámetro libre) más al análisis.

#### IV.2.4. GENAS

Para poder identificar en forma sistemática los tiempos en los que ocurren cambios significativos en la tasa de sismicidad promedio, Habermann (1983) propuso un algoritmo al que llamó GENAS (general AS). Dicho algoritmo utiliza la prueba de valor  $z$  para la significancia estadística entre dos medias.

El algoritmo GENAS funciona comparando las medias aritméticas (en las tasas de sismicidad) antes y después de un tiempo dado, el cual se va incrementando hasta abarcar la totalidad del período que cubren

los datos del catálogo (i.e. la ventana del intervalo anterior a comparar crece mientras que la ventana posterior decrece conforme se incrementa el tiempo). El análisis se realiza iterativamente, empleando cada tiempo de ocurrencia de un cambio significativo identificado como *límite de un nuevo intervalo a estudiar*. De la misma forma el análisis se repite para diferentes cortes en magnitud y para frecuencias acumulativas hacia arriba (es decir, magnitudes  $\geq$ ) y hacia abajo (magnitudes  $\leq$ ).

De esta forma se puede ver que el algoritmo es una aplicación más general de la función AS(t).

#### IV.2.5. MAPAS DE VALOR Z.

Para poder evaluar las características en espacio de las variaciones de sismicidad inherentes a los datos de un catálogo, se puede emplear la técnica de los mapas de valor Z, introducida por Wiemer (1996). Dicha técnica funciona de la siguiente manera:

- 1) La zona a evaluar se divide formando una malla a cuyos nodos se asignarán las características de sismicidad de la zona aledaña.
- 2) Se identifican los sismos más cercanos a cada nodo ocurridos en un intervalo dado hasta llegar a un número fijo de eventos predeterminado.

3) Para cada nodo se calculan curvas acumulativas de número de eventos vs. tiempo, para un diferentes rangos de magnitud

( $\geq M$ , y  $\leq M$ ).

4) Se utilizan varios algoritmos, como por ejemplo las funciones AS(t) y LTA(t) Habermann, 1983; 1988), para evaluar cuantitativamente en el tiempo las variaciones en tasa de sismicidad, es decir para comparar la tasa de sismicidad en un intervalo (ventana) contra la tasa promedio general del nodo u otra tasa promedio relacionada.

En este paso se obtienen valores  $Z$  como función de la magnitud de corte y del tiempo para cada nodo.

5) Los resultados del paso anterior se despliegan en forma de mapas de valor máximo  $Z$  (para todo el intervalo analizado) o bien en forma de mapas de valor  $Z$  comparando dos intervalos específicos.

#### IV.2.6. LA TÉCNICA DEL “AJUSTE DE VALOR b”.

La técnica del ajuste del valor b fue introducida por Zuñiga y Wyss en 1995. En breve, dicha técnica permite inferir una posible relación entre las magnitudes determinadas en diferentes períodos, usando la distribución de Gutenberg-Richter (GR) ecuación 1, descrita anteriormente, para cada período y comparando sus pendientes (valor b) y sus ordenadas al origen (valor a).

Si suponemos una relación lineal entre las magnitudes determinadas para dos periodos del catálogo del tipo:

$$M_1 = cM_2 + d \quad \dots(6)$$

Donde  $M_1$  es la magnitud en un período y  $M_2$  es la correspondiente magnitud en el otro período a analizar, entonces podemos encontrar los valores de las constantes  $c$  y  $d$  de la siguiente manera:

$$c = b_2/b_1 \quad \dots(7)$$

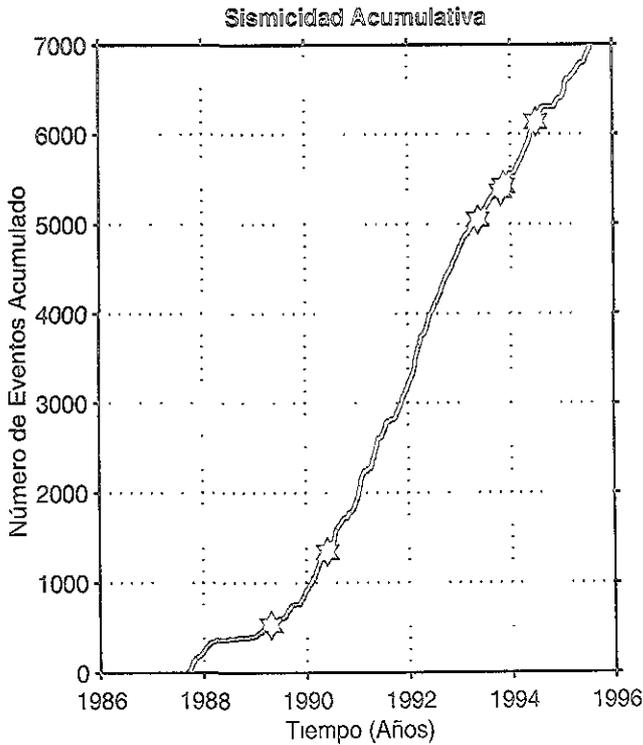
$$d = c(a_1 - a_2)/b_2 \quad \dots(8)$$

donde  $a_1$ ,  $b_1$  son los valores correspondientes a la distribución GR durante el 1<sup>er</sup> período y  $a_2$ ,  $b_2$  son los valores correspondientes al 2<sup>o</sup> período.

La aplicación de estas herramientas estadísticas son aplicadas para evaluar a los datos del catálogo de la Red de Guerrero.

## V. RESULTADOS.

La figura 8 muestra el comportamiento del catálogo original en forma de número acumulado de eventos vs tiempo. En esta gráfica podemos apreciar que hay dos cambios muy importantes, estos cambios pueden ser distinguidos por el cambio de pendiente que existe en la curva. Uno de ellos se presenta aproximadamente en el año de 1988 a 1989 y el segundo cambio de pendiente se encuentra en el año de 1993 aproximadamente, la curva entre 1989 y 1993 se puede considerar como uniforme y homogénea, el período desde el inicio de los datos hasta el año de 1989 se puede considerar como un intervalo de ajuste hacia una operación constante.



*Figura 8. Catálogo original en forma de número acumulado de eventos vs tiempo.*

Para poder contar con información cuantitativa sobre los tiempos en los que han ocurrido variaciones, empleamos el algoritmo GENAS descrito anteriormente. En la figura 9, se muestran los resultados de aplicar el algoritmo GENAS a los datos del catálogo, las curvas son semejantes a las de la figura 8.

En este gráfico se aprecian varios cambios los cuales están señalados por medio de una línea vertical sobre la curva de valor acumulado, cada una de las líneas marca una magnitud diferente por encima y debajo de una magnitud de corte.

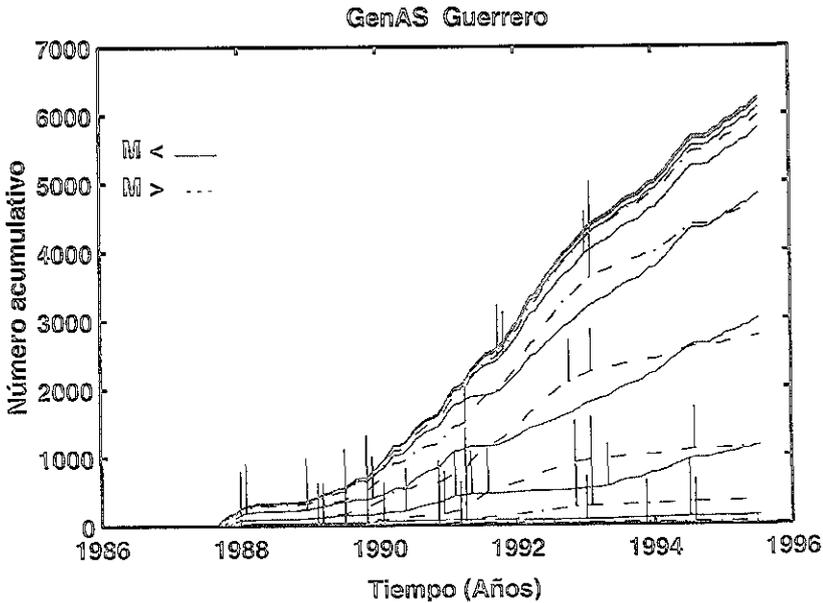


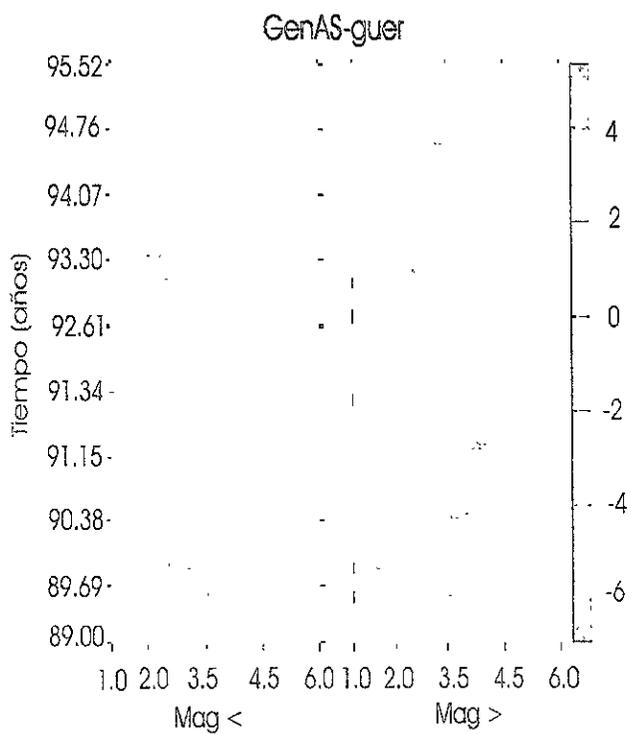
Figura 9. Resultados de aplicar el algoritmo GENAS a los datos del catálogo.

La gráfica de la figura 10 muestra los resultados del algoritmo GENAS en forma de mapa tiempo-magnitud-significancia. La significancia corresponde a los valores Z indicados por la escala vertical de colores a la derecha de la gráfica.

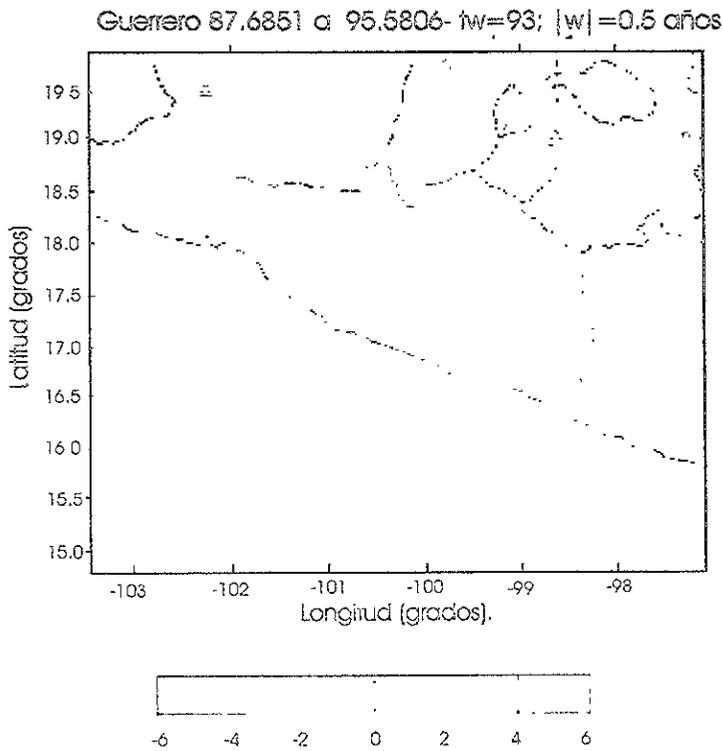
En esta figura se aprecian con mayor precisión los tiempos en donde se han presentado variaciones en la sismicidad, ya que las franjas nos indican el tiempo exacto en que se produjeron dichas variaciones. Como en la gráfica anterior, se puede apreciar que existen variaciones para diversas fechas con diferente extensión en el rango de magnitudes afectado. Sin embargo, solo nos interesan para este estudio aquellas variaciones que afectan un rango considerable de magnitudes. Por lo tanto consideramos únicamente las variaciones que ocurrieron en el año de 1989.60, así como en el año de 1993.28, ya que éstas afectan a todo el catálogo.

Una vez que se cuenta con un catálogo base (sin eventos dependientes), se puede obtener un desplegado de las variaciones *máximas* determinadas para una zona, con base en el algoritmo LTA aplicado a todos los nodos de una malla y siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo anterior. La figura 11 nos muestra el mapa de valores *Z* máximos para el catálogo antes de corregir. En dicho mapa el color oscuro (azul oscuro) representa un incremento en el índice de sismicidad, un tono mas claro (rojo) es un decremento en el índice de sismicidad. Podemos apreciar zonas de incremento en la sismicidad, así como otras zonas de decremento en la sismicidad con los mayores índices de significancia.

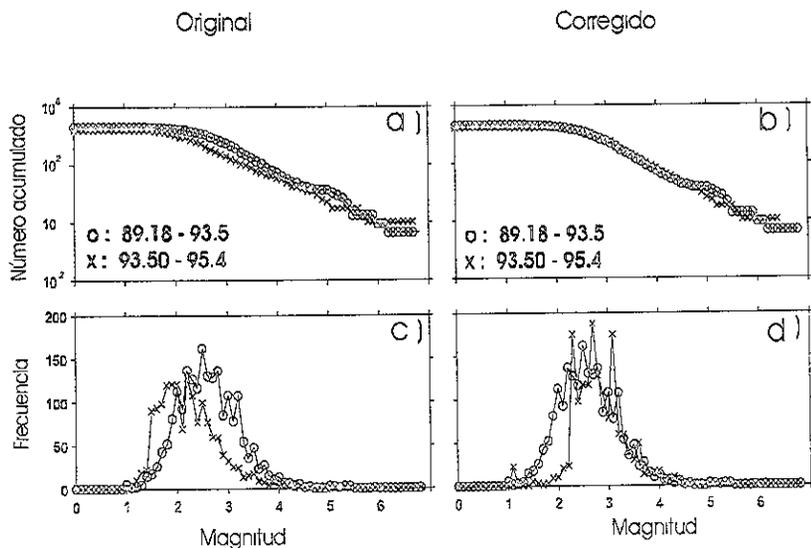
En la Figura 12 se muestran los datos correspondientes a dos períodos consecutivos (1989.18 a 1993.2 y 1993.5 a 1995.48), en forma de curvas de valor  $b$ , es decir de número acumulado contra magnitud, así como de histograma de frecuencias las cuales corresponden a los tiempos para los que se observó la mayor variación de acuerdo al algoritmo GENAS. En la figura 12c nos podemos dar cuenta que existe un desplazamiento en ambas curvas, lo que corresponde a una posible diferencia aditiva entre las magnitudes calculadas en los períodos considerados. Lo anterior se observa tanto en las curvas de frecuencia acumulada como de frecuencia absoluta (fig.12, a y c). Sin embargo también se puede apreciar un cambio en los valores  $b$ , evidenciado por el cambio en la pendiente de la curva de frecuencia acumulada (fig. 12a) al comparar las pendientes de los dos intervalos. Es por ello que es necesario aplicar una corrección a las magnitudes determinadas en alguno de los dos períodos, ya que se necesitan homologar ambas determinaciones. Si se considera que el período antecedente es de mayor confiabilidad, será entonces necesario corregir las magnitudes determinadas en el período consecuente.



*Figura 10. Resultados del algoritmo GENAS en forma de mapa tiempo-magnitud-significancia.*



*Figura 11. Mapa de valores máximos Z antes de corregir el catálogo. Si el valor Z máximo es negativo hay un incremento en la sismicidad y si el valor Z máximo es positivo hay un decremento en la sismicidad.*



*Figura 12. Curvas de frecuencia acumulada (valor b) e histogramas de frecuencia para dos intervalos considerados en el estudio. Se muestran los datos antes y después de ser corregidos de acuerdo al análisis. Los cuadros a) y c) corresponden a los datos originales mientras que los cuadros b) y d) a los corregidos.*

Una vez analizado el catálogo se puede aplicar alguna técnica como la de la “firma de magnitud” (Haberman, 1983) o la del “ajuste del valor b” (Zúñiga y Wyss, 1995) para corregir las magnitudes determinadas en un cierto intervalo de tiempo. En nuestro caso aplicamos la técnica del ajuste del valor b, la cual ha sido implementada en el programa ZMAP (Wicmer y Zúñiga, 1994).

Mediante esta técnica se obtuvo la relación entre magnitudes calculadas en los dos diferentes intervalos, encontrando aquellos valores que minimizan la diferencia entre ambas curvas de valor b.

La figura 13 ejemplifica el proceso realizado por el programa ZMAP, en donde se puede observar que las curvas de valor b finales presentan un excelente ajuste, evidenciado por los residuales obtenidos que son muy bajos.

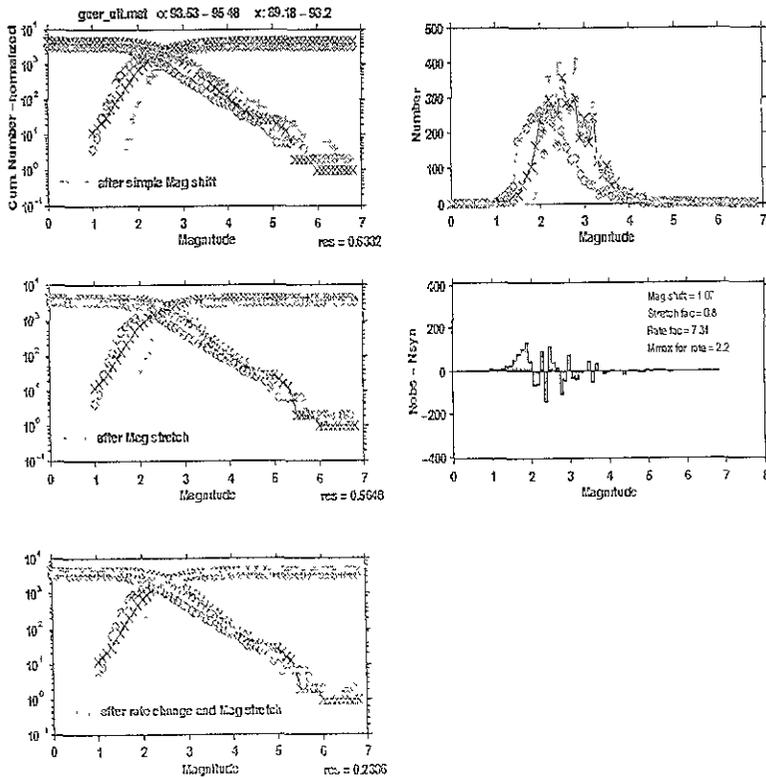


Figura 13. Ejemplo de los resultados que arroja ZMAP

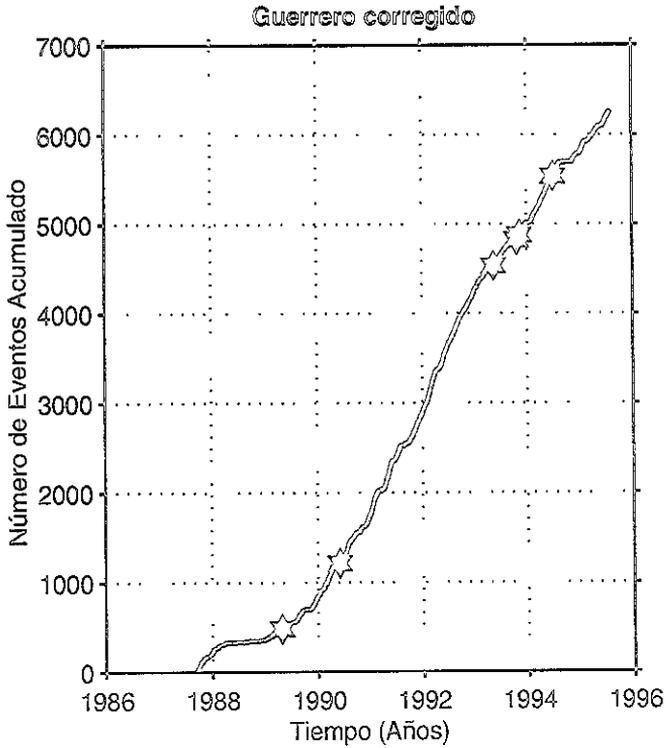
*en el proceso de corrección de un catálogo. En el recuadro "a" de la figura se muestran las distribuciones Gutenberg-Richter del catálogo original para los periodos 1989-1993, 1993-1995, así como la del catálogo corregido para el segundo periodo suponiendo una constante aditiva (la cual puede ser positiva o negativa) a las magnitudes únicamente. El recuadro "b" muestra las distribuciones Gutenberg-Richter originales mas la corregida por medio de una constante multiplicativa. El recuadro "c" muestra las distribuciones Gutenberg-Richter originales además de las corregida por medio de una relación lineal completa. Los recuadros "d" y "e", muestran los histogramas originales y el corregido y los residuales número de eventos originales menos número de eventos corregidos para cada rango de magnitud.*

La relación obtenida es:

$$M_{[1989.18 \text{ a } 1993.2]} = 0.8 M_{[1993.5 \text{ a } 1995.48]} + 1.07 \dots(9)$$

la cual se utilizó para corregir las magnitudes del catálogo.

Ya aplicada la corrección se obtiene una nueva gráfica de valor acumulado vs tiempo (Figura 14) la cual ya no presenta cambios de pendiente tan pronunciados al ser comparada con la curva de la figura 8. De esta manera podemos decir que nuestro catálogo presenta mayor homogeneidad. Los buenos resultados también pueden ser corroborados observando las gráficas de frecuencia acumulada y frecuencia para el catálogo corregido mostradas en la Figura 9.



*Figura 14. Número acumulado de eventos vs tiempo, para el catálogo corregido.*

La Figura 15 es el mapa de valor "Z" del catálogo corregido. Comparando con el mapa de la Figura 11, podemos ver que algunas de las variaciones ya no se presentan, lo cual puede tomarse como apoyo para inferir que dichas variaciones muy probablemente tenían su origen en cambios operativos de la red.

Por otro lado, aquellas regiones donde las variaciones persisten, pueden considerarse como indicativas de que las variaciones muy probablemente tengan su origen en cambios naturales. Por ejemplo, las zonas donde la sismicidad decrecía ahora son más evidentes.

En la Figura 15 son marcadas cuatro zonas que presentan anomalías en el catálogo.

La principal anomalía se muestra en la zona 1, que corresponde a una disminución en sismicidad, y no es atribuible al comportamiento de la red ya que persiste después de corregir el catálogo.

Pequeña anomalía en la zona 2, donde se indica que ha aumentado el nivel de significancia después de corregir el catálogo.

La zona 3 muestra una anomalía. En la cual al corregir los datos de el catálogo se aprecia que ya no es significativa. Por lo que se puede suponer que se debe a la operación de la red.

Para la zona 4 se observa que la sismicidad se enfatiza al corregir el catálogo.

Guerrero cat; 87.6854 a 95.5806  $-t_w=93$ ;  $|w|=0.5$  años

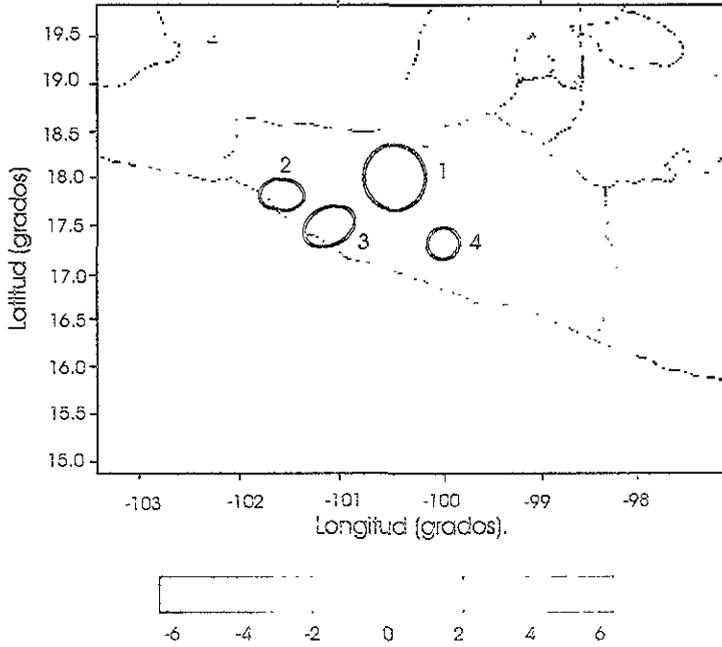


Figura 15. Mapa de valor "Z" para el catálogo corregido.

Donde se señalan cuatro zonas de mayor importancia debido al valor de su significancia.

## REFERENCIAS.

- Habermann, R.E. (1982). Consistency of teleseismic reporting since 1963, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **72**, 93-112.
- Habermann, R.E. (1983). Teleseismic detection in the Aleutian Island Arc, *J. Geophys. Res.*, **88**, 5056-5064.
- Habermann, R.E. and M. Wyss (1984 a). Background seismicity rates and precursory quiescence: Imperial Valley, California, *Bull. Seis. Soc. Am.* **74**, 1743-1756.
- Habermann, R.E. and M. Wyss (1984 b). Seismic Quiescence and Earthquake prediction on the calaveras Fault, California (abstract). *EOS. Trans. America Geophys. union.* **65**, 988.
- Habermann, R.E., (1987). Man-made changes of Seismicity rates, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **77**, 141-159.
- Habermann, R.E., (1991). Seismicity rate variations and systematic changes in magnitudes in teleseismic catalogs, *Tectonophys.*, **193**, 277-289.
- Keilis-Borok, V. I., and V. G. Kossobokov (1990). Premonitory activation of earthquake flow: Algorithm M8, *Phys. Earth Plan. Int.*, **61**, 73-83.

- Kelleher, J., Sykes, L., And Oliver, J. (1973). Possible criteria for predicting earthquake locations and their application to major plate boundaries of the Pacific and Caribbean” *J. Geophys. Res.* 78, 2547-2585.
- McNally, K., (1981). Plate subduction and prediction of earthquakes along the middle America trench., D.W. Simpson and P.G. Richards, (Eds.), *Earthquake Prediction, An International Review*. Am. Geophysical Union Monograph, Maurice Ewing Series, 4, 63-72.
- Mogi, K. (1969). Some features of recent seismic activity in and near Japan (2): activity before and after great earthquakes, *bulletin earthquake research Institutu, Tokyo. Univ.* 47, 395-417.
- Nishenko, S and Singh, S.K (1987), Conditional probabilities for the recurrence of large and great interplate earthquakes along the Mexican subduction zone. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 77, 2095-2114.
- Perez, O.J. y C.H. Scholz 1984. Heterogeneity of the instrumental seismicity catalog (1904-1980) for strong shallow earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 74, 669-686.

- Reasenber, P. A. (1985). Second-order moment of Central California Seismicity, *J. Geophys. Res.* 90, 5479-5495.
- Sykes, L.R, S.C. Jaumé (1990). Seismic activity on neighboring faults as a long-term. Precursor to Large Earthquakes in the San Francisco Bay area, *Nature*. 348, 595-599.
- Suárez, G., T. Monfret, G. Wittlinger, and C. David (1990). Geometry of subduction and depth of the seismogenic zone in the Guerrero gap, Mexico, *Nature*, 345, 336-338.
- Varnes, D. J. (1989). Predicting earthquakes by analyzing accelerating precursory seismic activity, *Pageoph*, 130, 661-686.
- Wesson, R.L, and C. Nicholson (1988). Intermediate-term, pre-erquake phenomena. In California, 1975- 1986, and preliminary forecast of seismicity for the next decade, *pure and Aplied Geophysics*, 126, 407-446.
- Wiemer, S., 1996. Analysis of seismicity: New techniques and case studies, *PhD thesis*, University of Alaska, Fairbanks, Alaska.
- Wiemer, S., and M. Wyss (1994). Seismic quiescence before the Landers (M=7.5) and Big Bear (M=6.5) 1992 earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 900-916.

Wyss, M., and R.E. Habermann (1988), precursory quiescence before the august 1982, Stone Canyon, San Andreas Fault Earthquakes, *pure and applied geophysics*, 126, 333-356.

Wyss, M., 1991. Reporting history of the central Aleutians Seismograph network and the quiescence preceding the 1986 Andreanof Island earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 81, 1231-1254.

Wyss, M., and S. Wiemer (1997). Two current seismic quiescences within 40 km of Tokyo, *Geophys. J. Int.*, 128, 459-473.

Zúñiga, F.R. (1989). A study of the homogeneity of the NOAA earthquake data file in the Mid-America region by the magnitude signature technique. *Geofísica Internacional*, 28, 103-119.

Zúñiga, F.R. and M. Wyss (1995). Inadvertent changes in magnitude reported in earthquake catalogs: their evaluation through b- value estimates, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 1858-1866.

## VI. CONCLUSIONES.

Con lo estudiado en la brecha de Guerrero podemos constatar también la importancia que tiene el tener un catálogo corregido, ya que la información sobre sismicidad de la región esta expuesta a presentar algún tipo de problema inherente al manejo u operación de la red en la que se basan los datos.

Con el análisis efectuado en esta tesis es posible tener información que permite saber si las variaciones en sismicidad observadas en la Brecha de Guerrero se deben a cambios en operación de la red, o pueden tener causas naturales.

Las técnicas empleadas proporcionan datos sobre posibles cambios en las determinaciones de magnitud, y dan lugar a correcciones que pueden implementarse a fin de cancelar incrementos o decrementos de sismicidad artificiales. Una vez que se corrigió el catálogo, se pudo comparar las zonas en las que se observaban anomalías en la sismicidad, y ver si éstas persistían. Si esto es así, se puede proponer que las anomalías observadas no se debían a cambios en la operación de la red.

Una consecuencia natural de este proceso es que al corregir un catálogo podremos afirmar que es un catálogo más homogéneo. Es posible mejorar el nivel de detección, si las correcciones dan lugar a un mejoramiento de la mínima magnitud de detección.

Si el catálogo corregido cumple tanto con la completitud como con la homogeneidad entonces la técnica presentada contribuye en la determinación de la extensión en espacio que ocupan estas anomalías.

Un punto a resaltar en los resultados obtenidos es que la disminución observada en la tasa de sismicidad y que iniciaba a mediados de 1993 antes de corregir el catálogo no se observa una vez que se ha corregido el catálogo. Dicho decremento podría haber sido interpretado como una posible quietud precursora. El análisis, sin embargo, demuestra que la variación se debió a cambios operativos y pudo ser corregida, y se concluye que se trata de una variación artificial.

La examinación de este nuevo catálogo sísmico indica que existen cuatro zonas anómalas en la Brecha de Guerrero. Las anomalías en las zonas 1,2 y 4 en la figura 15 son atribuibles a la sismicidad de la región, mientras que la anomalía en la zona 3 presuntamente es resultado de la operación de la red.

Es necesario un análisis de detalle con el catálogo corregido para aquellas zonas en las que persisten las variaciones aun después de corregir el catálogo, para poder discernir su posible relación con la ocurrencia de macrosismos.

Con lo estudiado en la brecha de Guerrero podemos constatar también la importancia que tiene el tener un catálogo corregido por alguna de las técnicas mencionadas en este trabajo, o con la aquí aplicada, ya que la información sobre sismicidad esta expuesta a presentar algún tipo de problema inherente al manejo u operación de la red en la que se basan los datos.

De lo anterior se desprende un punto importante y es que para poder hacer un reglamento de protección civil o un estudio de riesgo sísmico, los cuales se basan primordialmente en los catálogos de sismicidad, es necesario estar seguros y corregir en dado caso los cambios en las determinaciones de magnitud, ya que estos estudios o reglamentos podrían adolecer de sesgos no deseados.

## REFERENCIAS.

- Habermann, R.E., (1982). Consistency of teleseismic reporting since 1963, *Bull. Seism. Soc. Am.*, *72*, 93-112.
- Habermann, R.E., (1983). Teleseismic detection in the Aleutian Island Arc, *J. Geophys. Res.*, *88*, 5056-5064.
- Habermann, R.E. and M. Wyss, (1984 a). Background seismicity rates and precursory quiescence: Imperial Valley, California, *Bull. Seis. Soc. Am.*, *74*, 1743-1756.
- Habermann, R.E. and M. Wyss, (1984 b). Seismic Quiescence and Earthquake prediction on the Calaveras Fault, California (abstract). *EOS. Trans. American Geophys. Union.*, *65*, 988.
- Habermann, R.E., (1987). Man-made changes of seismicity rates, *Bull. Seism. Soc. Am.*, *77*, 141-159.
- Habermann, R.E., (1991). Seismicity rate variations and systematic changes in magnitudes in teleseismic catalogs, *Tectonophys.*, *193*, 277-289.
- Keilis-Borok, V. I., and V. G. Kossobokov, (1990). Premonitory activation of earthquake flow: Algorithm M8, *Phys. Earth Plan. Int.*, *61*, 73-83.

- Reasenber, P. A., (1985). Second-order moment of Central California Seismicity, *J. Geophys. Res.*, 90, 5479-5495.
- Sykes, L.R., S.C. Jaumé, (1990). Seismic activity on neighboring faults as a long-term precursor to Large Earthquakes in the San Francisco Bay area, *Nature.*, 348, 595-599.
- Suárez, G., T. Monfret, G. Wittlinger, and C. David, (1990). Geometry of subduction and depth of the seismogenic zone in the Guerrero gap, Mexico, *Nature.*, 345, 336-338.
- Varnes, D. J., (1989). Predicting earthquakes by analyzing accelerating precursory seismic activity, *Pageoph.*, 130, 661-686.
- Wesson, R.L., and C. Nicholson, (1988). Intermediate-term, pre-erquake phenomena. In *California, 1975- 1986, and preliminary forecast of seismicity for the next decade*, pure and Applied Geophysics., 126, 407-446.
- Wiemer, S., (1996). Analysis of seismicity: New techniques and case studies, PhD thesis, University of Alaska, Fairbanks, Alaska.
- Wiemer, S., and M. Wyss, (1994). Seismic quiescence before the Landers (M=7.5) and Big Bear (M=6.5) 1992 earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 900-916.

Wyss, M, and R.E. Habermann, (1988). Precursory quiescence before the august 1982, Stone Canyon, San Andreas Fault Earthquakes, pure and applied geophysics., 126,333-356.

Wyss, M., (1991). Reporting history of the central Aleutians Seismograph network and the quiescence preceding the 1986 Andreanof Island earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 81, 1231-1254.

Wyss, M., and S. Wiemer, (1997). Two current seismic quiescences within 40 km of Tokyo, Geophys. J. Int., 128, 459-473.

Zúñiga, F.R., (1989). A study of the homogeneity of the NOAA earthquake data file in the Mid-America region by the magnitude signature technique. Geofísica Internacional., 28, 103-119.

Zúñiga, F.R. and M. Wyss, (1995). Inadvertent changes in magnitude reported in earthquake catalogs: their evaluation through b- value estimates, Bull. Seism. Soc. Am., 85, 1858-1866.