



Universidad Tecnológica de Panamá
CENTRO EXPERIMENTAL DE INGENIERÍA (CEI)

LABORATORIO DE INGENIERÍA APLICADA (LABIAP)

SECCIÓN DE SISMOLOGÍA

INFORME TÉCNICO

**MONITOREO Y ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA
SISMICIDAD ALREDEDOR DE BOQUETE**

MAYO 04-10, 2006

Integrantes del Grupo de Sismología de la Comisión Especial

MSc. Jaime Toral Boutet --- Investigador Sismólogo
Lic. Carlos A. Ho G. --- Instrumentación Sismológica

Panamá, Mayo de 2006

1- INTRODUCCIÓN

Esta sección da consideraciones fundamentales sobre el origen de la sismicidad sentida en la Ciudad de Boquete (Fig.1), principalmente por los 5 eventos repetitivos a cortos intervalos, en un lapso de 4 horas entre 4:07 a 8:27 PM del sábado 6 de mayo. Este tipo de actividad parece inusual comparada con la emisión de sismicidad de fondo en la zona, pero de forma general representa un fenómeno común dentro del arco volcánico de América central, donde se asienta el volcán Barú.

Este estudio se cubrió con anotaciones de todo lo reportado visible en superficie por los pobladores, y se concentró en el análisis de los fenómenos de carácter invisible, como lo son hipocentros, lapsos entre sismos, recuentos históricos, número de eventos, magnitudes y trazos tectolineales. En Boquete parece darse reactivación de las fallas geológicas locales en promedio cada 10 años, y en forma más prolongada, como enjambre, entre 20 y 40 años.

Enjambre son secuencias de sismos que están muy agrupados en el espacio y en el tiempo, y no están asociados con un identificable sismo principal. El valor para enjambres puede ser alto e implica que sismos grandes no acompañaran los pequeños. Los enjambres comúnmente ocurren en regiones volcánicas y generalmente las fallas no son tan largas y continuas en sus ambientes geológicos, donde los esfuerzos son heterogéneos, por cruces entre fallas como barreras temporales entre ellas. El máximo esperado es pequeño (~5.0 Richter) donde muchos segmentos de fallas acomodan la acumulación gradual de la deformación terrestre.

Fig. 1- a) Vista de Boquete desde CEFATI, y b) Mapa Geológico y trazas de fallas.



2- OBJETIVOS

Dentro de las misiones de la Comisión de la UTP, invitada por la Dirección General del SINAPROC, se pretendía trabajar en realizar un examen mediante la:

- Instalación de un mínimo de 4 instrumentos acelerográficos digitales de alta resolución (18 bits). Recuperar acelerogramas para análisis a campo cercano (Boquete) y lejano (David).
- Esperar captar sismos generados desde la zona epicentral del 4 de mayo.
- Analizar los aspectos de la forma envolvente de los acelerogramas triaxiales en el dominio del tiempo.
- Analizar el contenido espectral en señales registradas para definir características.
- Localizar todo evento posible y su expresión espacial con mecanismos focales.

3- AMBIENTE TECTÓNICO Y NOCIONES DE SISMOLOGÍA

3.A SISMOS HISTÓRICOS

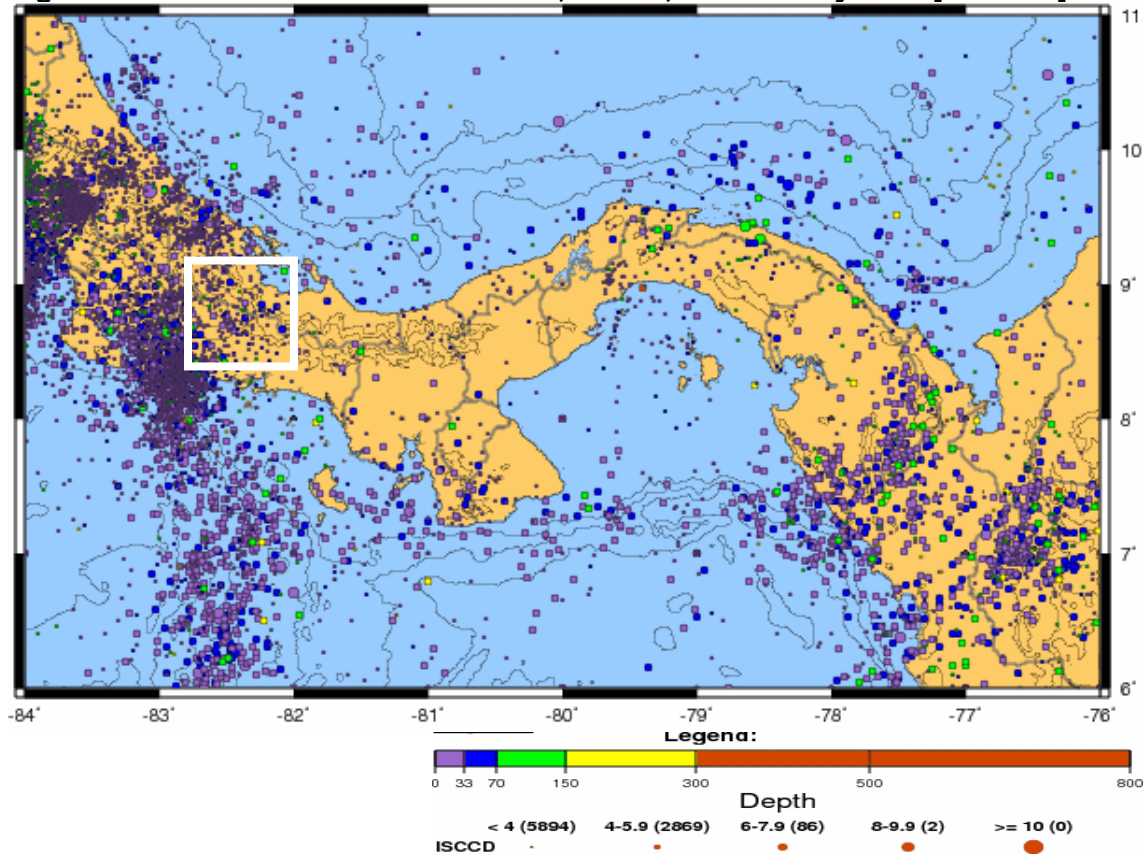
Instrumentalmente se han podido rescatar los siguientes pocos eventos fuertes de carácter histórico, dados en la Tabla 1, para toda el área de la población de Boquete. La mayoría de los pequeños eventos ubicados para el sector, como sismicidad de fondo, ha manifestado por largos años un correspondiente aspecto espacial difuso. Esto refleja la gran fracturación y múltiples fallas en la zona. En la Fig. 2 para el periodo mostrado, se aprecian pequeños eventos en tierras altas.

TABLA 1- Sismicidad Histórica Fuerte e Instrumental en el Área de Boquete.

AÑO	MES	HORA LOCAL	Latitud °N	Longitud °W	Magnitud Richter	prof. (km)	Agencia
~1927	invierno	Sismos	---	---	VI max	--	TOJ
1963	Junio-Sept.	Enjambre (365)	---	---	III máx.	S	BHP
1971	Noviembre 08	07h 56m PM	8.823	82.448	4.5 mb	33	ERL
1985	Noviembre 28	Enjambre (6)	8.540	82.420	4.2 máx.	5	UPA
1995	Marzo 07	11h 49m PM	8.744	82.423	4.1 Md	6	UPA
1995	Abril 13	06h 10m AM	8.746	82.353	3.7 Md	10	UPA

En la década de 1920's alrededor de 1927, sensores humanos indican que hubo fuertes sismos, caída de objetos inestables y deslizamientos en las montañas de Boquete. Esta actividad podría ser local en vista que no se catalogan grandes eventos en los márgenes de placas al norte o al sur, como para crear condiciones de altas aceleraciones (o intensidad).

Fig. 2- Sismicidad del Istmo de Panamá, M >3.5, entre 1964 y 2005 [ISC-IRIS]



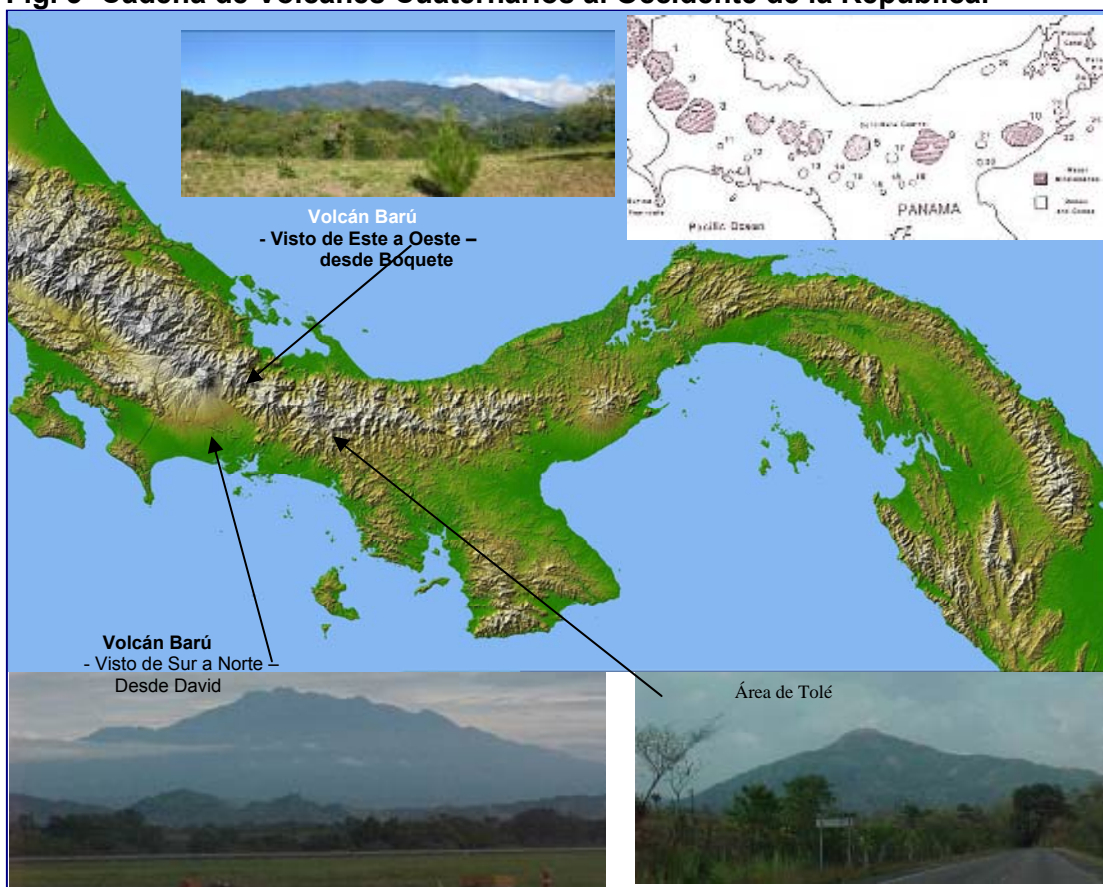
Una secuencia de 365 sismos sentidos se dio durante más de 4 meses, entre junio y septiembre de 1963, desde la región de Boquete y Bambito. El máximo no superó la intensidad Mercalli Modificada de III. Para un mismo día, llegó a contabilizarse por Leonard M. Butz 47 pequeños eventos, en una época no instrumental, a excepción de la estación en Altos de Balboa (BHP), en la exZona del Canal.

La información disponible manifiesta que cada 40 años parece haber una reactivación de las fallas locales alrededor de Boquete. Sin embargo, en noviembre de 1971 un solo evento fuerte (mb 4.5) fue ubicado en la misma zona de ruptura actual, hacia la cordillera, al norte de Boquete, y sin mayores detalles. Luego, para el 28 de noviembre de 1985, un enjambre de 6 eventos sentidos en tierras altas y Boquete, el mayor de magnitud 4.2, repercuten en la zona, aunque con epicentros NW-SE mas al sur de la ciudad.

3.B CLASIFICACIÓN DE LOS SISMOS

Los sismos volcánicos suelen darse en 2 grupos según su profundidad (h). El grupo I, (h = 3-5 km), comprende sismos tipo: α (< 15 Hz), β (< 3-4 Hz y la coda 5-10 Hz, h = 1,5 - 4 km) y γ (h = 300-400 m), y los del grupo II (h = 4-15 km), sismos de altas frecuencias (12 Hz), tremores (5-5,4 Hz) entre 20-30s, y eventos híbridos (β +tremor). El vulcanismo reciente asociado a fenómenos de subducción con fusión de corteza oceánica se aprecia en la Figura 3.

Fig. 3- Cadena de Volcanes Cuaternarios al Occidente de la República.

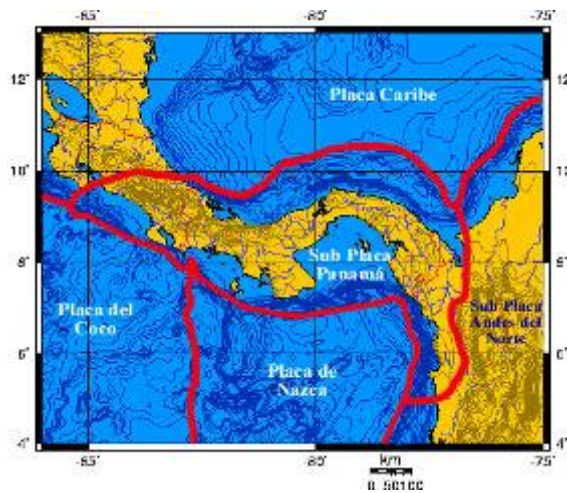


La secuencia de enjambres de 1963 próxima al volcán Barú coincide con la activación del volcán Irazú en Costa Rica, al otro lado del borde del promontorio submarino del Coco, separado por la cordillera del Talamanca (Fig. 4). El Irazú se activó en marzo de 1963 hasta 1965, y esto causó temor entre la población de las tierras altas de Chiriquí.

En ese entonces una comisión de geólogos de la exZona del Canal (R. Steward, et al) y de Recursos Minerales (J.L.Quirós) visitaron la zona, eliminando la supuesta simultánea activación del durmiente Barú.

Por otro lado, los sismos tectónicos usualmente según la distancia epicentral generan señales de 0,1 a 25 Hz. Hacia arriba de este valor, más de 20 Hz a 2 kHz, lo cubre la banda audible del oído humano. Se consideran casos de una porción de la energía liberada por la ruptura de falla, que va por encima de los 20 Hz.

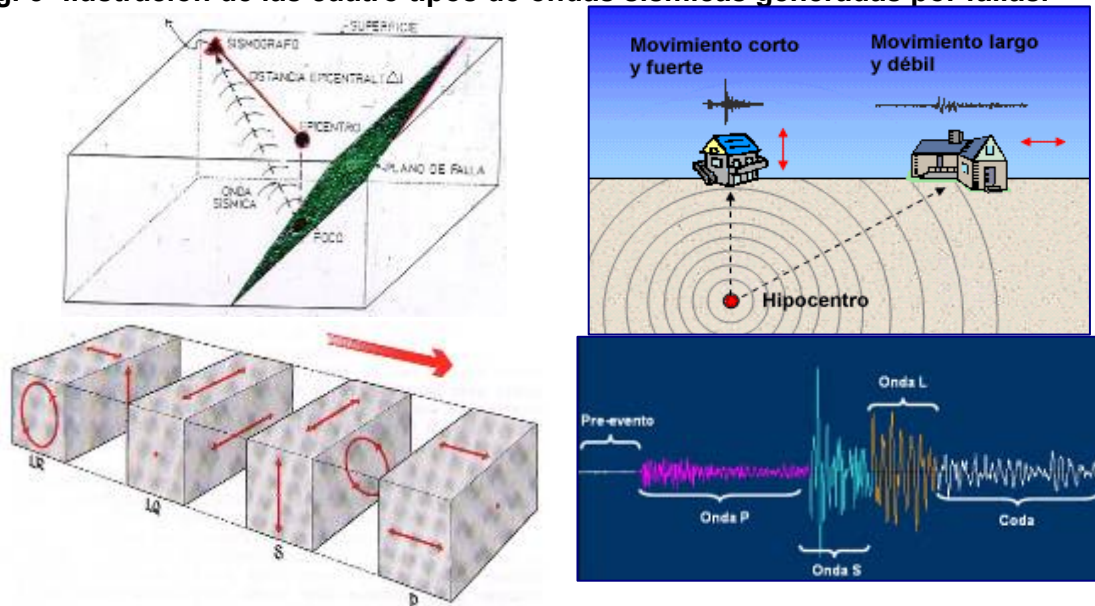
Fig. 4- Esquema de las Placas Tectónicas alrededor de la sub-placa Panamá.



Ahora en el 2006, las personas reportaron eventos de muy corta duración, desprendimiento o caída de alguna masa, luego la vibración, seguido de un ruido o zumbido como si fuese una cercana explosión. Sin embargo, esto lo atribuimos a eventos tectónicos, al tener observadores muy cercanos al área epicentral. Se verifico con componentes de frecuencias en los registros de acelerogramas *in situ*, con parte de energía en la banda del oído humano (> 20 - 60 Hz).

Los eventos más fuertes en Boquete fueron detectados en David. Estos muestran llegadas claras de ondas P y S (Fig. 5), con los trenes y formas de onda completos bastante semejantes. El inicio de las ondas P son en todos los casos significativamente mayores en amplitud a las ondas secundarias S. También se observa cierta definición previa de las ondas SV en comparación a las SH.

Fig. 5- Ilustración de las cuatro tipos de ondas sísmicas generadas por fallas.



4- METODOLOGÍA EMPLEADA Y ANÁLISIS

La intención principal de la gira (Fig. 6) fue colocar una red sísmica temporal de acelerógrafos (Fig. 7) alrededores del área de mayor concentración de eventos sísmicos de Boquete y lo más cercana a la zona macrosísmica, o de mayor intensidad.

Fig. 6- Traslado del grupo de trabajo por el SAN al Enrique Malek en David.



Se recopiló información de percepción humana, además del comportamiento animal (perros inquietos), desprendimientos de rocas de aglomerados en laderas empinadas debido a la fuerte vibración (tipo golpe), leve descenso del nivel de lagunas y ríos, lo cual es normal en zonas de ruptura. Esto es asociado a la trituración de rocas y descenso por infiltración del agua subterránea de los mantos acuíferos a estratos más profundos. Se estima pronta recuperación en 5 semanas al sellarse el plano de fallas.

Figura 7- a) Fases de la instalación y, b) reunión con Alcalde de Boquete.



Los acelerógrafos se instalaron en Boquete en las coordenadas geográficas dadas en la Tabla 2. Debe tenerse en cuenta la ubicación próxima a la zona de ruptura sísmica. Los otros instrumentos están colocados de forma permanente en David.

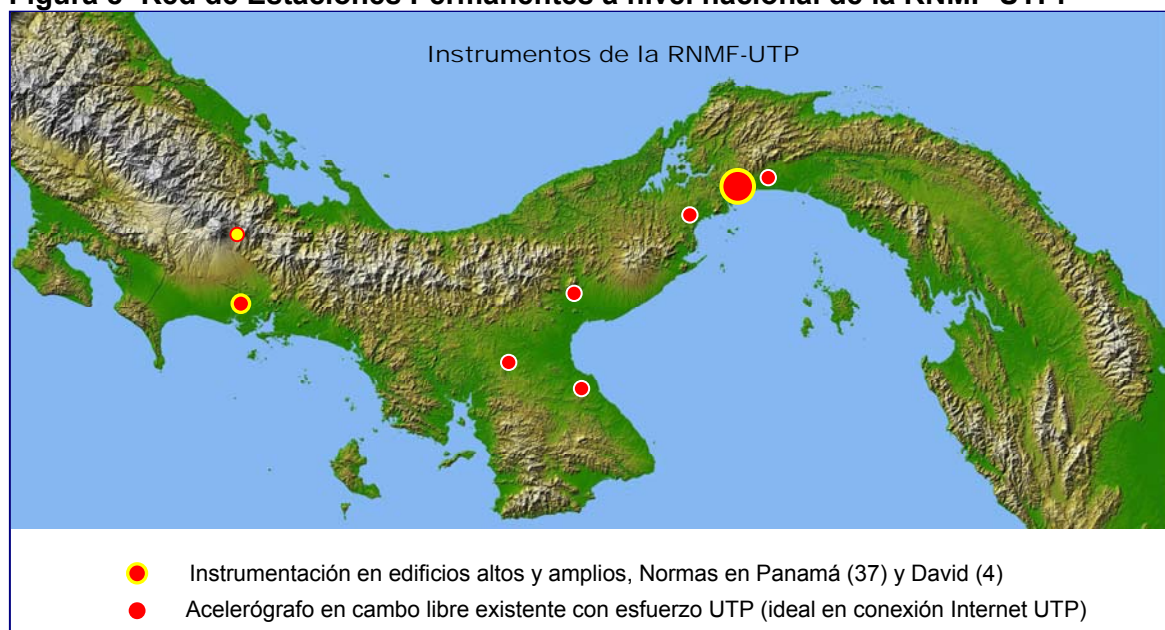
Tabla 2- Estaciones de Registro UTP con Acelerógrafos Digitales.

ESTACIÓN	SIGLA	LATITUD	LONGITUD	Altura (m)	Localidad
BOQUETE					
Oficina del Alcalde - MR	ALCA	8.77533	82.43177	1,109	Bajo Boquete
José Renán Esquivel	JRE	8.81408	82.46534	1,391	San Ramón
CEFATI	CEF	8.75644	82.43225	1,108	Alto Boquete
Finca Lerida – Flia. Collins	LERI	8.81179	82.48322	1,695	Alto Quiel
Volcancito - Pepe Toral	VOL	8.75899	82.44876	1,238	Barriada Santa Lucia
DAVID					
Hospital Materno Obaldía	JDO	8.42973	82.45636	43	El Coquito
Chiriquí Mall	MCH	8.42917	82.46169	51	El Coquito

La Comisión instaló acelerógrafos en la oficina de Gerencia del Centro de Facilidades Turísticas e Interpretación del Volcán Barú (CEFATI), en la residencia del Dr. José Renán Esquivel, en la parte externa de la Finca Lerida, en casa de la familia Toral en Volcancito, y en las oficinas del Señor Alcalde de Boquete, Manolo Ruiz.

Como comentario respecto al tipo de terreno donde se colocaron los instrumentos, y en adelante a cualquier estudio de microzonificación futura, se manifiesta una ligera amplificación sísmica debido a estratos subterráneos blandos (probablemente capas de cenizas) en la zona del parque (Alcaldía), en el sector de San Ramón (JRE) y en el CEFATI por estar al borde montañoso. Respecto a lugares de terrenos más rígidos, cascajo y areniscas, resultaron los sitios en Alto Quiel y Volcancito.

Figura 8- Red de Estaciones Permanentes a nivel nacional de la RNMF-UTP.



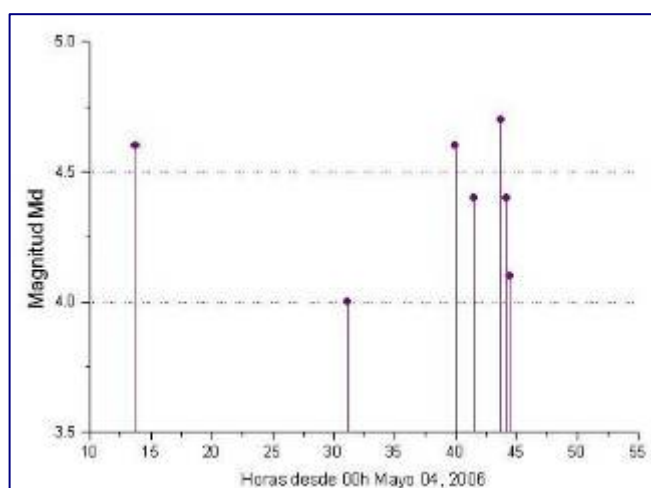
Seis (6) eventos sísmicos del enjambre fueron registrados claramente en las estaciones de la Red Nacional de Movimientos Fuertes (RNMF) de la UTP (Fig.8), ubicadas en el sótano del hospital Juan Domingo De Obaldía y en el Chiriquí Mall.

Tabla 4- Resumen de los Eventos Sísmicos localizados por la UTP.

FECHA	HORA LOCAL	Latitud °N	Longitud °O	Magnitud Richter	Profnd. (km)	Observaciones Intensidad Mercalli
Mayo 04	12h 42m	8.790	82.346	4.6	2	V MM Boquete
Mayo 05	07h 17m	8.823	82.503	4.0	8	IV MM Boquete
Mayo 06	16h 07m	8.812	82.488	4.6	5	V MM Boquete
	17h 29m	8.807	82.387	4.4	10	IV MM
	19h 40m	8.803	82.385	4.7	8	V MM Boquete
	20h 17m	8.796	82.415	4.4	5	IV MM
	20h 27m	8.828	82.424	4.1	8	III MM Boquete
Mayo 08	21h 13m	---	---	---	---	---
Mayo 09	01h 19m	8.815	82.496	2.2	2.0	---
	03h 44m	8.830	82.454	2.9	1.2	II MM Bajo Mono
	11h 29m	---	---	---	---	---
	13h 07m	---	---	---	---	---
	13h 04m	---	---	---	---	---
	17h 42 m	8.854	82.453	2.8	1.8	---
	18h 43m	8.771	82.446	3.0	4.9	---
Mayo 10	04h 33m	8.813	82.336	3.1	2.2	II MM Boquete
	10h 04m	---	---	---	---	---

FUENTE: LABIAP- CEI.

Figura 9- Ocurrencia de la sismicidad fuertemente sentida Mayo 04-06.



Considerando la magnitud de cuerpo (mb) y de momento (Mw) equivalente en correlación con la Magnitud local de duración Md (UTP) para acelerógrafos, y empleando la ecuación de conversión entre magnitud y energía de Gutenberg-Richter:

$$\text{Log } E = 5.8 + 2.4 \text{ Md} \quad [\text{ergios}]$$

Se calculó (Tabla 3) un equivalente a magnitud máxima de todo el proceso, que resulto inferior al 5.0 Richter, y una energía liberada de 3×10^{17} ergios.

Tabla 3- Magnitud compuesta de Todos los eventos del Enjambre.

Magnitud Md	Energía {ergios}	Magnitud MΣ
4.6	6.91831 E+16	
4.0	2.51189 E+15	
4.6	6.91831 E+16	
4.4	2.29087 E+16	
4.7	1.20226 E+17	
4.4	2.29087 E+16	
4.1	4,36516 E+15	
2.9	5.7544 E+12	
2.8	3.31131 E+12	
Total	3.11296 E+17	

Este resultado coincide con la estimación hecha en 1998 por el sismólogo Jaime Toral para tomar consideraciones con el estudio de impacto ambiental de la planta de Riego de El Salto. Entonces y mediante:

$$\text{Log } N = a - b \text{ Md}$$

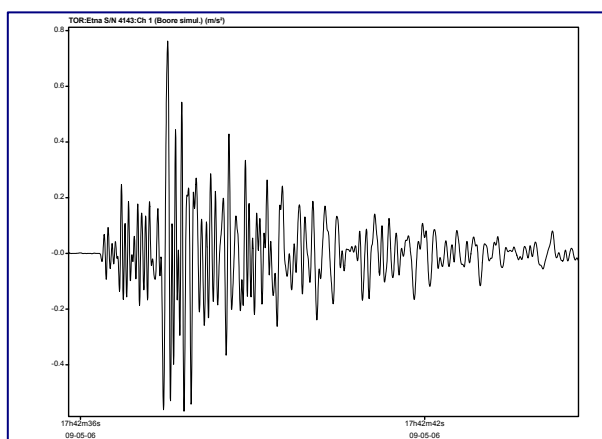
El valor b calculado fue de 1,56 dentro de los histogramas de eventos y estadísticas de Gutenberg-Richter, considerando una sismicidad difusa y de fondo entre 1991 a 1997. Se estimó la magnitud del sismo potencial y creíble máximo, y concuerda con valores donde pueden manifiestan enjambres sísmicos. Es decir, muy por encima de la pendiente normal de la recta, numéricamente oscilando en $1,0 \pm 0,2$.

En promedio la longitud de ruptura en cada segmento desplazado en longitud por un centenar de metros, semejan fallas tipo X, en el sector Norte de Boquete, con trazas prolongadas dentro de lugares poblados. Sin embargo, esto no representa mayor

peligro dado las dimensiones en longitud y profundidad de estos elementos geológicos, hasta ahora activados y perceptibles dada la cercanía.

Parámetros empleados para evaluar la aceleración máxima (Fig. 10) según el método de *Boore*, para escalar el sismo de 4,7 en base a uno en terreno firme de magnitud 2.9, fue estimado con un Momento: 2.50 E+17 (N-m); frecuencia esquina menor f_c : 0.26 (Hz); frecuencia de corte superior f_m : 17 (Hz); factor de calidad Q: 75; distancia R: 8.0 (km); velocidad de ondas de corte S: 3.6 (km/s); patrón de radiación R_{tf} : 0.63; amplificación en la superficie libre FS: 1.0; energía de partición PRT: 1.00; y la densidad: 2.96 (gm/cm³)

Fig. 10- Acelerograma del estimado y sintético en 0,08 g máximo (preliminar).



El resultado del sintético en 80 cm/s² es equivalente a una Intensidad Mercalli Modificada (MM) Instrumental de V grados, en la zona epicentral de Boquete; lo cual conlleva daños potenciales muy ligeros, y concuerda con lo observado. Además, parece más coherente con los hechos que las fórmulas de atenuación existentes para América Central y Costa Rica, que no logran predecir lo ahora detectado. Es decir, a un valor de 0,03g esperado en David, se alcanzó 0,0025g. Esto demuestra lo singular, que ocurrió una rápida atenuación, según confirma la baja percepción en el Alto Boquete o Potrerillos. Además, da necesidad de trabajar en proyectos para encontrar ecuaciones del ámbito nacional propias.

La duración del enjambre puede ser evaluado mediante la relación de Mogi (1963), que según el número de eventos del máximo día de mayor actividad del enjambre (N_m), puede estimarse la duración (t) de toda la secuencia en días que tardara en regresar a la normalidad, y desde el inicio (el 4 de mayo). Así, la desigualdad:

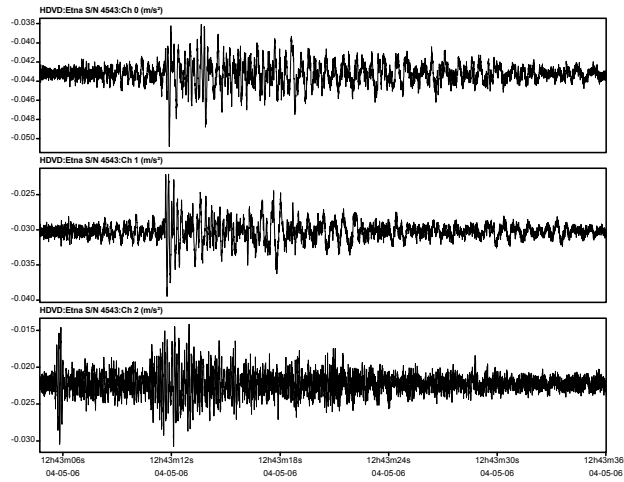
$$\frac{N_m}{\sqrt{t}} > 2 \quad \text{[días]}$$

Expresa que la duración de esta secuencia sísmica o enjambre, con $N_m=12$ eventos sentidos, no debe extenderse más allá de 36 días, o unas 5 semanas. Es decir, hasta la II semana de junio del 2006, debería disiparse por completo la emisión y percepción de sismos en la zona.

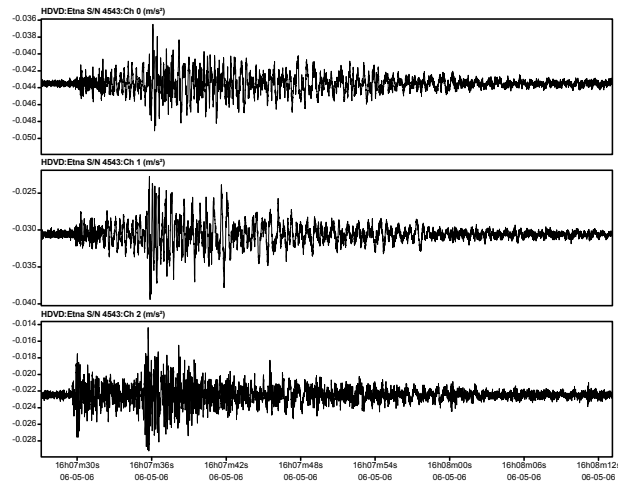
Como valides de esta relación o desigualdad encontrada en Japón, para enjambres en zonas volcánicas, nos permiten evaluar la sismicidad de 1963, que del máximo de 47 sismos durante el mayor día registrados, expresa que debió durar 552 días la liberación de energía, es decir 18 meses. Por ello, y en coincidencia con lo reportando para la época, debió percibirse entre junio de 1963 a diciembre de 1964, como de hecho fue.

4.A EVENTOS DE BOQUETE DETECTADOS EN DAVID (Hospital JDO)

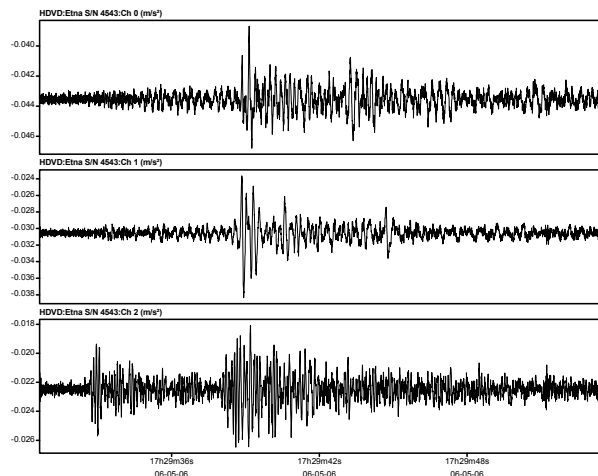
(1) 12h 43 m 08s PM, I evento de la secuencia iniciada en Mayo 4-- Md = 4,6



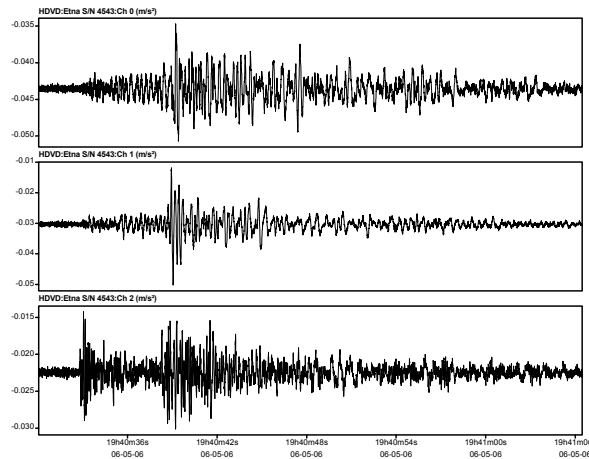
(2) 04h 07 m 33s PM --- 1 Evento Fuerte del enjambre, de Mayo 6 -- Md = 4,6



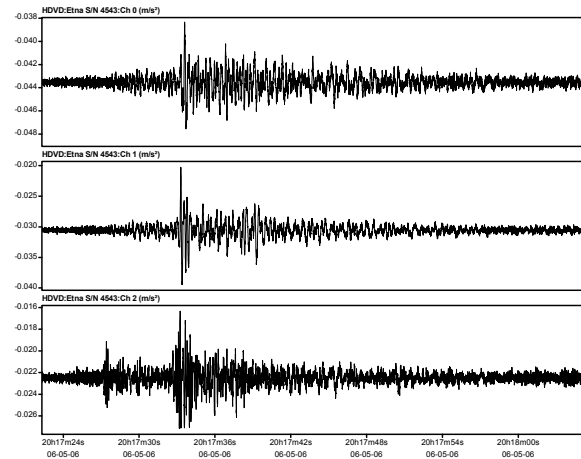
(3) 05h 29 m 36s PM --- 2 Evento Fuerte del enjambre, de Mayo 6 – Md = 4,4



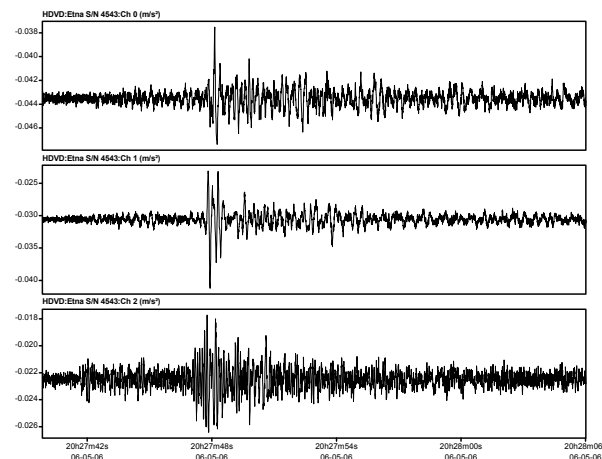
(4) 07h 40 m 36s PM --- 3 Evento Fuerte del enjambre, Mayo 6 – Md = 4,7



(5) 08h 17 m 30s PM --- 4 Evento Fuerte del enjambre, Mayo 6 -- Md = 4,4



(6) 08h 27 m 45s PM --- 5 Evento Fuerte de la secuencia, Mayo 6 -- Md= 4,1



El valor de aceleración máximo medido en David fue de 2.5 cm/s^2 en el Chiriquí Mall, en el área de Cotito. Esto equivale a $0,0025g$ a 42 km de distancia. Así, el mayor evento mas relevante de toda la secuencia de enjambre sísmico ocurrió a 07h 40m del sábado 6 de mayo. Esto llegó a registrarse en el instrumento de movimientos fuertes ubicado en Centro Regional UTP de Coclé, en Penonomé, con $0,3 \text{ cm/s}^2$.

4.B- EVENTOS CAPTADOS CON RED DE ACELERÓGRAFOS UTP EN BOQUETE.

Se destaca el hecho (Figs. 16 a 19) que el contenido de frecuencias no coincide con las muy bajas frecuencia esperadas por emisión o movimientos de actividad volcánica.

Fig. 16- Sismograma (velocidad) de aspecto Sismotectónico, b) Espectro del mismo, obtenido en San Ramón (JRE).

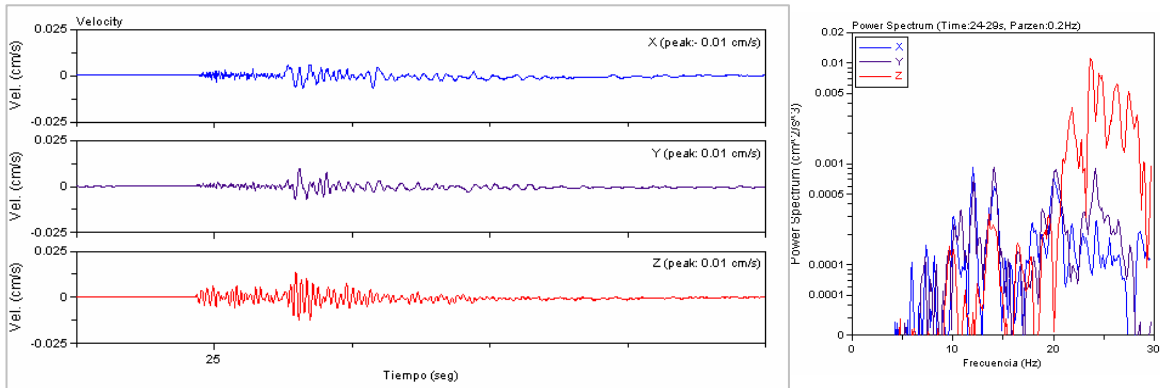


Figura 17a- Acelerogramas del 01h 19m 19s AM, Mayo 9, Bajo Mono. Md = 2.2

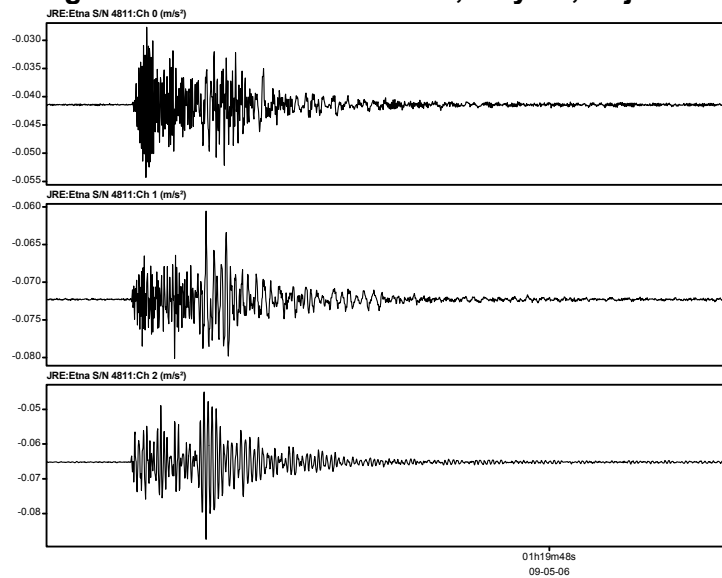
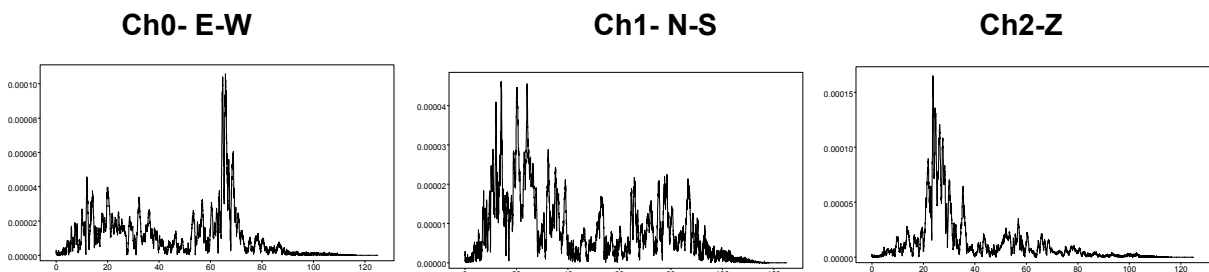


Figura 17b- Espectros de Fourier de los tres canales superiores.



Se aprecian altas frecuencias para el tren de ondas primaria (P), a diferencia de las ondas secundarias. Esto puede obedecer a respuesta de suelos (estratigrafías de capas de viejas cenizas volcánicas) y no a características de la fuente, pues en los otros sitios, los acelerogramas se aprecian con menor contenido de frecuencias altas.

Fig. 18 – Acelerogramas de Mayo 9, 03h 44m 24s AM, Bajo Mono. Md = 2.9
Ch0- E-W

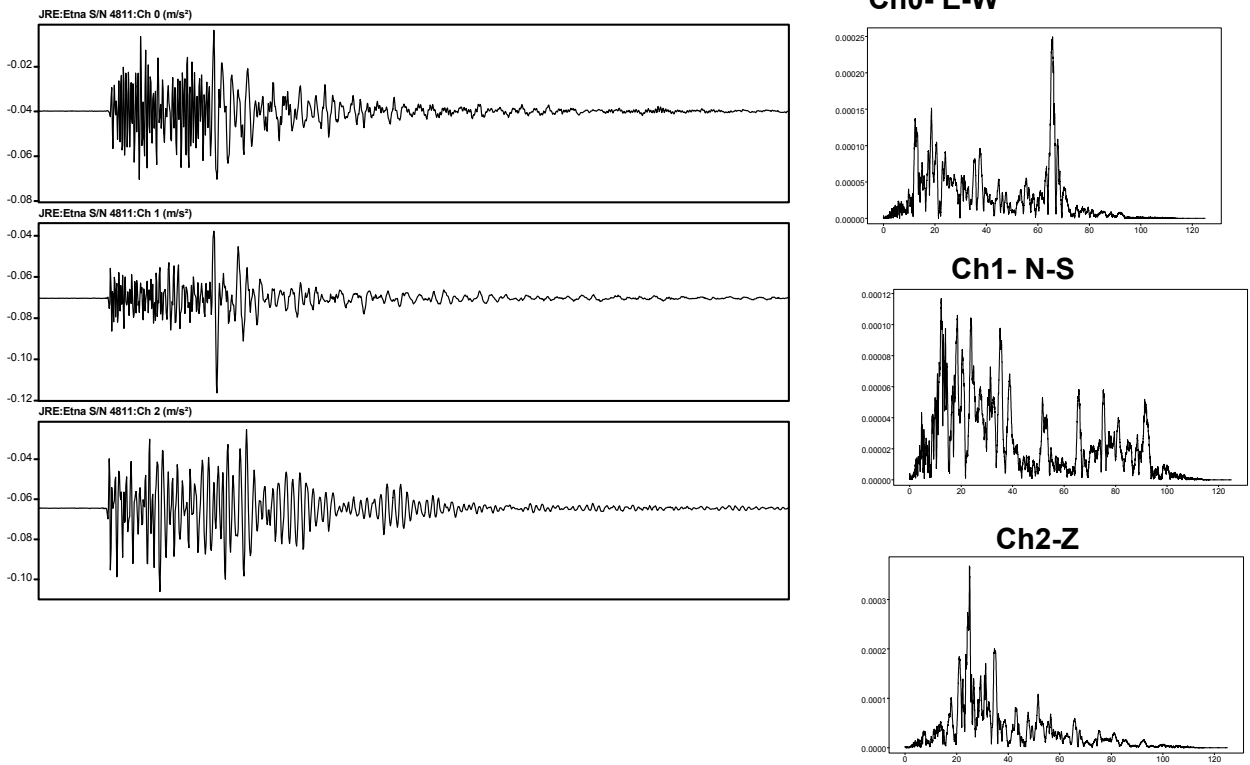
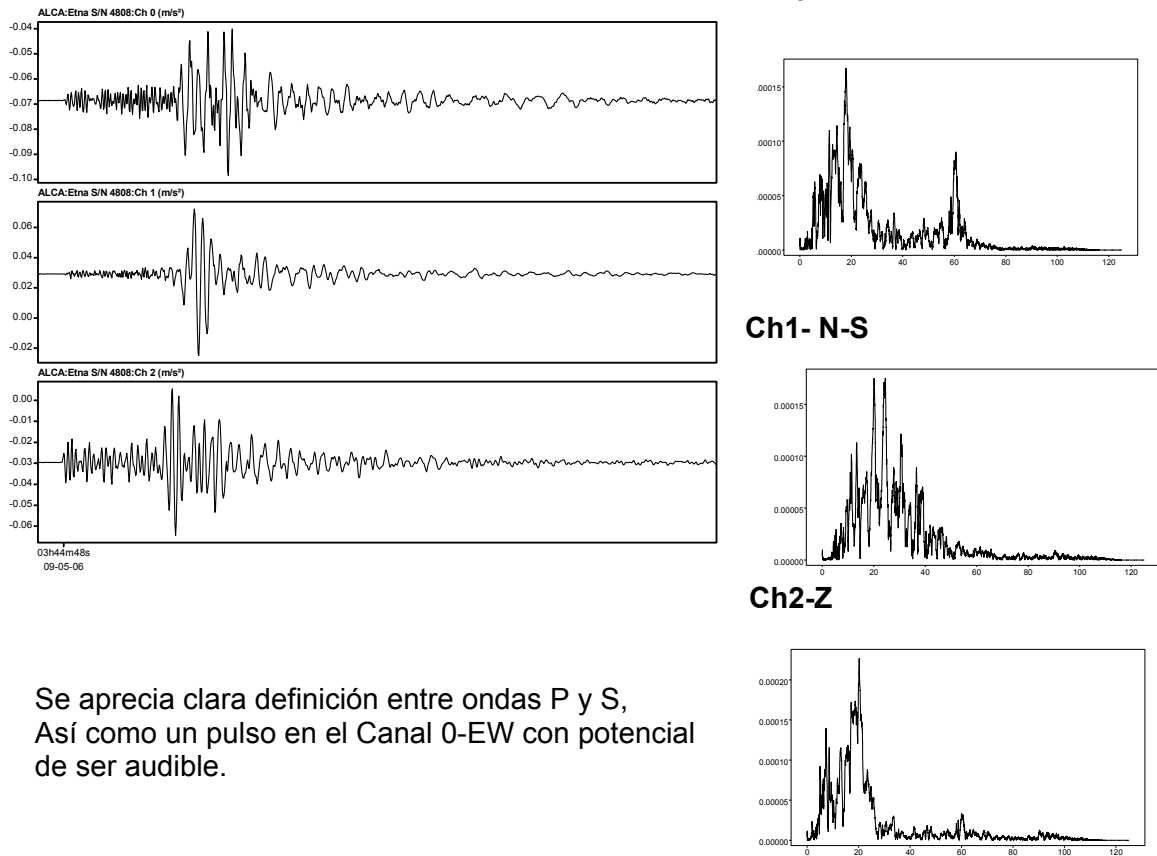


Fig. 19- acelerogramas de Mayo 9, 03h 44m 23s AM, Alcaldía, Md = 2.9
Ch0- E-W



Se aprecia clara definición entre ondas P y S,
 Así como un pulso en el Canal 0-EW con potencial
 de ser audible.

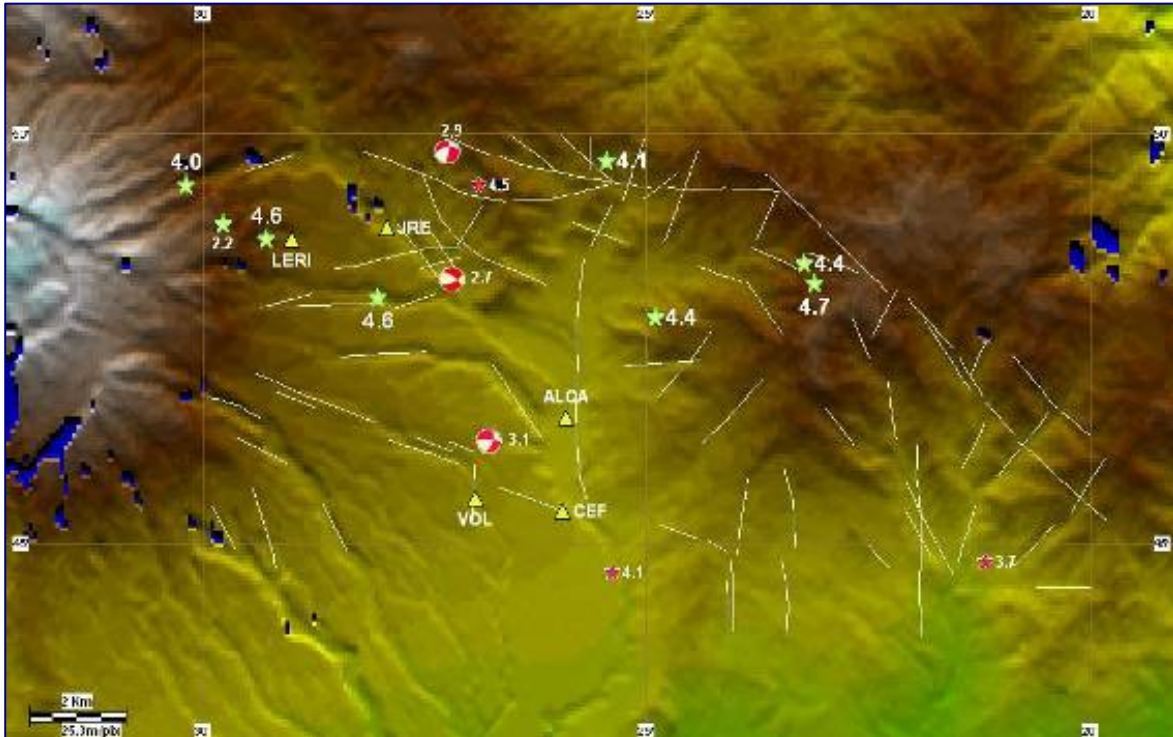
La secuencia en relación a la aceleración (Tabla 5) se corresponde a un equivalente de intensidad Mercalli Modificada (MM). Esto se expone para los tres ejes ortogonales que detectaron el movimiento sísmico.

TABLA 5- Listado de sismos por Estación de registro y valor de aceleración.

FECHA Hora	EST	X, E-W cm/s ²	Y, N-S cm/s ²	Z, Vert cm/s ²	Distancia (km)	INTENSIDAD Mercalli Modificada
Mayo 04 13h 43m 08s PM ---	JDO MCH	0.8 1.0	0.9 2.0	0.8 1.2	39	II MM sentido en David
Mayo 05 07h 17m AM	---	---	---	---	44	No activo acelerógrafos en David
Mayo 06 04h 07m 33s PM	JDO MCH	0.7 1.0	0.9 1.6	0.8 2.2	42	II MM sentido en David
05h 09m 36s PM	JDO MCH	0.5 0.9	0.8 1.3	0.4 0.6	42	I MM solo instrumental
07h 40m 36s PM	JDO MCH PEN	0.9 1.3 0.3	2.0 2.5 0.2	0.8 1.3 0.2	42	II MM sentido en David
08h 17m 30s PM	JDO MCH	0.5 1.0	1.0 1.4	0.6 0.5	42	I MM solo instrumental
08h 17m 30s PM	JDO MCH	0.6 0.9	1.1 1.4	0.5 0.6	44	I MM solo instrumental
Mayo 08 21h 13m 04s	ALCA	0.8	1.1	1.1	---	I MM
Mayo 09 01h 19m 19s	JRE	1.4	1.2	2.2	3	II MM
03h 44m 24s AM	JRE LERI ALCA CEF	3.6 0.8 3.0 0.8	4.6 0.8 5.4 1.8	4.1 0.5 2.5 1.4	4 6 2 4	III MM
11h 29m 35s	CEF ALCA	2.9 2.8	4.4 5.6	2.2 3.6	--- ---	III MM
13h 07m 32s	CEF ALCA	2.0 2.1	3.0 5.1	2.1 4.6	--- ---	III MM
13h 24m 16s	ALCA	1.3	1.7	1.7	---	I MM
17h 42m 14s	CEF VOL ALCA JRE	2.6 1.6 4.0 8.4	5.0 2.1 6.6 8.4	3.0 1.9 3.2 14.5	6 5 4 2	III MM
18h 43m 10s	JRE VOL ALCA CEF	2.9 1.3 3.7 2.9	3.6 1.7 8.5 3.7	2.7 1.5 5.1 2.6	5 1 2 2	III MM
22h 16m 03s	ALCA	1.1	1.9	1.0	---	I MM
Mayo 10 04h 33m 38s	CEF ALCA JRE	0.6 2.8 3.0	1.5 5.0 2.2	1.0 9.4 3.4	--- --- ---	III MM
09h 11m 12s	ALCA	1.7	1.1	1.9	---	I MM
10h 04m 23s	JRE	3.0	2.2	3.4	---	II MM

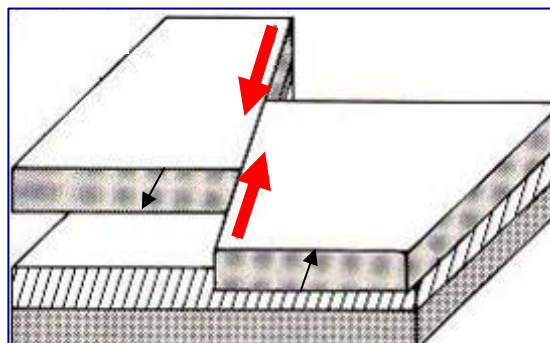
4.C- MECANISMOS FOCALES Y DINÁMICA DE FALLAS

Fig.20- Red acelerográfica, fallas, y sismicidad localizada e histórica de Boquete.



Se logró evaluar tres mecanismos focales mediante la red de acelerógrafos temporales que se desplazaron en Boquete (Vea Fig.20). Estos concuerdan con dos (2) de los pocos y únicos mecanismos determinados, con orientación E-O hacia el Alto Boquete y disponibles para la zona en 1995. La información muestra que las fallas geológicas activadas poseen movimientos horizontales principales, bastante superficiales, y con características de falla de rumbo, tipo lateral izquierda, y ligero componente normal. Hay respuesta a la dinámica de subida relativa entre bloques tectónicos rígidos de la cordillera.

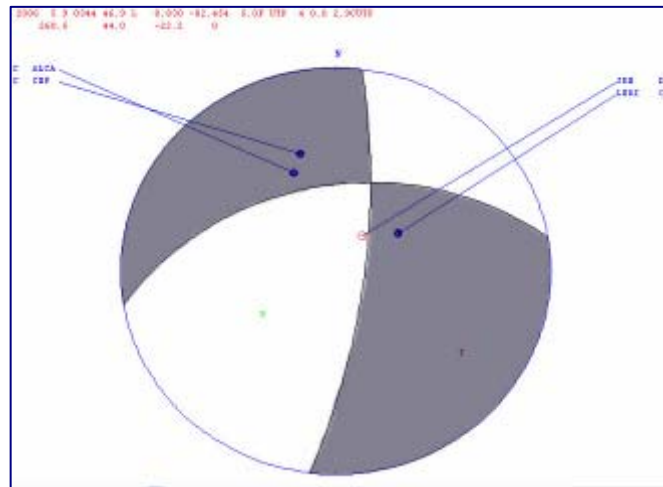
Figura 21- Fallas Locales tipo Desgarre Lateral Izquierdo y componente Normal.



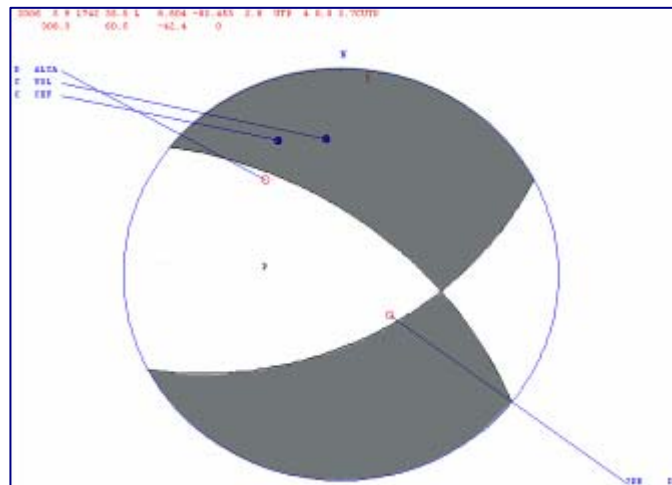
Los contenidos de frecuencia de los sismos detectados a campo muy cercano, es decir a menos de 3 km de distancia, poseen un contenido de frecuencia alto y diferente a lo esperado por sismos tipo volcánico. Los mecanismos focales determinados por esta Comisión de la UTP, indican un estilo coincidente con diversos trabajos previos. Además, la dinámica de fallas encontradas en sus movimientos internos deben rotar contra las manecillas del reloj.

Fig. 22- Mecanismos Focales determinados con la Red de 4 Acelerógrafos UTP.

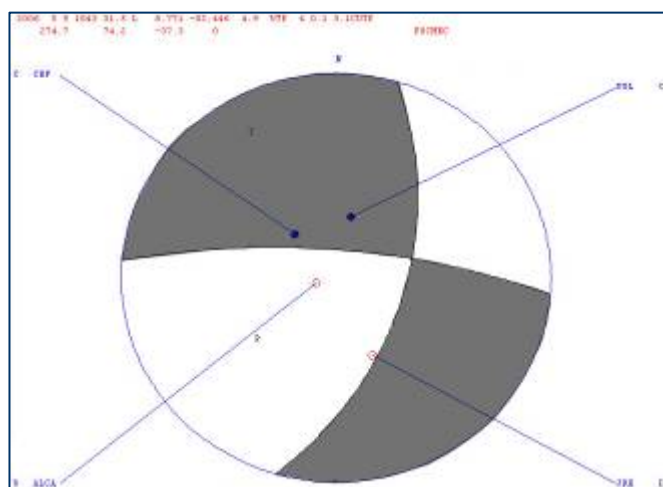
(1) 03h 44m, Mayo 9, M = 2.9



(2) 17h 42m, Mayo 9, M = 2.8

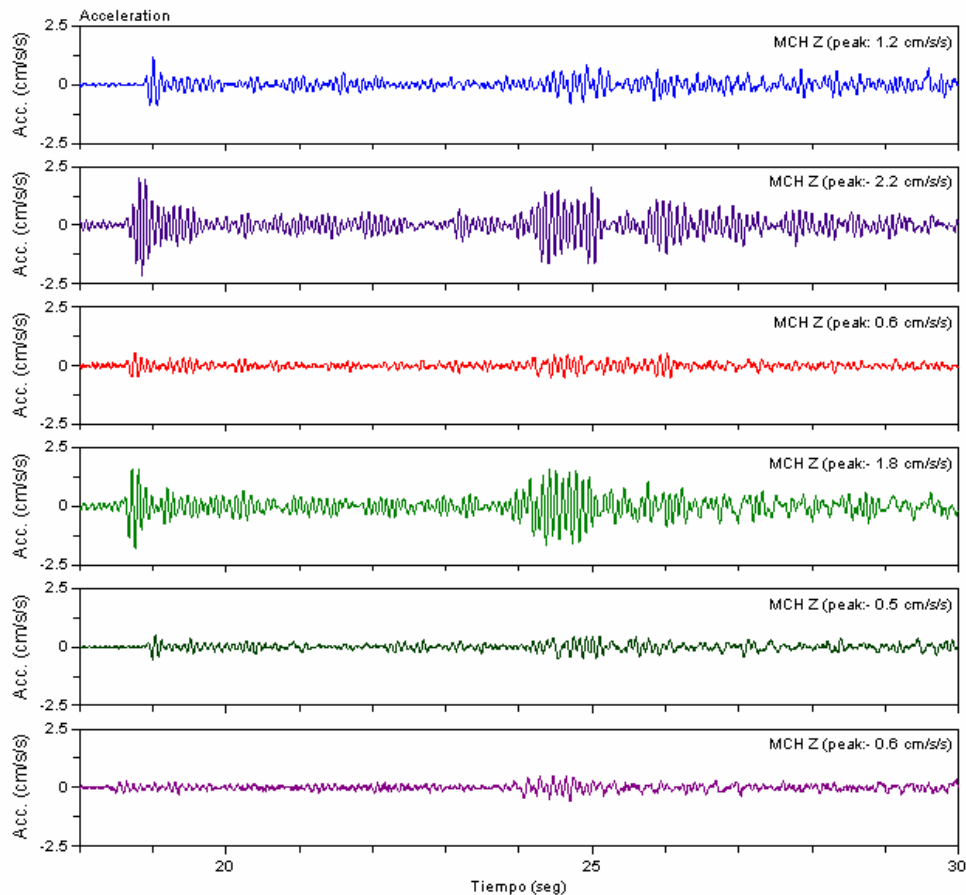


(3) 18h 43m, Mayo 9, M = 3.1



Todos los pulsos de llegadas de arribos y trenes de ondas P y S (Fig. 23), son muy similares como para atribuir una emisión de mecanismos focales o planos de fallas del mismo tipo. Sin embargo, una definición más precisa requiere de más tiempo de trabajo que el expresado en el presente informe. En la figura siguiente se muestran estos trenes de ondas, correspondientes del canal vertical en el Chiriquí Mall (MCH), en orden de arribo entre los seis sismos del 4 al 6 de Mayo. Allí hay una mezcla de efectos de la radiación de las fuentes, reflexiones y refracciones del camino recorrido a través de la corteza por 42 km, así como rasgos de efecto de sitio.

Fig. 23- Formas de Ondas significativas en David, indicando dinámica similar.



En la cabecera de Boquete (vea Fig.20) se encuentran dos fallas transversales al río Caldera, una a la altura de Horqueta en donde se aprecia el desfase del río Caldera en unos 500 m entre las dos curvas amplias del río, y mas al norte en Bajo Mono coincide con el cause de la quebrada El Velo, en el tramo final de su desembocadura de unas 800 m.

Al este del río Caldera se encuentra una falla longitudinal sobre su margen izquierda, desde Alto Lino pasando por el cerro La piedra hasta el cerro San Ramón, cortando de paso los drenajes menores al sur y las quebradas Horqueta y La Calcuta al norte. Su recorrido mas cercano al cause del río Caldera esta a 500 m de distancia en Horqueta.

Al norte, en la parte alta del río Caldera se encuentran otras fallas longitudinales y transversales a la altura del filo El Respingo, que posiblemente se prolongan al este. Por el oeste, la quebrada El Emporio discurre entre dos fallas longitudinales, prácticamente desde su comienzo hasta la altura de Volcancito, en donde la quebrada cambia de curso súbitamente hacia el Sur.

5- CONCLUSIONES

Lo sismos de mayo originados en la zona de Boquete no son de origen volcánico, pues todos tienen muy bien definidas las ondas P y S que se generan por dislocación de un plano de falla geológica. Por ello, se puede concluir que toda la continuada sismicidad sentida por la población tuvo un origen sismo-tectónico, tipo enjambre.

Puede recalcar en la comunidad que lo activado fueron fallas geológicas locales ya existentes desde hace miles de años en el sector, no así el edificio volcánico cercano. El cual posee precedentes de ser históricamente activo, con gran explosión hace unos 10,000 años, con la última erupción para el año 1,210 según estudios de C₁₄ previos.

Esta liberación de energía en forma de enjambre, 5 eventos de magnitud superior a 4 en un lapso de 4 horas, indica que el material de las estructuras geológicas por donde recorren mas de cuatro (4) fallas locales activas principales, responde a una distribución de esfuerzos externos muy concentrados, con tendencia longitudinal dominante SE-NW, interceptadas por otras con orientación NNE-SSW, N-S y SW-NE.

La magnitud conjunta del enjambre, es decir, la contribución en energía de todos los eventos sísmicos fuertes conlleva un equivalente a la magnitud 5 Richter, que contrario a liberarse de un solo desplazamiento lo hizo de forma interrumpida. Inducida una, paulatinamente recarga esfuerzo en las vecinas, y al estar fraccionada se detiene momentáneamente por obstáculos o barreras de otras fallas, que al ceder estas, originó una especie de cascada de asperezas durante el sábado 6 de mayo. Este enjambre podría durar no más de 5 semanas, es decir hasta la II semana de junio.

Opiniones de otras agencias locales en temas de sismología pueden diferir, debido a los modelos de corteza empleados, lecturas de fases sísmicas desde puntos diferentes, y demás desviaciones estadísticas de localizaciones hipocentrales. Las aceleraciones tampoco se logran predecir con las ecuaciones regionales disponibles.

6- RECOMENDACIONES

De forma inmediata, adquirir y acondicionar el emplazamiento de al menos un acelerógrafo a través de la Red Nacional de Movimientos Fuertes de la UTP, con facilidad de acceso vía Internet.

A mediano plazo solicitar el apoyo para instalar 6 acelerógrafos con GPS, y sistema de micrófonos infrasónicos, de forma permanente en el sector de Boquete con fines de vigilancia volcánica muy particular, y lograr resultados como los mostrados en estos pocos días, con dificultad en la disponibilidad de instrumentos científicos.

Realizar levantamientos topográficos de perfiles discretos en sectores que suban a la cima, y también circularmente alrededor de las faldas. Esto, al menos una vez cada seis (6) meses, o anualmente. Apoyados además en estudios geoquímicas periódicos.

Solicitar a ciertas entidades, el interés en la conducción de trabajos de graduación, y tesis de maestrías, como por ejemplo ingenieros del KTH de Suecia, para realizar estudios de microzonificación para toda el área de Boquete.

Crear un centro de acopio de información, de apoyo a la investigación, gestión de proyectos y a su vez con características de Observatorio Biológico, Vulcanológico y Sismológico de Boquete. Esto es importante porque cada volcán es diferente a otro, requiere dedicación exclusiva, para lograr conocer los hábitos pasivos y ronquidos del durmiente volcán Barú.

7- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Ileana M. Boschini L. 1998. **Análisis preliminar del Enjambre de Sismos de la región de Miravalles-Tenorio de Octubre y Noviembre de 1997**. Instituto Costarricense de Electricidad, Sector Energía, OSV.98.08.ICE, 36 pp.
- [2] H. Cowan; W. Montero; G. Salazar; G. Alvarado; A. Tapia & L. Sánchez, 1997. **Estudio de las Fallas Activas dentro de la región fronteriza Costa Rica-Panamá**. Cepredenac, 79 pp.
- [3] H. Cowan; L. Sánchez; E. Camacho; J.L. Palacios; A. Tapia; D. Irving; D. Esquivel & C. Lindholm, 1995. **Seismicity and Tectonics of Western Panama from New Portable Seismic Array Data (Final)**. NORSAR, IGC & IRHE, 18 pp.
- [4] Estudio de Impacto Ambiental (EIA), 1998. **Proyecto Integral de Riego El Salto**.
- [5] Ota Kulhánek, 1990. **Anatomy of Seismograms**. Developments in Solid Earth Geophysics 18, Elsevier, 187 pp.
- [6] John H. Latter (Editor) **Volcanic Hazards: Assessment and Monitoring**. Proceeding in Volcanology 1. 625 pp.
- [7] K. Mogi, 1963. **The Fracture of a Semi-infinite Body Caused by an Inner Stress Origin and Its Relation to the Earthquake Phenomena (Second Paper)**. Bulletin of the Earthquake Research Institute. Vol. 4, pp. 595-614.
- [8] Informes preliminares No. 5-06, No. 6-06 y No. 7-06 ubicados en la página web [http:// www.utp.ac.pa/secciones/vipe/](http://www.utp.ac.pa/secciones/vipe/)
- [9] Jaime Toral Boutet. 1996. **Generalidades Sísmicas y su Impacto en Centros Escolares de Panamá**. Documento del Seminario Taller OEA-MEDUCA, Hotel Soley.
- [10] Jaime Toral Boutet, 1998. **Informe del Estudio de Impacto Ambiental El Salto**.
- [11] Jaime Toral Boutet, 2003. **Enjambre Sísmico de 1963-64 en Tierras Altas de Chiriquí**. (Borrador en preparación).
- [12] Robert I. Tilling (Editor). **Volcanic Hazards**. Short Course in Geology: Volume 1. American Geophysical Union, Washington, D.C., 123 pp.
- [13] Mapa UTM de **Tectolineales** de Boquete, 1966. Republica de Panamá. USAID y Capatapan. Hoja en Escala 1:50,000.
- [14] T. Destro (Editor), 1992. **Evaluación de la Amenaza, Estimación de la Vulnerabilidad y el Factor Costo del Riesgo del Volcán Barú**. Panamá, FIC-UTP Cepredenac, 129 pp.