

CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES SISMOLOGICAS

SISMICIDAD EN LOS ALREDEDORES DEL VOLCAN CONCHAGUA
FEBRERO-MARZO 1991



Por: Griselda Marroquín

RESUMEN

Con el objetivo de monitorear la actividad sísmica local tipo enjambre, iniciada el 22 de febrero de 1991 en los alrededores del Volcán Conchagua, departamento de La Unión, una red sísmica de tres estaciones portátiles fue instalada en los alrededores de éste, registrándose en el período del 25 de febrero al 31 de marzo aproximadamente 7211 sismos, de los cuales para este informe se seleccionaron 72.

La máxima concentración de los sismos seleccionados fue delimitada por las coordenadas longitud oeste (87.865° y 87.840°) y latitud norte (13.245° y 13.290°), la profundidad focal estuvo comprendida entre 1 y 7 kilómetros, observándose una concentración entre 1 y 1.5 km., el rango de magnitud estuvo comprendido entre 0.9 y 2.6 (magnitud en base a duración de la señal sísmica), no obstante se registraron eventos fuera del rango antes mencionado, pero debido a la falta de claridad en el registro no fue posible analizarlos. Según sus características la presente sismicidad ha sido clasificada de tipo A.

1.0 INTRODUCCION

El día 22 de febrero de 1991 un sismo sensible de magnitud 3.4 ocurrió frente a las costas del departamento de La Unión, el cual se cree fue la causa de que el fallamiento local en los alrededores del Volcán Conchagua se activara, dando inicio a una serie sísmica local tipo enjambre con intensidades máximas de V en la escala Mercalli Modificada (Departamento de Sismología, Centro de Investigaciones Geotécnicas).

El objetivo principal de este trabajo es localizar de una manera precisa y caracterizar una de las zonas de mayor actividad sísmica de El Salvador, la cual se ha denominado fuente sísmica

Conchagua, ésta forma parte de la zona de debilidad tectónica conocida como fosa central o graben, la cual se extiende de este a oeste cubriendo prácticamente toda la parte media del territorio salvadoreño.

El monitoreo de esta serie sísmica se realizó con una red de 3 estaciones portátiles con registro sobre papel ahumado, desde el 25 de febrero hasta el 31 de marzo de 1991. Para localizar el área epicentral se tomó una muestra de 72 sismos. Los eventos de esta muestra fueron localizados usando el programa HYP071PC (Lee and Valdés, 1985).

El presente trabajo consta de referencias geológicas y sísmicas, instrumentación, características del enjambre, discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones.

2.0 REFERENCIAS GEOLOGICAS Y SISMICAS

El Salvador, esta formado en más de un 90% por rocas volcánicas de los períodos geológicos del terciario y cuaternario. El resto lo conforman sedimentos pertenecientes al mesozoico y terciario inferior, los cuales únicamente se encuentran en el extremo noroeste de la república, (Geografía de El Salvador, 1986). El área epicentral del enjambre que se presenta en este trabajo está constituida por rocas efusivas básicas de la época pleistocena del período cuaternario (Mapa Geológico de El Salvador).

El mayor rasgo estructural de El Salvador lo constituye la fosa central. El origen de ésta se explica de la siguiente manera. En el terciario superior, fuerzas de compresión regional dieron lugar a la formación de un geoanticlinal, que se extiende paralelamente a la costa del Pacífico, desde Guatemala hasta Nicaragua. Posteriormente, fuerzas de tensión a lo largo de la cresta de este geoanticlinal dieron lugar a una zona de fallas, seguidas de un hundimiento, formándose finalmente la fosa central o graben.

Esta fosa se caracteriza por una constante actividad sísmica y sus principales características se resumen de la siguiente manera (Geografía de El Salvador, 1986).

- Morfológicamente, está relacionada con la cadena de volcanes
- Geológicamente, está asociada con el sistema tectónico WNW, el cual a su vez mantiene una posición paralela a la cadena volcánica joven.

Los hipocentros alcanzan profundidades de más o menos 10 km por lo que la energía sísmica se concentra en un área

limitada.

- Los sismos se originan debido a movimientos recientes de las regiones superiores de la corteza terrestre.

Con base en la historia sísmica de El Salvador, el Departamento de Investigaciones Sísmológicas del Centro de Investigaciones Geotécnicas ha delimitado algunas de las zonas de mayor actividad sísmicas dentro de la fosa central (Figura 1). Entre ellas se pueden mencionar las siguientes!

- Ahuachapán
- Apaneca - Izalco
- Ateos - Sacacoyo
- Area San Salvador
- San Vicente
- Berlín
- Conchagua y otras

Dentro de estas zonas con frecuencia se dan enjambres sísmicos. Uno de los mas recientes es el de Conchagua, el cual es objeto de este trabajo.

2.1 ESTRUCTURA DEL VOLCAN CONCHAGUA

El Volcán Conchagua es un macizo volcánico de dos picos, situado en la margen occidental de la bahía de Fonseca. Ambos picos, el Cerro del Ocote en el occidente y el Cerro de la Bandera en el este, se encuentran sobre una línea de rumbo N70°E, la distancia entre ellos es de 2.3 kms. El barranco de erosión en forma de cuchara, en la cima del Cerro de la Bandera, tiene rumbo ENE, en dirección a la punta de Chiquirín, Figura 2.

Según Meyer-Abich (1956), el macizo del Conchagua sin duda es bastante viejo y fuertemente atacado por la erosión. En ninguno de los picos se reconoce signos de una actividad volcánica reciente. Sin embargo, se reconocen en las fotos aéreas dos pequeñas áreas exentas de vegetación; una un poco abajo de la cima del Cerro de Ocote en su falda sureste, la otra en la pendiente sur del Cerro de la Bandera. Lo cual parece indicar que en estos lugares existieron campos fumarólicos respectivamente solfatáricos.

Según el mapéo geológico realizado por la misión Alemana en El Salvador (1967-1971), en las cercanías de este volcán existen fallas geológicas con diversas direcciones, la más sobresaliente está ubicada al costado noroeste y tiene una forma semicircular (Figura 3).

Según inspección realizada durante el período del enjambre, el Departamento de Investigaciones Geológicas, del Centro de Investigaciones Geotécnicas, reporta que la falla antes mencionada muestra evidencias de movimiento, dicha afirmación esta basada en:

- a. Presencia de pequeños deslizamientos de tierra a lo largo de la escarpadura.
- b. La mayoría de daños causados por la sismicidad en estudio se concentró en las cercanías de dicha falla.

3.0 TIPOS DE SEÑALES SISMICAS VOLCANICAS

A continuación se dan dos de las categorías generales comúnmente utilizadas en clasificar los sismos volcánicos; tal como lo enfatizó Newhall (1984), las categorías de la sismicidad volcánica pueden exhibir gradaciones y traslapes considerables.

TIPO A. Estos sismos generalmente ocurren a profundidades entre 1 y 10 km. debajo del volcán y se caracterizan por una rúbrica sísmica de alta frecuencia con fases bien distinguibles de las ondas P y S. No se les puede distinguir de sismos de período corto o tectónicos causados por fracturamiento de origen no-volcánico de la roca. Se infiere que los sismos de tipo A se generan por el fracturamiento de la roca en respuesta a la intrusión y migración de magma, o a la expansión de fluidos geotérmicos de alta presión.

TIPO B. Los sismos de tipo B generalmente ocurren a profundidades iguales o menores a 1 km, tienen un contenido más bajo de frecuencia que los eventos tipo A y tienen fases muy emergentes de ondas P y S que son difíciles de distinguir sin ambigüedad. Al igual que los eventos del tipo A, se piensa que éstos se forman por fracturamiento de la roca, pero la diferencia en las características de la rúbrica sísmica parece que refleja efectos del recorrido de las ondas sísmicas de estos focos someros a través de capas heterogéneas de ceniza y lava.

Figura 1
Zonas de mayor actividad sísmica en El Salvador

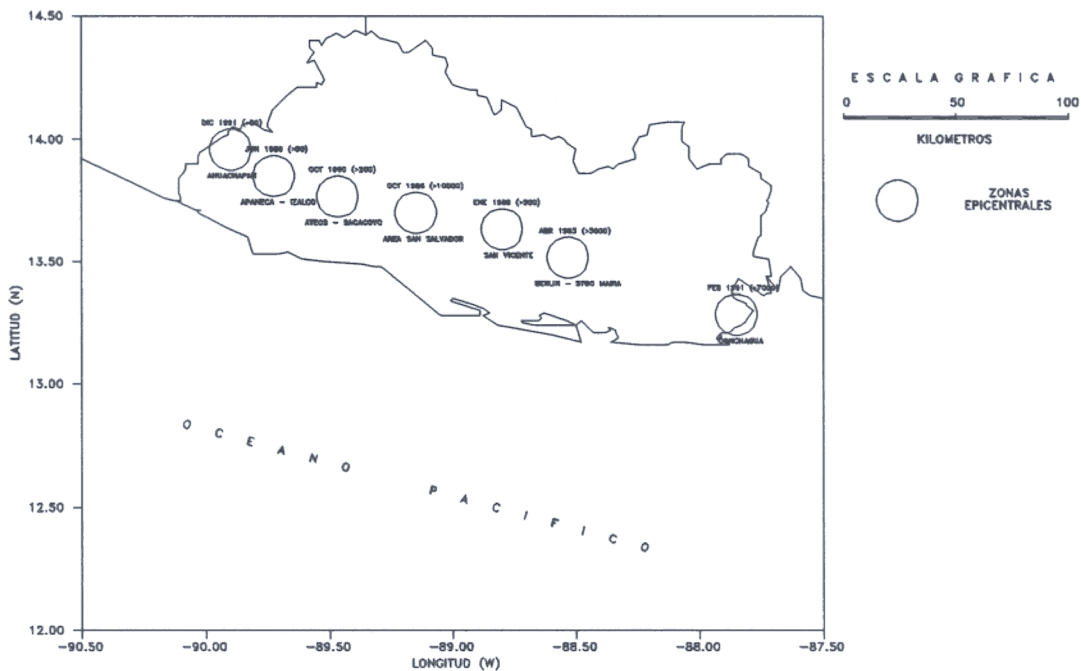
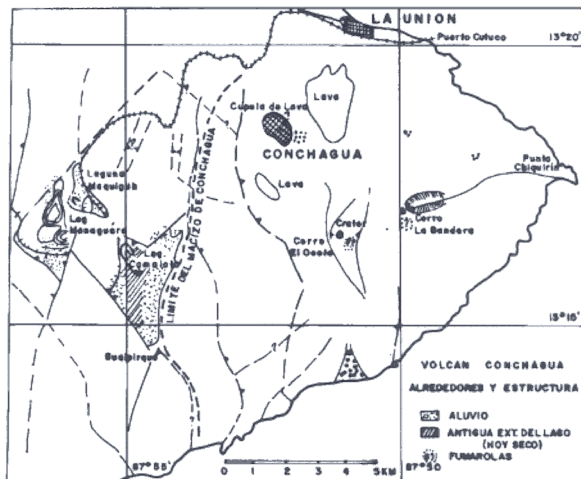


Figura 2
Estructura del volcán Conchagua y sus alrededores, (Geografía de El Salvador, 1986).



4.0 INSTRUMENTACION

Debido a la intensa actividad sísmica, a partir del 22 de febrero de 1991 en la parte sur del departamento de La Unión y dado que la estación telemétrica más cercana a dicha área está a unos 55 kms. al noroeste y era casi imposible monitorear la actividad microsísmica, El Departamento de Investigaciones Sismológicas del Centro de Investigaciones Geotécnicas; instaló el día 25 de febrero una red sismográfica portátil de 3 estaciones, de la marca Kinematics modelo PS-1 y sismómetros SS-1 Ranger con un sistema de registro directo sobre papel ahumado, con una amplificación máxima de 50 decibeles. Los sensores fueron instalados en posición vertical. Las estaciones fueron ubicadas según Tabla I y Figura 3

Figura 3
Localización de la red sísmica portátil instalada en los alrededores del Volcán Conchagua.

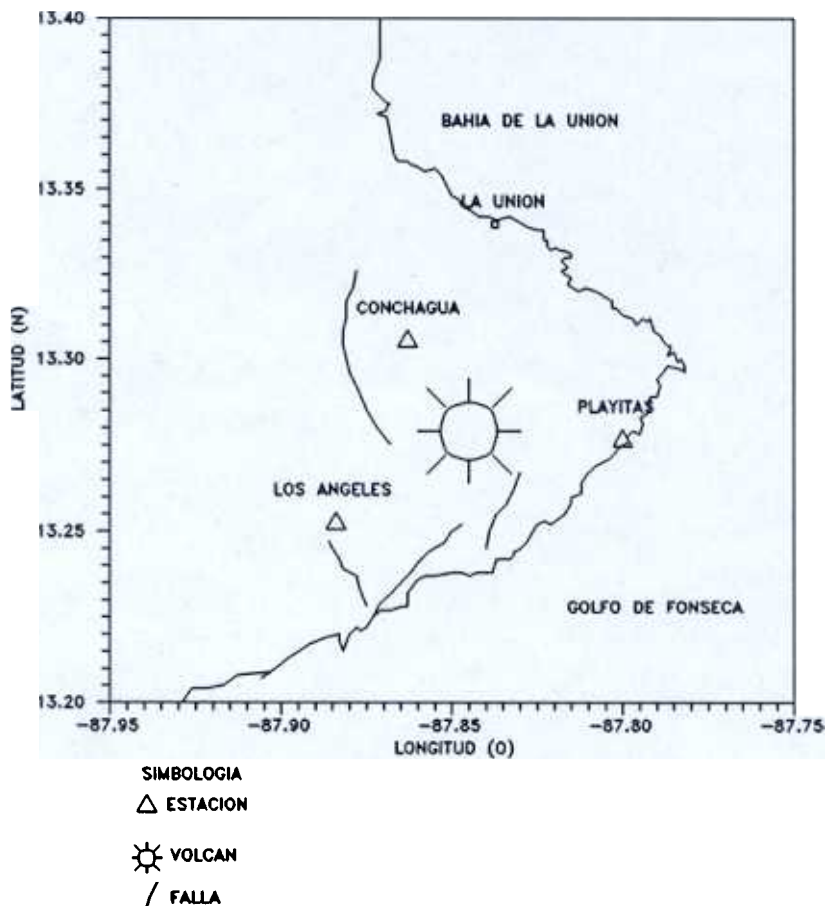


Tabla I
 Datos de la red sísmica portátil instalada en Conchagua

CODIGO	LUGAR	LATITUD(N)	LONGITUD(O)	ALTURA snm
CON	CONCHAGUA	13° 18.36'	87° 51.80'	230 m
CCA	C. LOS ANGELES	13° 15.16'	87° 53.06'	310 m
PYT	PLAYITAS	13° 16.60'	87° 48.00'	5 m

5.0 CARACTERISTICAS DEL ENJAMBRE

SELECCION DE LA MUESTRA

La red sísmica portátil de Conchagua, funcionó desde el 25 de febrero hasta el 31 de marzo de 1991, en este período registró aproximadamente 7211 eventos sísmicos de los cuales se seleccionaron 72, que corresponden al período del 1 al 8, debido a que la red funcionó en su totalidad solamente del 1 a 10 de marzo.

La muestra fue seleccionada tomando en cuenta:

- a. La identificación de los sismos en el sismograma de cada estación, dado que en algunos días la sismicidad diaria sobrepasó los 400 sismos (Figura 4) y fue sumamente difícil poder identificarlos.
- b. Claridad de registro de las ondas primarias (P) y secundarias (S) del sismo en cada estación, figura 5. Debido a la falta de sincronía de los relojes internos de cada estación, se trabajó con los intervalos de tiempo entre las llegadas de las ondas primarias y secundarias (S-P) y a la vez el programa que se utilizó para las localizaciones epicentrales requería como mínimo datos de 3 estaciones.

METODO UTILIZADO PARA LA LOCALIZACION

Entre los algoritmos y programas de cálculo que existen actualmente, se debe mencionar por su extendido uso los desarrollados por W.H.K. Lee y J.C. Lahr, en 1971, bajo el nombre genérico de HYPO, de los que existen varias versiones.

Para la localización de este enjambre, se hizo uso del programa de computación HYP071PC, el cual es un programa para localizar eventos sísmicos locales, originalmente realizado en 1971 por (Lee and Lahr, 1972; 1975) y revisado para la IBM PC en 1985 (Lee and Valdés, 1985). Usando el método de intervalos S-P, el cual es recomendable utilizar cuando la señal de tiempo en cada estación no está sincronizada.

En este programa se debe saber con precisión los siguientes parámetros:

- Coordenadas de las estaciones de registro
- Un modelo razonable de estructura de corteza (Tabla II)
- Tiempo de llegada de las ondas P y S
- La relación entre las velocidades de las ondas P y S, en este caso se usó el valor de $v_p/v_s = 1.78$

Como resultado de la ejecución del programa, se obtiene para cada evento sísmico los datos mostrados en la Tabla III.

Tabla II
Modelo de corteza utilizado
para localizar el área epicentral
del enjambre sísmico Conchagua.

velocidad (km/seg)	espesor (km)
1.70	0.00
2.40	0.50
3.20	1.25
4.40	4.00
5.80	9.00
6.96	12.00
8.20	17.00

5.3 LOCALIZACION

El área epicentral del enjambre sísmico Conchagua, fue determinada utilizando una muestra de 72 sismos. En la Figura 6 son mostrados los epicentros y en la tabla III los parámetros principales de cada uno de ellos.

La distribución de profundidades focales se presenta en la Figura 7, las cuales oscilan entre 1 y 7 kilómetros, observándose una concentración entre 1 y 1.5 kms., este corte vertical fue hecho con respecto a latitud, y el relieve de éste fue hecho tomando una línea base a la longitud 87.865° (0), debido al alineamiento de

epicentros observados a esa coordenada en la Figura 6.

Figura 4
Comportamiento temporal de la actividad sísmica Conchagua feb-mar
1991

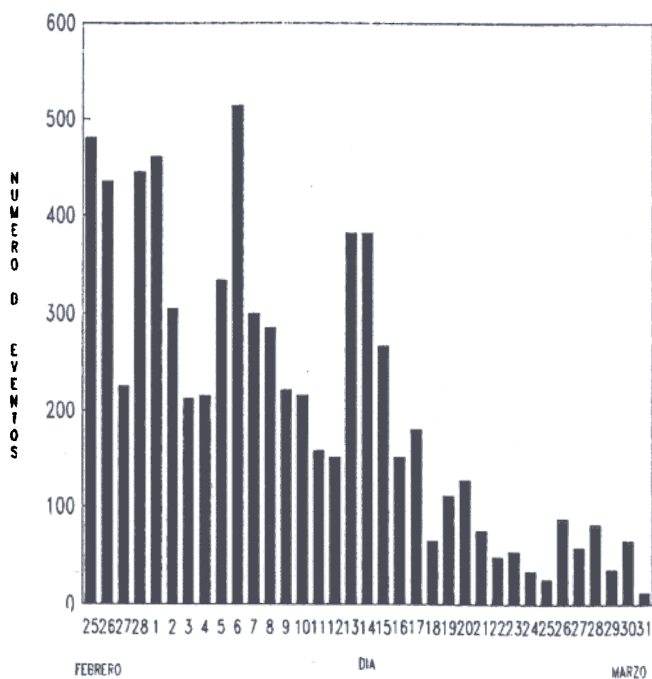


Figura 5
 Sección del sismograma registrado por la est. Conchagua el 6 de marzo de 1991

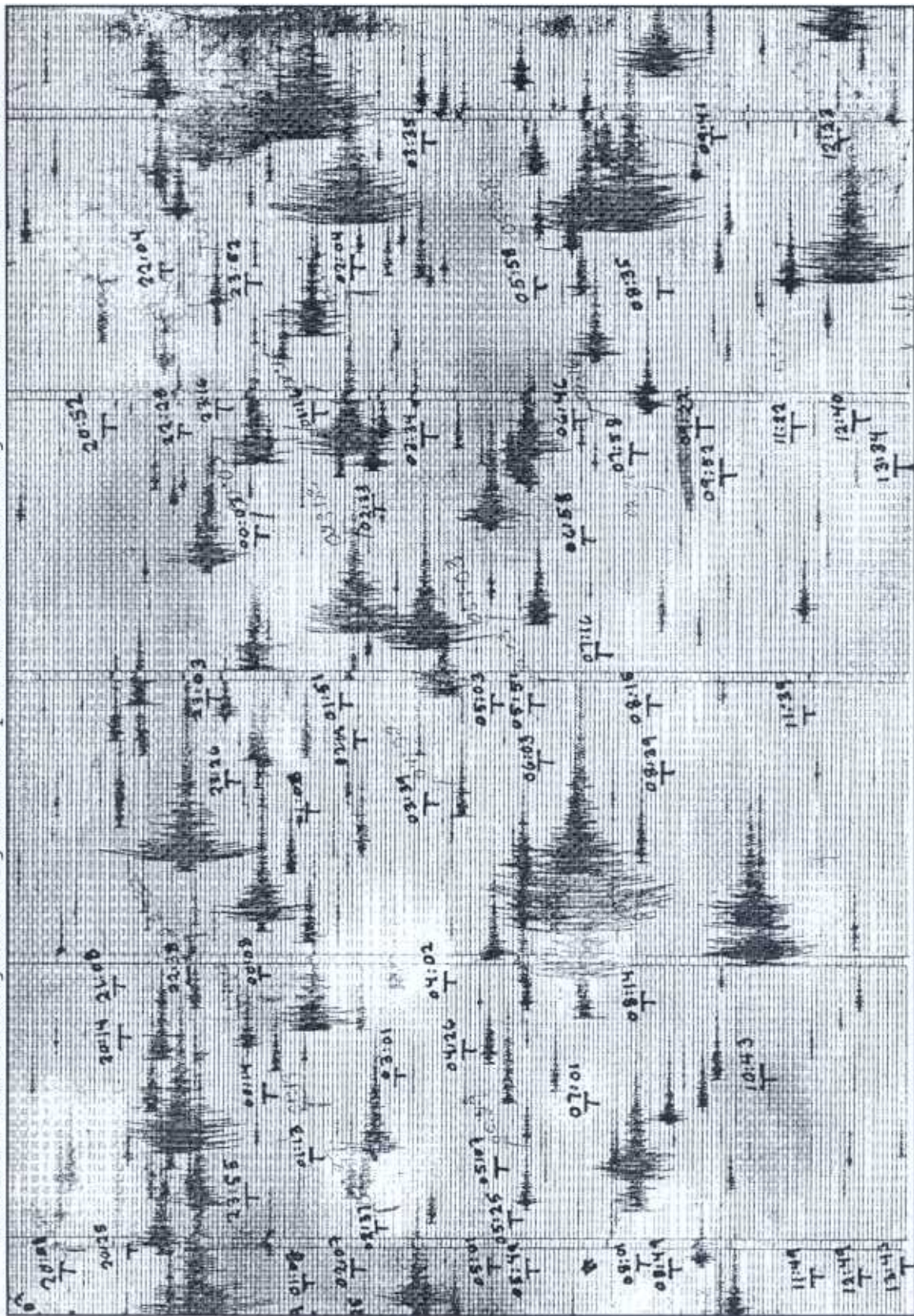


Figura 6
Localización del área epicentral del enjambre sísmico de
Conchagua

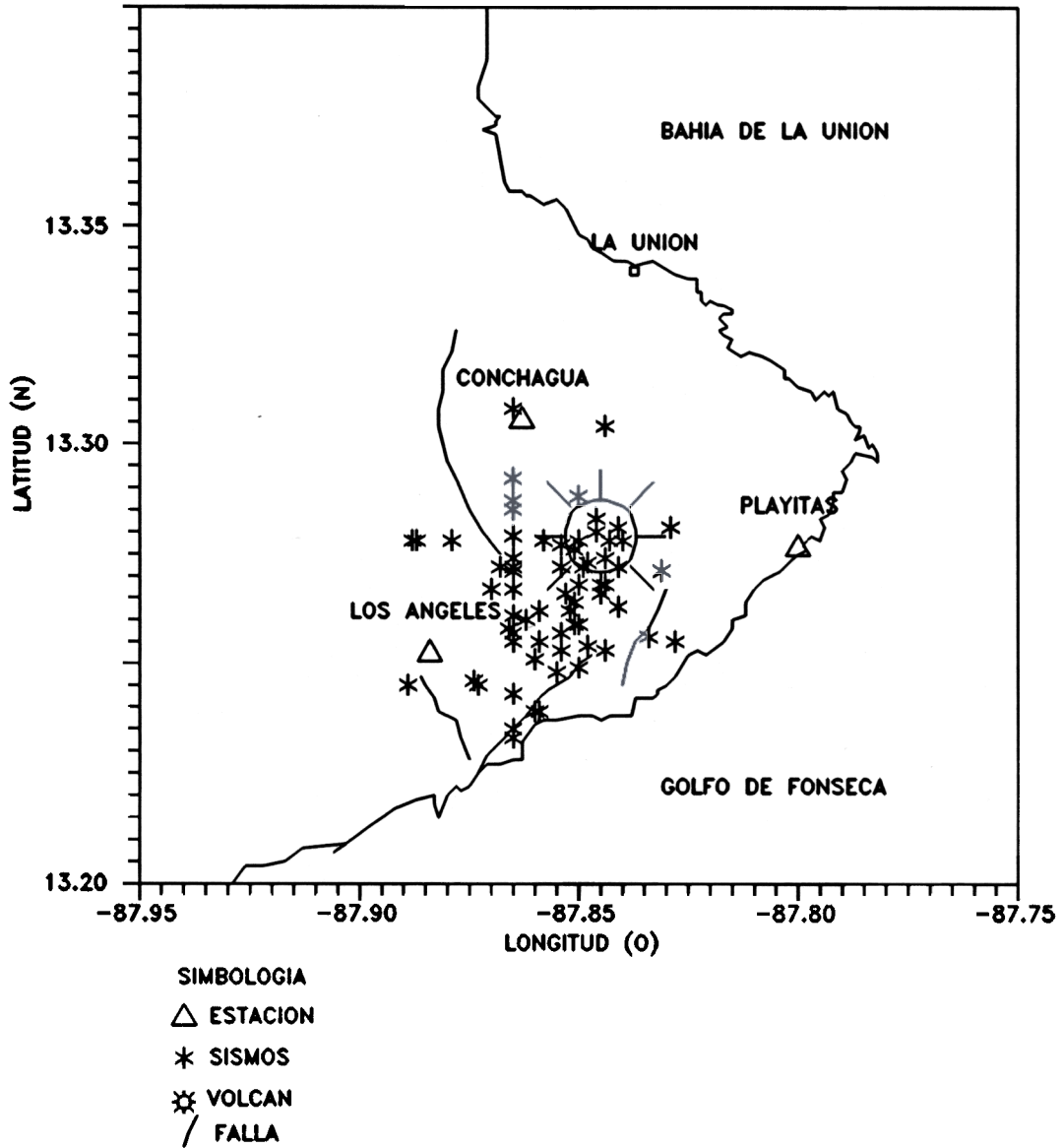


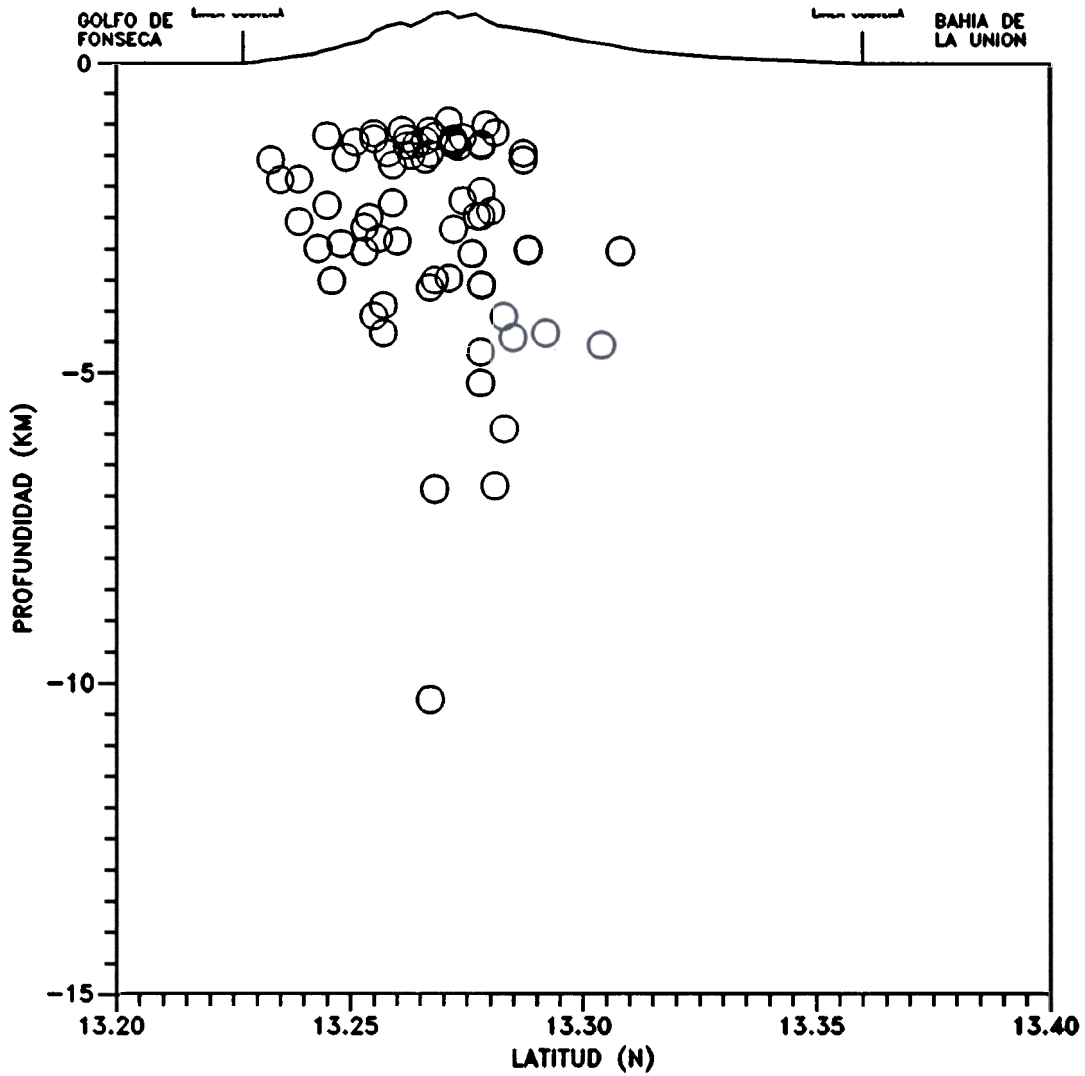
Tabla III
 Parámetros de cada evento sísmico, del enjambre de Conchagua, en el período de 1 al 8 de marzo 1991.
 Obtenidos a través del programa HYP071PC.

FECHA	HORA ORIGEN	LATITUD(N) GRADOS Y MINUTOS.	LONGITUD(O) GRADOS Y MINUTOS	PROFUN- DIDAD (KM.)	MAGNITUD EN BASE DURACION	DISTAN- CIA MIN. (KM.)	RMS
910301	2007 04.40	13-16.00	87-51.90	1.10	1.74	2.6	0.37
910301	2010 19.00	13-16.56	87-51.07	3.07	1.84	3.6	0.00
910302	0108 09.50	13-16.60	87-51.21	2.47	1.99	3.4	0.00
910302	0134 10.70	13-17.09	87-51.90	4.45	2.02	2.3	0.46
910302	0325 23.20	13-16.42	87-51.90	2.22	2.01	3.1	0.34
910302	0343 14.00	13-16.30	87-52.08	2.68	1.86	2.8	0.01
910302	0534 39.50	13-14.91	87-51.30	2.91	2.09	3.2	0.23
910302	1822 14.70	13-16.33	87-51.90	1.27	2.17	3.0	0.24
910302	1824 10.90	13-16.73	87-51.90	1.00	2.06	3.0	0.35
910302	1827 30.90	13-16.33	87-51.24	1.23	2.04	3.9	0.17
910302	2023 01.00	13-15.41	87-51.90	4.35	2.22	2.1	0.65
910302	2156 48.70	13-16.00	87-52.21	3.61	2.51	2.2	0.47
910302	2312 03.60	13-15.06	87-51.61	1.28	2.22	2.6	0.06
910303	0003 32.20	13-16.81	87-50.74	2.39	2.56	3.4	0.01
910303	0008 06.50	13-14.57	87-51.90	2.99	1.96	2.4	0.51
910303	0303 07.30	13-16.01	87-52.22	1.47	2.12	2.2	0.09
910303	0533 11.00	13-16.29	87-51.90	0.94	1.80	3.0	0.58
910303	0639 06.00	13-15.65	87-51.90	1.09	2.42	2.3	0.28
910303	0648 17.20	13-15.26	87-50.86	2.49	1.89	4.0	0.16
910303	0650 12.80	13-16.70	87-51.48	2.07	1.97	3.1	0.01
910303	0841 3.80	13-17.22	87-51.90	1.46	2.04	2.1	0.50
910303	0924 51.70	13-14.68	87-53.34	1.18	2.06	1.0	0.08
910303	0947 57.90	13-14.69	87-52.40	2.30	2.18	1.5	0.01
910303	0119 18.90	13-15.55	87-51.08	1.65	1.82	3.6	0.00
910304	0217 18.20	13-16.34	87-50.91	1.32	2.12	4.1	0.17
910304	0420 36.40	13-15.73	87-51.13	1.34	1.79	3.6	0.01
910304	1003 05.00	13-16.86	87-50.48	1.13	1.95	3.6	0.24
910304	1052 18.40	13-17.00	87-50.75	5.90	1.60	3.1	0.00
910304	2039 14.10	13-16.70	87-50.58	1.31	1.32	3.8	0.21
910304	2215 35.40	13-15.33	87-51.90	4.07	1.55	2.1	0.23
920305	0223 37.30	13-16.70	87-51.49	1.34	1.19	3.1	0.12
910305	0351 19.20	13-16.05	87-46.30	10.26	1.71	3.2	0.01
910305	0358 18.00	13-11.41	87-48.10	3.88	1.50	9.6	0.43
910305	0659 23.20	13-16.06	87-50.64	3.49	1.88	4.7	0.00
910305	0113 15.10	13-14.09	87-51.90	1.89	1.66	2.9	0.05

Continuación de la Tabla II

FECHA	HORA ORIGEN	LATITUD(N) GRADOS Y MINUTOS	LONGITUD(O) GRADOS Y MINUTOS	PROFUN- DIDAD (KM.)	MAGNITUD EN BASE A DURACION	DISTAN- CIA MIN. (KM.)	RMS
910305	1300 28.60	13-15.20	87-51.21	2.65	1.74	3.3	0.03
910305	2108 32.30	13-16.06	87-51.01	1.19	1.99	4.1	0.01
910306	0045 4.50	13-14.75	87-52.47	3.50	2.28	1.3	0.07
910306	0349 27.10	13-16.43	87-50.63	1.21	1.83	4.1	0.02
910306	0354 46.30	13-17.25	87-51.00	3.01	2.11	2.5	0.00
910306	0359 14.20	13-14.95	87-51.01	1.53	1.93	3.7	0.05
910306	0410 43.70	13-16.39	87-50.90	1.36	2.05	4.0	0.07
910306	0540 24.10	13-15.73	87-51.57	1.23	1.82	2.9	0.17
910306	0725 10.90	13-15.60	87-51.69	2.87	2.06	2.6	0.01
910306	0820 36.20	13-17.22	87-51.90	1.57	1.96	2.1	0.57
910306	2222 35.00	13-18.25	87-50.66	4.54	2.04	2.1	0.00
910306	2232 16.50	13-14.33	87-51.63	1.88	2.60	3.0	0.08
910306	2258 45.80	13-13.98	87-51.90	1.57	2.20	3.0	0.13
910307	0003 43.20	13-18.46	87-51.90	3.02	2.12	0.3	0.50
910307	0014 03.60	13-13.98	87-51.90	1.57	2.06	3.0	0.13
910307	0036 08.50	13-16.89	87-49.72	6.82	1.89	3.1	0.00
910307	0116 10.50	13-15.29	87-51.57	1.23	2.03	2.7	0.05
910307	0119 42.80	13-17.54	87-51.90	4.35	2.18	1.5	0.69
910307	0203 45.00	13-15.97	87-50.73	1.26	2.32	4.5	0.12
910307	0204 34.50	13-16.09	87-50.71	6.88	2.55	4.6	0.00
910307	0237 15.20	13-16.70	87-53.21	4.66	1.99	2.9	0.32
910307	0330 42.80	13-16.70	87-53.28	2.47	2.10	2.9	0.56
910307	0503 29.30	13-15.17	87-50.64	3.03	2.27	4.4	0.09
910307	0529 27.40	13-14.33	87-51.56	2.56	1.85	3.1	0.06
910307	0558 45.30	13-15.85	87-51.07	1.32	1.68	3.8	0.12
910307	0603 09.00	13-15.46	87-51.94	1.46	1.95	2.1	0.27
910307	0716 05.10	13-16.30	87-50.45	1.24	1.92	4.5	0.11
910307	0718 26.50	13-15.52	87-51.01	2.26	1.78	3.8	0.25
910307	0814 17.90	13-15.44	87-51.23	3.90	1.80	3.4	0.00
910307	0821 53.70	13-15.98	87-51.18	1.56	1.76	3.7	0.14
910307	0835 05.90	13-15.79	87-50.46	1.50	2.25	4.7	0.29
910307	1112 19.10	13-16.70	87-50.99	1.32	2.01	3.4	0.22
910307	1906 11.00	13-16.25	87-49.87	3.46	0.91	3.4	0.00
910307	1952 24.90	13-15.38	87-50.05	2.83	1.84	4.3	0.00
910307	2046 27.10	13-16.70	87-52.74	5.16	1.89	2.9	0.33
910307	2337 39.60	13-16.99	87-50.76	4.08	1.73	3.1	0.02
910308	0159 46.50	13-15.33	87-49.67	1.14	1.56	3.8	0.23

Figura 7
Corte vertical para el enjambre sísmico de Conchagua, el relieve
fue hecho a la longitud 87.865° O.



6.0 DISCUSION DE RESULTADOS

De la actividad sísmica de conchagua, se seleccionó una muestra de 72 sismos, al analizar cada uno de ellos, el área epicentral (Figura 6) estuvo comprendida entre las coordenadas longitud $87.890^{\circ} - 87.8250^{\circ}$ (O) y la latitud $13.235^{\circ} - 13.31^{\circ}$ (N), y la profundidad focal entre 1 y 7 kms, con una concentración entre 1 y 1.5 km., bajo la estructura volcánica (Figura 7). Si se asume que los epicentros de la sismicidad restante corresponden a las coordenadas antes mencionadas se puede decir que el área epicentral del enjambre fue aproximadamente igual a 60.06 km^2 , si a la vez se asume que el resto de la sismicidad no tendrá profundidades focales mayores a 7 kms. se puede decir que la sismicidad se desarrolló en un volumen aproximadamente de 360.36 km^3 .

La Figura 6 muestra el área epicentral, el Volcán Conchagua y las fallas geológicas. El objetivo, de graficar todo lo anterior, es para tratar de encontrar la relación de la actividad sísmica, con las fallas geológicas cartografiadas en la zona o con posibles fallas aún no identificadas. En la Figura antes mencionada, se puede apreciar que la sismicidad se concentró entre la longitud $87.865^{\circ} - 87.840^{\circ}$ (O) y la latitud $13.245^{\circ} - 13.290^{\circ}$ (N); dentro de las cuales se pueden observar ciertos alineamientos, y concentraciones de pequeños grupos de eventos. Lo que puede interpretarse como la existencia de diferentes fuentes sísmicas dentro de la misma zona.

El alineamiento observado en las longitudes 87.865° (O), Figura 6, se podría asociar al activamiento de la falla semicircular ubicada al costado noroeste del volcán. y según la ubicación de algunos otros epicentros, parecería que dicha falla hubiera sufrido una prolongación hacia el sureste.

La cantidad de energía sísmica liberada se calcula conociendo la magnitud de cada sismo, en este caso es casi imposible conocer la cantidad total de energía sísmica liberada, debido a que en algunos casos el número de sismos por intervalos de tiempo es tal que no se puede distinguir el inicio y final de cada uno de los sismos registrados, por consiguiente no se puede estimar el tiempo de duración de cada sismo, lo cual es básico para poder calcular la magnitud M_s . La magnitud de los sismos localizados oscila entre 0.9 y 2.6, obteniéndose un porcentaje de 45.8% de sismos con magnitud mayor o igual a 2.0.

Después de conocer las características de los sismos tipo A y tipo B y tratar de relacionar la sismicidad de Conchagua con alguno de ellos, se puede decir que la presente sismicidad se asemeja a la categoría de tipo A ya que como se muestra en la tabla III las profundidades focales oscilan entre 1 y 7 km., y en la figura 5 se puede apreciar que son sismos de alta frecuencia y las fases P y S son distinguibles, pero quedando de manera incierta si el

fracturamiento de la roca fue a través de procesos tectónicos o volcánicos, o una combinación de ambos, dado que se infiere que este tipo de sismicidad se genera por el fracturamiento de la roca en respuesta a la intrusión y migración de magma, o a la expansión de fluidos geotérmicos de alta presión.

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La actividad sísmica estudiada se concentró mas que todo en la parte sur-suroeste del Volcán Conchagua. Algunos de éstos muestran un alineamiento en la longitud - 87.865°, otros presentan una concentración con dirección sur-sureste de la falla semicircular y algunos otros se concentraron en la estructura volcánica de Conchagua. De lo anterior se concluye que esta sismicidad estuvo asociada a procesos volcánicos y a procesos puramente tectónicos.

Según las características observadas en los sismogramas y de su ubicación espacial esta sismicidad se puede clasificar de tipo A.

Es recomendable realizar un estudio geológico de la zona sísmica, de manera especial en la zona sur sureste de la falla semicircular ubicada al costado noroeste del Volcán Conchagua y a la vez tratar de conocer cual es el estado actual del Volcán Conchagua

Estudiar la posibilidad de instalar por lo menos una estación sísmica de manera permanente en el área epicentral de este enjambre, debido a que la estación más cercana de la red actual se encuentra a unos 55 kms. de dicha área, siendo casi imposible monitorear la actividad microsísmica de la zona.

BIBLIOGRAFIA

Departamento de Geología, Centro de Investigaciones Geotécnicas. (marzo 1991). Informe Geovulcanológico, Inspección Realizada en Municipio de Conchagua y sus alrededores.

Departamento de Sismología, Centro de Investigaciones Geotécnicas. (marzo 1991). Informe Preliminar de la sismicidad de Conchagua.

Dirección de Publicaciones, Ministerio de Cultura y Comunicaciones. (1986). Geografía de El Salvador. San Salvador, El Salvador

Lee, W.H.K and J.C. Lahr. (1972). HYPO71: a computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquake, Open-File report, U.S. Geological survey.

W.H.K. and J.C. Lahr. (1975). HYPO71 (REVISED): a computer program for determining hypocenter, magnitude, and motion pattern of local earthquakes, Open-file report 75-311, U.S. Geological Survey.

W.H.K. and C.M. Valdés. (1985). HYPO71PC: A Personal Computer Version of de HYPO71 Eartquake Location Program. Open-File Report 85-749, U.S. Geological Survey.

Meyer-Abich, H. (1956). Los volcanes Activos de Guatemala y El Salvador, (América Central). Anales del Servicio Geológico Nacional de El Salvador, boletín N°3.

Newhall, C.G. (1984). Short-term forecasting of volcanic hazards, in Proceedings, Geologic and Hidrologic Hazards Training Program, compiled by M. E. Williams and C. Kitzmiller, U.S Geol. Survey Open-file Report 84-760, PP. 507-592.