



SISMOTECTÓNICA DEL OCCIDENTE DE LA PROVINCIA DE CHIRIQUÍ A PARTIR DE DATOS DE UNA RED SISMOLOGICA LOCAL

Franklyn Vasquez Guardia¹, Eduardo Camacho Astigarrabía² y Angel Rodríguez³

¹Departamento de Física, Universidad Nacional Autónoma de Chiriquí, David, Chiriquí, ²Departamento de Física, Universidad de Panamá, Panamá, Panamá; ³Red Sismológica del Barú, Volcán, Chiriquí, Panamá

Franklin Vasquez Guardia¹ franklinsimon29@outlook.com, 

Eduardo Camacho Astigarrabía² eduardo.camachoa@up.ac.pa, 

Ángel Rodríguez³ angel@volcanbaru.com, 

RESUMEN

En este estudio se han relocalizado eventos registrados en la zona fronteriza de Panamá y Costa Rica, registrados por una nueva red sismológica local: ChiriNet, de mayo a noviembre de 2018. A partir de estos datos se levantó un catálogo de eventos ocurridos en la región occidental de la República de Panamá, adyacente al punto triple de contacto entre las placas de Nazca, Caribe y Coco. A partir de las polaridades de las ondas P, se calcularon los mecanismos de los sismos registrados por mayor número de estaciones. Posteriormente, se correlacionó la distribución espacial de los epicentros con fallas previamente cartografiadas dentro de los límites de la región.

Se confirma que esta es una zona de una gran actividad sísmica y algunos de los alineamientos de epicentros observados, sugieren la existencia de fallas no reconocidas anteriormente. Es importante mejorar el monitoreo sismológico en esta región de Panamá para contribuir a una mejor comprensión de su sismo tectónica

PALABRAS CLAVE: Sismos, tectónica, red sísmica, Chiriquí Occidente.

SEISMOTECTONICS OF THE WESTERN CHIRIQUI PROVINCE FROM A LOCAL SEISMIC NETWORK DATA

ABSTRACT

In this study, events registered in the border region between Panama and Costa Rica by a new local seismic network, ChiriNet, from May to November 2018, have been relocated. From this data a catalog of the events that occurred in the western region of the Republic of Panama, next to the triple point of contact between the plates of Nazca, Caribbean and Cocos was created. From the polarities of the P waves, the focal mechanisms for the earthquakes which were recorded by a large number of stations were developed. Subsequently the spatial distribution of the epicenters was correlated to previously charted faults inside the limits of the region. It is confirmed that this is a zone of great seismic activity and some alignments suggest the existence of previously unrecognized faults. It is important to improve seismological monitoring in this region of Panama to contribute to a better understanding of its seismotectonics.

KEYWORDS: Stress field, earthquakes, tectonics, local seismic network, Western Chiriquí.

INTRODUCCIÓN

El occidente de la provincia de Chiriquí, en el suroeste de Panamá, es una zona de una actividad sísmica importante donde han ocurrido terremotos destructivos en 1859, 1879, 1934, 2002, 2003 y 2017. En la zona montañosa de esta región también ocurren periódicamente enjambres de sismos moderados alrededor del volcán Barú: 1930, 1962, 1985 y 2006, que es el único volcán activo de Panamá (de Boer, et al., 1988; Sherrod et al., 2007; Camacho et al., 2008).

La escasez de estudios detallados, de las características sismo-tectónicas particulares de esta zona, a partir de los mecanismos focales de los sismos y su correlación con las fallas activas conocidas en esta región (Fig. 1) hacen que sea imperioso el realizar más estudios sismotectónicos empleando redes sismológicas locales más densas, con buena distribución de estaciones y periodos más largos de tiempo, que permitan capturar mejor los sismos de magnitudes bajas ($M_w \leq 3.0$) o la microsismicidad en esta zona de Panamá.

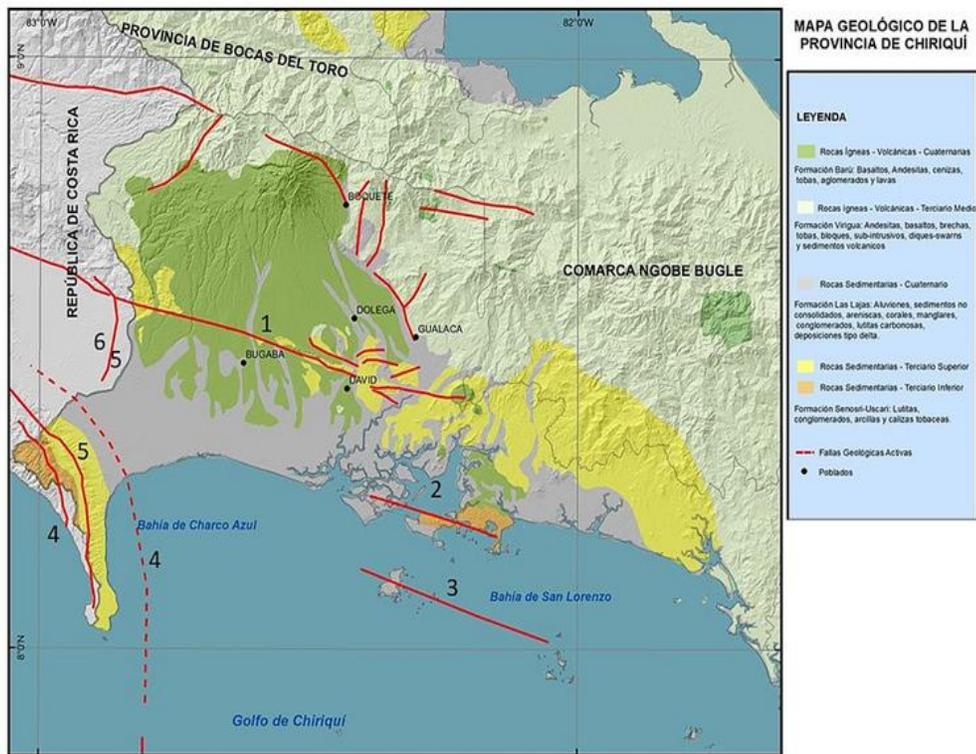


Fig.1. Principales fallas activas de Chiriquí, Suroeste de Panamá (adaptado de Cowan et al., 1998) en donde se muestran la Zona de Falla Longitudinal (1), Zona de Falla Boca Chica (2), Zona de Falla de las Paridas (3), Zona de Fractura de Panamá (4), Falla Media (5), Falla Canoas (6). (IGC. 2016).

Para estudiar mejor la sismotectónica del occidente de Chiriquí se analizaron los datos, de sismos registrados por una red sismológica local densa, con una buena distribución de estaciones y semipermanente, dentro del cuadrante comprendido entre la latitud 8° N hasta latitud 9° N y longitud 82° O hasta longitud 83° O., de mayo a diciembre de 2018 (Fig. 2).

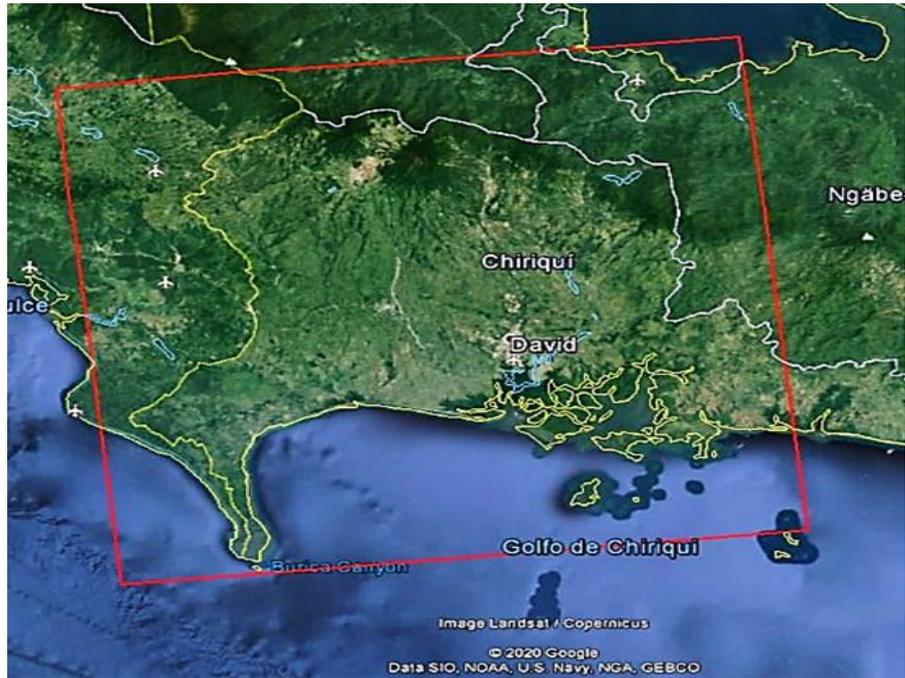


Fig. 2. Área de la provincia de Chiriquí y sureste de Costa Rica estudiada (Adaptada de GoogleEarth®,2019).

Para complementar el estudio de la actividad sísmica de la región estudiada se determinaron los mecanismos focales de los sismos registrados por un mínimo de 10 estaciones durante el periodo de tiempo antes mencionado. Esta información es vital para comprender mejor el tipo de fallamiento y el régimen sismo tectónico de esta zona.

CONTEXTO SISMOTECTÓNICO DE CHIRIQUÍ

El Occidente de Chiriquí está ubicado dentro de una microplaca tectónica conocida como microplaca de Panamá. Al sur de la bahía de Charco Azul se encuentra el punto triple de Panamá (PTP) en el cual convergen las placas del Coco, Nazca y la microplaca de Panamá. La zona de fractura de Panamá (ZFP), que es una fractura oceánica, subduce bajo el suroccidente de Chiriquí (Heil, 1988; de Boer et al., 1991; Moore and Sender, 1996; Morel et al., 2008) y también la dorsal del Coco subduce bajo el sureste de Costa Rica y el suroccidente de

Panamá (Corrigan et al., 1990; Arroyo y Linkimer, 2020). Müller y Landgrebe (2012), han concluido que en las regiones donde subducen zonas de fracturas oceánicas ocurren terremotos grandes.

Por otra parte, Bourke et al., (2021) proponen que, bajo la cordillera de Talamanca, que se extiende desde el volcán Turrialba en Costa Rica hasta el volcán Barú en Panamá, existe un fragmento litosférico que llega hasta una profundidad de 60 Km., que es una traza del desplazamiento del PTP desde Costa Rica hasta el sur de Panamá, en los últimos 10 Ma.

Al igual que en la mayor parte de América Central, en las tierras altas de Chiriquí, suelen ocurrir sismos muy superficiales y enjambres de sismos con magnitudes $M_w \leq 6.0$, que llegan a alcanzar intensidades de hasta VIII MM a pocos kilómetros del epicentro, mientras que los sismos que se originan mar afuera en la zona de subducción y con magnitudes menores a $M_w 7.0$, generalmente no producen intensidades mayores a VI MM, en tierra firme (White & Harlow, 1993).

Estudios anteriores de mecanismos focales de sismos en el occidente de Chiriquí (Cowan et al., 1996; Camacho et al., 2009), indican la existencia de fallamiento transcurrente con planos nodales muy pronunciados, con rumbo NE-SW y corrimiento lateral izquierdo o rumbo NW-SE y corrimiento lateral derecho, similares a los de las fallas de la cadena volcánica de Centroamérica (Camacho Astigarrabia, 2009). Sin embargo, estos estudios se basan en observaciones realizadas durante periodos muy cortos de tiempo y con un número limitado de estaciones locales, valiéndose en gran parte datos provenientes de redes sismológicas regionales. Por todo esto, este estudio pretende caracterizar mejor la sismotectónica de esta región, usando datos locales, para mejorar las evaluaciones de amenaza sísmica futuras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados en este estudio provienen de la red sismológica ChirirNet, la cual cuenta con estaciones en las provincias de Chiriquí y Bocas del Toro. Para analizar los registros sismológicos digitales se empleó el paquete de análisis sismológico SEISAN (Haskov y Ottemoeller, 1999) obteniéndose un catálogo sismológico, que va de mayo a noviembre de 2018.

La Red Sismológica ChiriNet

En Chiriquí se desplegaron redes sismológicas en 1981, 1996 y 2007, pero estas no operaron por más de seis meses y se concentraron principalmente en la zona noroccidental de Chiriquí (Camacho et al., 2008). La red sismológica ChiriNet se estableció en mayo de 2018 con un total de 23 estaciones, que cubren todo Chiriquí (Pérez y Rodríguez, 2018) y se ilustra en la Fig. 3.



Fig. 3. Ubicación de las estaciones (en amarillo) de la red ChiriNet hasta noviembre de 2018.

En el Cuadro 1, que aparece a continuación, se listan las estaciones de la red sismológica ChiriNet, el tipo de sismógrafo y sus coordenadas.

Cuadro 1. Estaciones sismológicas de la red ChiriNet desplegadas en el Occidente de Panamá, que funcionaban en 20018

| Numero | Código de la Estación | Tipo de Sismómetro | Latitud N (°) | Longitud O (°) |
|--------|-----------------------|--------------------|---------------|----------------|
| 1 | BRU2 | B. Ancha | 8.7940 | -82.6910 |
| 2 | BCO2 | P. Corto | 8.7177 | -82.5238 |
| 3 | R7ECC | P. Corto | 8.6370 | -82.7562 |
| 4 | RD2E2 | P. Corto | 8.7365 | -82.8175 |
| 5 | R5F5C | P. Corto | 8.8063 | -82.8517 |
| 6 | RF765 | P. Corto | 8.2742 | -82.8410 |
| 7 | R9D92 | P. Corto | 8.7890 | -82.6835 |
| 8 | R626B | P. Corto | 8.4032 | -82.4350 |
| 9 | R01D9 | P. Corto | 8.7715 | -82.6345 |
| 10 | R4ACA | P. Corto | 8.8063 | -82.6097 |
| 11 | RB0CA | P. Corto | 8.0927 | -82.8575 |
| 12 | R27F1 | P. Corto | 8.8063 | -82.6038 |
| 13 | R866C | P. Corto | 8.8763 | -82.6727 |
| 14 | R925E | P. Corto | 8.5057 | -82.3333 |
| 15 | R0E05 | P. Corto | 8.8535 | -82.5917 |
| 16 | R4FD1 | P. Corto | 8.7540 | -82.4542 |
| 17 | RA899 | P. Corto | 8.7418 | -82.4233 |
| 18 | R9DA3 | P. Corto | 8.7593 | -82.4085 |
| 19 | R15EA | P. Corto | 8.7593 | -82.4085 |
| 20 | R3F8A | P. Corto | 8.8763 | -82.1848 |
| 21 | R6AD3 | P. Corto | 7.9758 | -82.0240 |
| 22 | R61A8 | P. Corto | 8.8708 | -82.1412 |
| 23 | R0C83 | P. Corto | 8.2217 | -81.8922 |

B. Ancha. Banda ancha

P. Corto. Período corto

Como se observa en el cuadro 1, veintidós de las estaciones utilizadas en esta investigación tienen sismómetros de periodo corto, que fueron fabricados y calibrados en Volcán, Chiriquí y uno es de banda ancha ubicado en la estación BRU2. Todas las señales de esta red sísmológica local son transmitidas vía INTERNET y almacenadas en la nube. Las localizaciones se presentan en un mapa en la página web (<https://redsismicabaru.com/>) y toda esta información es de acceso libre.

En la Fig. 4, se muestran los 765 eventos registrados por la red sísmológica ChiriNet, en el Occidente de Panamá y el Sureste de Costa Rica hasta noviembre de 2018.

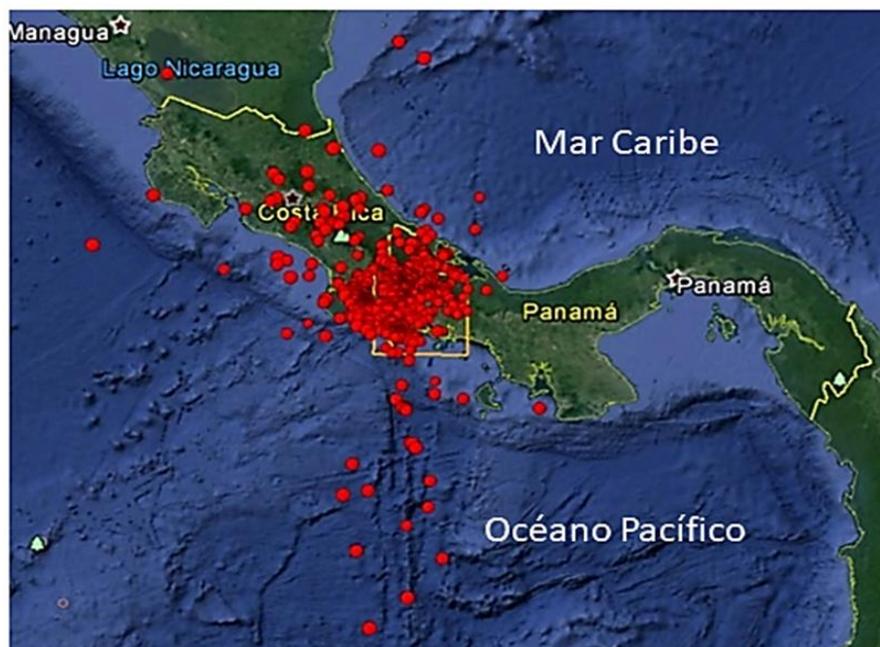


Fig. 4. Sismicidad registrada por la red sísmológica ChiriNet de mayo a diciembre de 2018, en la zona fronteriza de Panamá-Costa Rica y relocalizada en este estudio.

Procesamiento de las Señales Sísmicas

El procesamiento de las señales sísmicas se ejecutó mediante el uso del paquete de análisis sísmico SEISAN (Haskov y Ottemoller, 1999), que contiene un conjunto de módulos que permiten el análisis de múltiples

señales digitales de eventos sísmicos a distancias locales, regionales o telesísmicas, y permite determinar la magnitud, el momento sísmico, hipocentro, mecanismos focales entre otros parámetros de los sismos.

Una vez obtenidos los sismogramas para todos los eventos registrados por la red, se observaron los sismogramas de cada estación que captó un evento, como se muestra en la Fig. 5, y se determinó visualmente si el evento captado fue de origen sísmico o no, a partir de la apariencia de la señal y con llegadas claras de las ondas P y las ondas S.

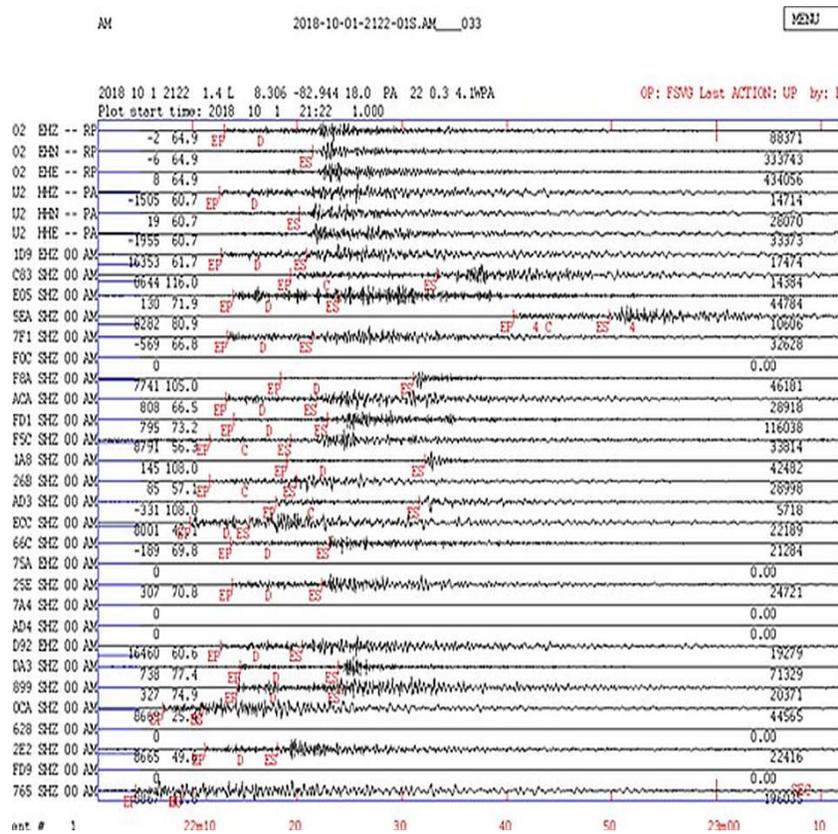


Fig. 5. Formas de onda de un sismo para todas las estaciones como se observan en SEISAN.

A continuación, se buscaron los tiempos de llegada de las ondas P y S y la polaridad de la primera llegada de la onda P en los sismogramas para cada estación y evento sísmico utilizando el modo de traza única, lo que permite un acercamiento a la forma de onda, como se observa en la Fig. 5.

Una vez realizada la selección de los tiempos de llegada y las polaridades se filtraron los datos para obtener un catálogo final de sismos apropiados para la investigación según los parámetros establecidos por el experimentador utilizando SEISAN; dicho filtrado tiene como objetivo establecer las condiciones necesarias para asegurar una base de datos de eventos sísmicos de relevancia para el propósito de la investigación y depurar los que no son útiles, en el caso para esta investigación dichos parámetros fueron los siguientes:

- Magnitud $M_w \geq 3.5$
- Epicentro entre las coordenadas del cuadrante seleccionado de latitud 8° N hasta latitud 9° N y desde longitud 82° O hasta longitud 83° O.
- Error de localización $RMS \leq 0.5$

Posteriormente, los mecanismos focales de los sismos se relacionaron con la ubicación geográfica de los epicentros de estos, mediante la confección de mapas sismológicos y tectónicos del área de estudio, con los cuales se puede extraer información sobre el comportamiento de las fallas. Por último, se superpusieron las fallas conocidas en el área y según los mapas generados se interpretaron los resultados.

RESULTADOS

Localización de los Eventos Sísmicos

El catálogo sísmico desarrollado en esta investigación utilizando los registros de la red sismológica ChiriNet consta de 765 eventos ocurridos en el Occidente de Panamá y Sureste de Costa Rica, durante el periodo comprendido de mayo a noviembre de 2018 (Fig. 4); de los cuales se descartaron 155 como eventos de origen no sismotectónico, dejando un total de 610 sismos localizados a lo largo del periodo de toma de datos.

De los 610 sismos localizados, posterior al filtrado en base a los criterios de la investigación, 342 sismos tienen su epicentro dentro del cuadrante comprendido entre latitud 8° N hasta latitud 9° N y desde longitud 82° O hasta 83° O., como se observa en la Fig. 6.

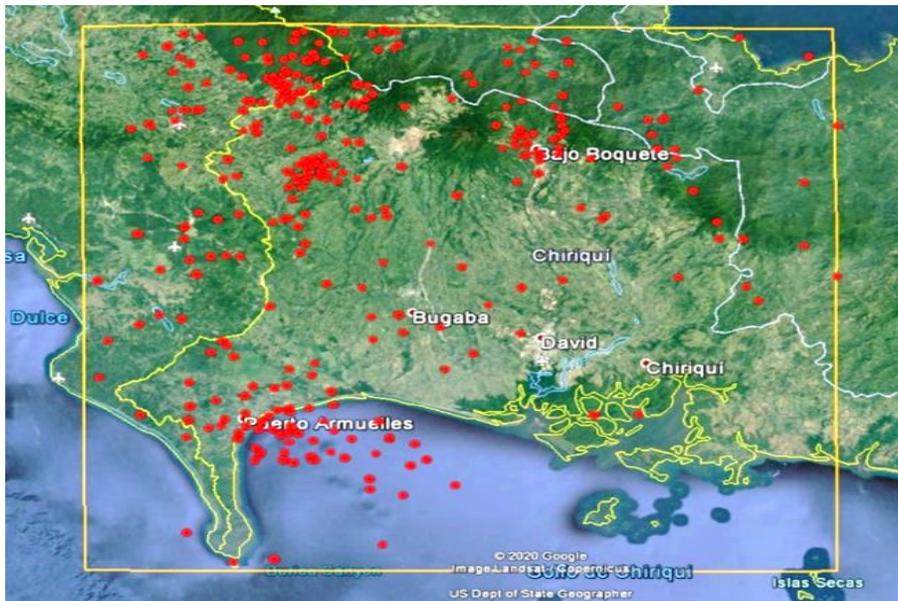


Fig. 6. Localización de los 342 eventos sísmicos captados por la red de ChiriNet durante los meses de mayo a noviembre de 2018 con dentro de la región de interés.

La distribución espacial de los 342 sismos dentro del área estudiada, en relación con las fallas activas conocidas y según su magnitud, aparece en la Fig. 7. Los círculos rojos tienen un tamaño proporcional a su magnitud (de menor a mayor desde una magnitud mínima de M_w 2,5 hasta una magnitud máxima mayor que M_w 5,0). Se observa que la mayor parte de los sismos se agrupan en dos zonas sismotectónicas de gran actividad, una al noroeste y otra al suroeste de la provincia de Chiriquí (Fig. 7).

La mayoría de los sismos en la región A (Fig. 7) están ubicados en las proximidades de la cordillera de Talamanca y el Volcán Barú y se pueden atribuir fallas activas no cartografiadas anteriormente. Al

norroeste del volcán Barú se observa un alineamiento SO-NO (Fig. 8) que sugiere ser la falla Cerro Punta, que originó un sismo el 2 de abril de 2017 (Mw5.8) y otro alineamiento con rumbo N-S al este de la población de Boquete, en las faldas del volcán Barú (Fig. 8), que sugiere ser la falla Caldera. En esta falla se originó un sismo el 12 de marzo de 2013 (Mw4.3).

Algunos de los sismos observados en las cercanías del volcán Barú podrían ser de origen volcánico. Sagel (2015) sugiere, a partir de una tomografía sísmica, que la cámara magmática del volcán Barú está situada al noroeste de este.

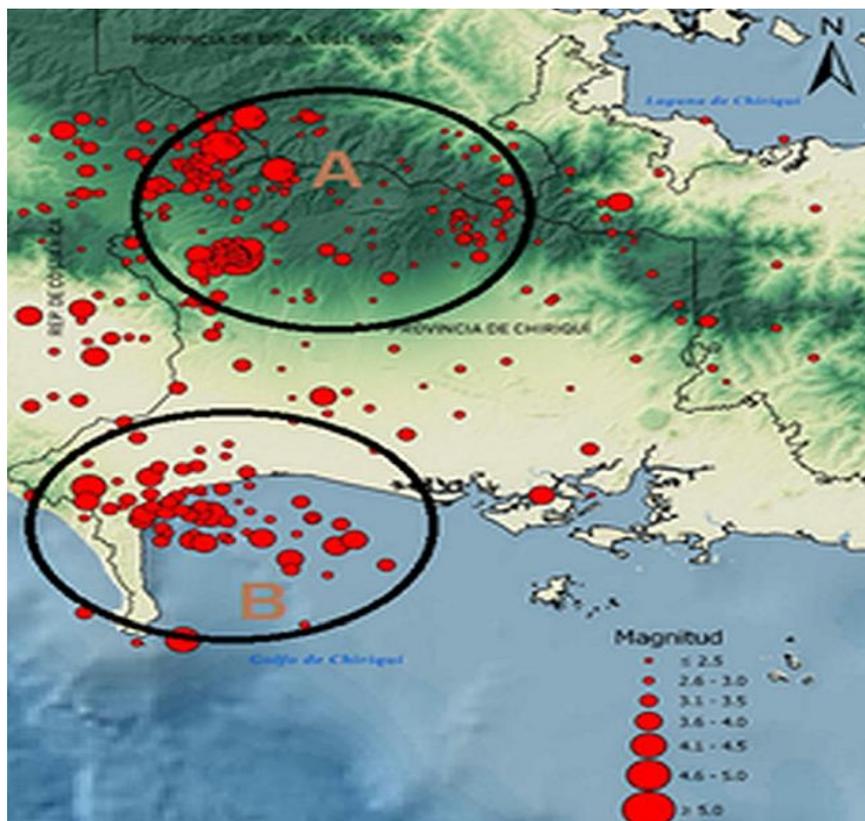


Fig. 7. Principales regiones o zonas de actividad sísmica en la provincia de Chiriquí.

Los sismos ubicados al suroeste de la provincia de Chiriquí (región B, en la Fig. 7), están relacionados con la actividad de la zona de fractura de Panamá (ZFP), que subduce bajo Chiriquí y fallas asociadas. Finalmente, en la región entre las zonas de mayor actividad sísmica al noroeste (A) y sureste (B) se observa una franja de menor concentración de sismos que se alinean en sentido ONO-ESE que corresponderían a la zona de falla longitudinal (ZFL), también conocida como falla Celmira o falla David (Figura 8), que es una falla inversa con buzamiento NE y una componente de desplazamiento de rumbo, probablemente lateral derecho, (Cowan et al., 1998).

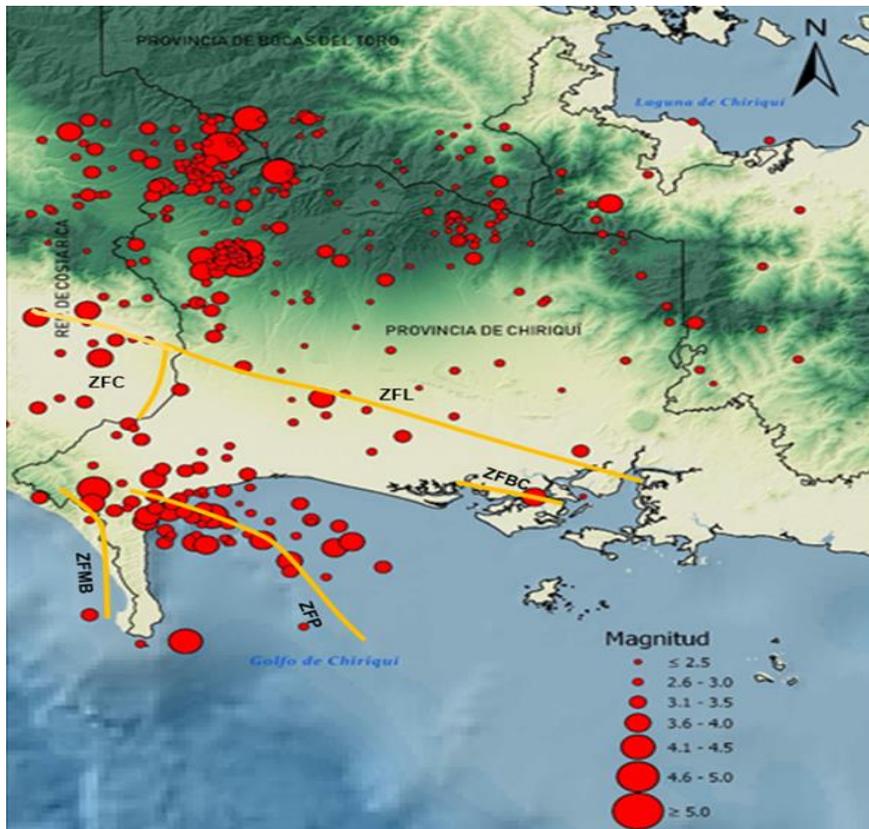


Fig. 8. Distribución de los sismos respecto a las principales fallas activas conocidas, en la región occidental de Chiriquí, Panamá.

Esta información corrobora los hallazgos de estudios previos, sin embargo, para conocer más sobre la actividad sismotectónica de esta área, es necesario obtener más información que solo la distribución y magnitud de los sismos que ocurren en esta región. Para obtener esta información es necesario interpretar los modelos de mecanismos focales que se puedan generar a partir de estos sismos y así conocer el comportamiento de las fallas activas o sismogeneradoras.

Mecanismos Focales

Se determinaron mecanismos focales de 21 sismos con magnitud de momento $M_w \geq 3.5$ y un RMS ≤ 0.5 y que aparecen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros de sismos más importantes y su mecanismo focal

| No | Fecha d/m/a | T.O. GMT | Lon. (O) | Lat. (N) | Prof. (Km) | Mw | rms | ϕ | β | λ |
|----|----------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-----|------|--------|---------|-----------|
| 1 | 02/06/18 | 14:52 | 83.08 | 8.54 | 18.5 | 3.9 | 0.41 | 11 | 58 | 118 |
| 2 | 03/06/18 | 17:42 | 83.02 | 8.62 | 18.4 | 3.8 | 0.26 | 121 | 78 | -41 |
| 3 | 03/06/18 | 18:09 | 82.95 | 8.64 | 19.6 | 3.9 | 0.50 | -59 | 90 | 42 |
| 4 | 07/06/18 | 20:35 | 82.64 | 8.47 | 10.1 | 3.7 | 0.45 | 138 | 66 | 38 |
| 5 | 21/06/18 | 00:49 | 82.72 | 8.21 | 47.7 | 3.9 | 0.44 | 132 | 76 | 110 |
| 6 | 29/07/18 | 15:36 | 82.80 | 8.74 | 26.3 | 3.9 | 0.50 | 18 | 38 | -179 |
| 7 | 08/08/18 | 17:05 | 82.86 | 8.32 | 42.4 | 3.8 | 0.26 | 108 | 68 | 81 |
| 8 | 09/08/18 | 13:21 | 82.74 | 8.33 | 46.3 | 3.5 | 0.29 | 160 | 52 | -29 |
| 9 | 15/08/18 | 17:18 | 82.36 | 8.29 | 16.5 | 3.8 | 0.41 | 28 | 28 | -133 |
| 10 | 18/08/18 | 18:17 | 82.74 | 8.99 | 18.2 | 4.2 | 0.50 | 95 | 67 | -41 |
| 11 | 18/08/18 | 18:18 | 82.77 | 8.94 | 17.5 | 4.6 | 0.50 | 60 | 37 | -101 |
| 12 | 21/08/18 | 13:53 | 82.89 | 8.28 | 44.1 | 3.5 | 0.33 | 52 | 60 | -107 |
| 13 | 08/09/18 | 09:27 | 82.81 | 8.25 | 40.3 | 3.5 | 0.32 | 100 | 58 | 38 |
| 14 | 11/09/18 | 08:49 | 82.25 | 8.84 | 13.2 | 3.6 | 0.16 | 151 | 48 | 158 |
| 15 | 20/09/18 | 04:13 | 82.68 | 8.17 | 45.3 | 3.9 | 0.37 | 58 | 63 | -92 |
| 16 | 01/10/18 | 21:22 | 82.94 | 8.31 | 18.0 | 4.1 | 0.33 | 2 | 78 | -162 |
| 17 | 03/10/18 | 09:43 | 82.95 | 8.28 | 18.4 | 3.8 | 0.34 | 58 | 54 | -81 |
| 18 | 14/10/18 | 02:13 | 82.91 | 8.58 | 36.4 | 3.5 | 0.50 | 143 | 37 | -41 |
| 19 | 22/10/18 | 01:28 | 82.75 | 8.73 | 27.0 | 5.1 | 0.30 | 5 | 82 | -161 |
| 20 | 22/10/18 | 08:09 | 82.75 | 8.74 | 27.2 | 3.8 | 0.27 | 121 | 78 | 72 |
| 21 | 23/10/18 | 18:40 | 82.74 | 8.74 | 25.3 | 3.6 | 0.29 | 18 | 61 | -174 |

ϕ es el rumbo de la falla en grados

β es el buzamiento o inclinación del plano de falla en grados

λ es el ángulo de cabeceo, deslizamiento o barrido en grados y nos indica el sentido de movimiento de la falla.

Los mecanismos focales estimados, que se listan en el Cuadro 2, se calcularon utilizando el método de primeras polaridades (Aki y Richards, 2005) y el paquete de análisis sísmológico SEISAN (Haskov y Ottemoller, 1999).

Distribución Espacial de los Mecanismos Focales

En la Fig. 9 se muestran los sismos a los que se les estimaron los mecanismos focales y su asociación con las fallas activas conocidas en el Occidente de Chiriquí. Estos se distribuyen mayormente al extremo occidental del área de estudio, lo que resulta lógico cuando se observa la distribución de los sismos en base a su magnitud (Fig. 8), ya que en estas zonas se observa la mayor actividad sísmica

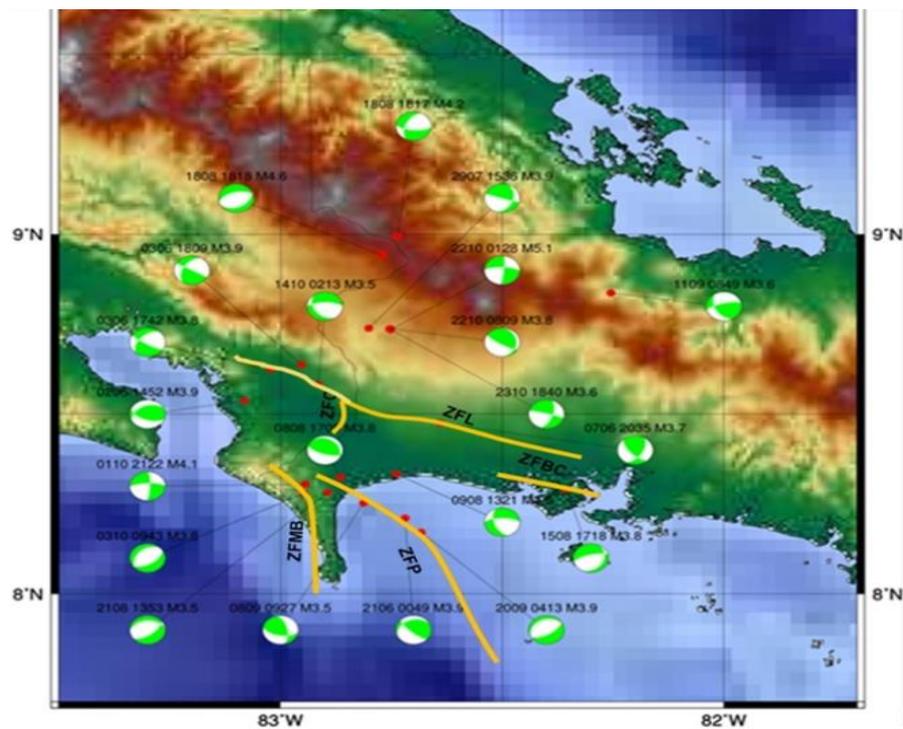


Fig. 9. Relación de los mecanismos focales de los sismos con las principales fallas activas de la región occidental de Chiriquí, Panamá. Como se observa en la Fig. 9 la mayoría de los mecanismos resultantes están relacionados con las principales fallas activas cartografiadas al suroeste de la Provincia de Chiriquí enumerando:

- Zona de Falla Longitudinal (ZFL, 4 sismos), falla inversa con componente lateral derecha
 - Sismo del 03/06/2018 a las 17:42
 - Sismo del 03/06/2018 a las 18:09
 - Sismo del 07/06/2018 a las 20:35
 - Sismo del 14/10/2018 a las 02:13

- Zona de Falla Media de Burica (ZFMB, 2 sismos), falla de corrimiento lateral dextral.
 - Sismo del 01/10/2018 a las 21:22
 - Sismo del 03/10/2018 a las 09:43

- Zona de Fractura de Panamá (ZFP, 5 sismos), zona de fractura subducida
 - Sismo del 21/06/2018 a las 00:49
 - Sismo del 08/08/2018 a las 17:05
 - Sismo del 21/08/2018 a las 13:53
 - Sismo del 08/09/2018 a las 09:27
 - Sismo del 20/09/2018 a las 04:13

- Zona de Falla Boca Chica (ZFBCH, 1 sismo), falla de tipo normal
 - Sismo del 15/08/2018 a las 17:18

Todos los sismos mencionados anteriormente tienen ubicación próxima a las zonas activas de fallamiento presentaron mecanismos focales que respaldaban el comportamiento conocido previamente de las zonas de fallas que los generaron, sin embargo, algunos otros sismos probablemente corresponden a origen volcánico debido a su ubicación muy próxima a las cámaras magmáticas del Volcán Barú como se observa en la Fig. 8. por lo que un estudio más exhaustivo es necesario, dichos sismos son los siguientes:

- Sismo del 22/10/2018 a las 01:28

- Sismo del 22/10/2018 a las 08:09
- Sismo del 23/10/2018 a las 18:40
- Sismo del 29/07/2018 a las 15:36
- Sismo del 18/08/2018 a las 18:17
- Sismo del 18/08/2018 a las 18:18

○

Esto nos deja con tres eventos sísmicos que no podemos relacionar con ninguna falla u origen conocido:

- Sismo del 02/06/2018 a las 14:52
- Sismo del 09/08/2018 a las 13:21
- Sismo del 11/09/2018 a las 08:49

De estos tres sismos, para los eventos ocurridos el 02/06/2018 y el 09/08/2018 al observar la Fig. 10, no se observan patrones evidentes en la distribución de los eventos en su proximidad, por lo que, si bien es posible que se deban a fallas no cartografiadas con anterioridad, hacen falta más datos para afirmar o negar tal suposición, en otras palabras, se requiere de una ventana de tiempo más amplia para poder observar mayor actividad sísmica en estas regiones en particular y determinar correlaciones.

Finalmente, para el sismo restante, el sismo del 11/09/2018 a las 08:49, al observar la Fig. 10, se observa un patrón en forma de S de varios sismos de magnitud M_w similar y distribución muy próxima en dirección Norte-Sur (un enjambre) por lo que esto podría ser indicativo de una falla no cartografiada previamente. apoyándonos en el mecanismo focal generado por este sismo, esta sería una falla de tipo transcurrente, desgarre o de rumbo en la región noreste del Volcán Barú, que se extiende hasta la provincia de Bocas del Toro.

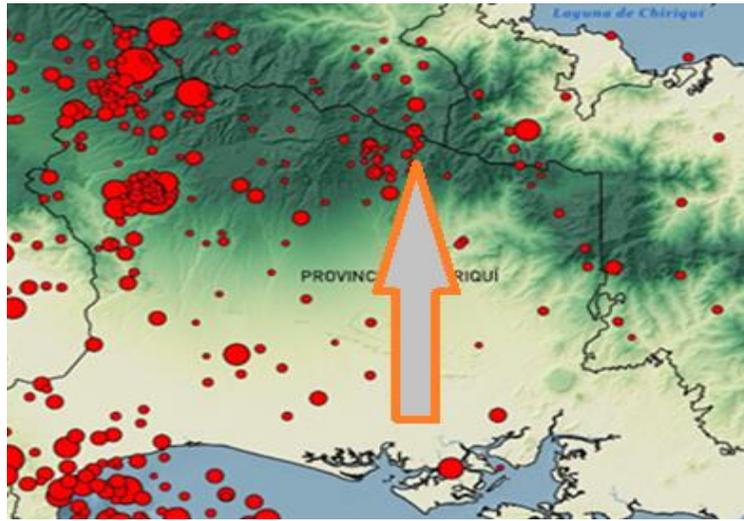


Fig. 10. Alineamiento que indica una posible falla tipo transcurrente o de desgarre en la región noreste del Volcán Barú, en el occidente de la provincia de Chiriquí, que parece extenderse hasta la provincia de Bocas del Toro.

CONCLUSIONES

Al analizar la sismicidad registrada por la red sismológica ChiriNet en el Occidente de la provincia de Chiriquí, se observan dos zonas principales, donde se concentra la mayoría de los sismos registrados (Fig. 7): una al noroeste, (Zona A) en las tierras altas de Chiriquí y la región circundante al Volcán Barú; y la otra al suroeste (Zona B) en el área donde subduce la Zona de Fractura de Panamá y sus fallas asociadas. La concentración de sismos en la zona A muestra que la sismicidad en las tierras altas de Chiriquí es mayor que lo reportado anteriormente. Algunos de los sismos observados en esta zona, podrían ser de origen volcánico y otros al noroeste y al noreste del volcán Barú parecen estar asociados a posibles fallas no cartografiadas anteriormente (Fig. 9). Así mismo, en la agrupación de sismos en la zona suroeste de Chiriquí (Zona B), se observan sismos superficiales causados por fallas locales y sismos con profundidades mayores a 20 Km asociados a la subducción de la Zona de Fractura de Panamá y la cresta del Coco. Entre estas dos zonas principales: noroeste (zona A) y suroeste (zona B), también se observa un alineamiento con rumbo ONO-ESE (Fig. 9), que podría asociarse con la falla David o falla Longitudinal.

Vemos cómo el establecimiento de una nueva red local permanente en el Occidente de Chiriquí ha permitido localizar con mayor precisión los sismos que ocurren en esta zona, captando los temblores de magnitudes bajas ($M_w \leq 3.0$), y ha demostrado que la sismicidad en las Tierras Altas, en la zona noroeste de Chiriquí es más alta de lo que se conocía anteriormente. La presencia de otras posibles fallas no cartografiadas anteriormente es sugerida por la sismicidad registrada, por lo que se requieren más datos y estudios para confirmar su existencia. Además, este análisis ha permitido estimar con mayor confianza y menor incertidumbre los mecanismos focales de sismos de esta zona de Panamá. Lo que permite caracterizar mejor el tipo de fallamiento presente en esta región y comprender mejor su sismotectónica.

REFERENCIAS

Aki, K. y Richards, K. P., (2005). *Quantitative seismology, theory and methods*. Second Edition, W. H. Freeman, San Francisco, Estados Unidos de America:.

Arroyo, I., y L. Linkimer (2021). Geometría de la zona sismogénica interplaca en el sureste de Costa Rica a la luz de la secuencia sísmica de golfito del 2018. *Geofísica Internacional* 60, 51-75

Bourke, J., V. Levin, L. Linkimer, y I. Arroyo (2020). A Recent Tear in Subducting Plate Explains Seismicity and Upper Mantle Structure of Southern Costa Rica. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems, Volumen 21*, <https://doi.org/10.1029/2020GC009300>

Camacho Astigarrabia, E., (2009). Sismicidad de las Tierras Altas de Chiriquí. *Tecnociencia*, 11. 119-130.

Camacho, E., Novelo-Casanova, D. A., Tapia, A. & Rodriguez, A., (2008). Seismicity at Baru Volcano, Western Panama, Panama. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2008, abstract id. V51C-2051*.

Corrigan, J.D. P. Mann, J.C. Ingle (1990). Forearc response to subduction of the Cocos Ridge, Panama-Costa Rica. *Geol Soc. Am. Bull.* 102(5):628-652.[doi:10.1130/0016-7606\(1990\)102<0628:FRTSOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1990)102<0628:FRTSOT>2.3.CO;2)

Cowan, H.A. L. Sánchez, E. Camacho, J. Palacios, A. Tapia, D. Irving, D. Esquivel & C. Lindholm. (1996). Seismicity and tectonics of Western

Panama from new portable seismic array data, *Final Report to the Research Council of Norway, NTN-NORSAR*, Kjeller, Norway. 23 págs.

Cowan, H., Machette Corrigan, v., Halle, K. & Dart, R., (1998). Map of Quaternary Faults and Folds of Panama and its Offshore Regions. *U.S. Geological Survey Open-File Report*, pp. 98-779.

de Boer, J., Defant, M., Stewart, R. & al, e., 1988. Quaternary calc-alkaline volcanism in western Panama; regional variation and implication for the plate tectonic framework. *J. South Am. Earth Sci. 1*, 275-293.

Havskov, J., y L. Ottemoller (1999). SEISAN, an earthquake analysis software. *Seismo. Res. Lett. 70*, 532-534. <https://doi.org/10.1785/gssrl.70.5.532>

Heil, D., 1988. Response of an accretionary prism to transform ridge collision, south of Panama. Tesis de Maestría. University of California at Santa Cruz., Santa Cruz(California), 176 págs.

Moore G.F. and K.L. Sender (1996). Fracture zone collision along the South Panama margin. *Geol. Soc. Am., Special Paper 295*, 201-212.

Morel, K. D., D. M. Fisher T y T. W. Gardner (2008). Inner forearc response to subduction of the Panama Fracture Zone, southern Central America. *Earth Plan. Sci. Lett. 265*, 82-95.

Muller, R. B. y T. C. W. Landgrebe (2012). The link between great earthquakes and subduction of oceanic fracture zones. *Solid Earth, 3*, 447-465, 2012, <https://doi.org/10.5194/se-3-447-2012>.

Pérez, G. y A. Rodríguez (2018). Citizen Scientists Using a Low-cost Raspberry Shake Network Outperform Seiscomp3 Program. Poster presentado en el *IRIS Seismic Instrumentation Technology Symposium*, Tucson Marriott University Park, October 30-31, Tucson, AZ, USA.

Sagel, D (2015). Tomografía sísmica de Panamá: Provincia de Chiriquí: Volcán Barú, Trabajo de fin de Master, Universidad de Granada, España, 49 págs.

Sherrod, D., J. W. Vallance, A. Tapia Espinoza y J. P. McGeehin (2008). Volcán Barú: *Eruptive History and Volcano-Hazards Assessment*, U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1401, Version 1. in Central America since 1900. *Bull. Seismol Soc. Am.* 83, 1115–1142.

Recibido el 12 diciembre 2020, y aceptado el 03 mayo 2021.
Editor Responsable: Dr. Alonso Santos Murgas