

ANEXOS

CAPÍTULO N° 6

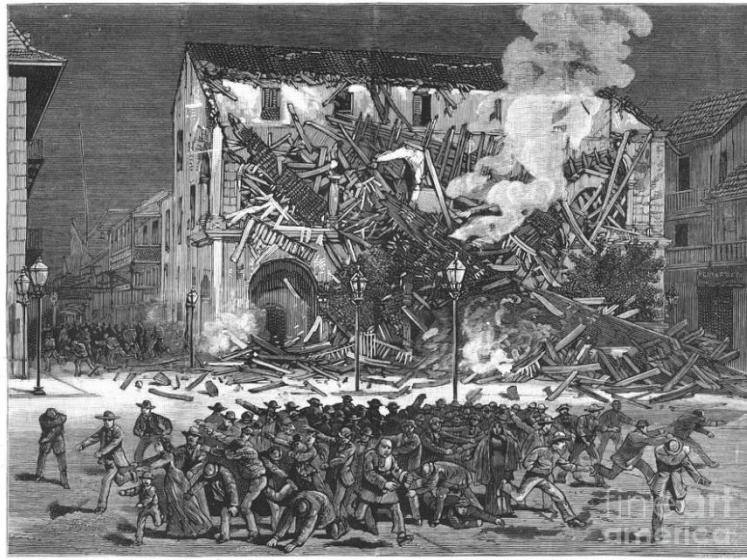
ANEXOS DEL CAPÍTULO N°6

- ANEXO 6-1** Datos Sísmicos para los Años 2018 a 2021
- ANEXO 6-2** Resultados de Laboratorio
- ANEXO 6-2.1** Informe de Resultados de Monitoreo de Calidad de Suelo
 - ANEXO 6-2.2** Informe de Resultados de Monitoreo de Calidad de Sedimento Marino
 - ANEXO 6-2.3** Informe de Resultados de Monitoreo de Calidad de Agua Superficial
 - ANEXO 6-2.4** Informe de Resultados de Monitoreo de Calidad de Agua de Mar
 - ANEXO 6-2.5** Informe de Resultados de Monitoreo de Calidad de Agua Subterránea
 - ANEXO 6-2.6** Informe de Muestreo de Calidad de Aire Ambiental
 - ANEXO 6-2.7** Informe de Monitoreo de Ruido Ambiental
 - ANEXO 6-2.8** Informe de Vibraciones Ambientales
- ANEXO 6-3** Datos Estaciones Meteorológicas y Mareográficas de la Autoridad del Canal de Panamá
- ANEXO 6-3.1** Datos Históricos de las Estaciones Meteorológicas Balboa Heights, Balboa FAA (FAA) Corozal Oeste (CZL) para los siguientes parámetros: Precipitación, Evaporación, Temperatura, Humedad Relativa, Velocidad y Dirección del Viento, Radiación Solar, 2009 – 2020
 - ANEXO 6-3.2** Datos de las alturas de las mareas de las Estaciones Mareográficas de Amador y Diablo para el periodo 2009 - 2020
- ANEXO 6-4** Información Climatológica proporcionada por la Dirección de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA)
- ANEXO 6-4.1** Informe Climatológico y Estadístico de las Provincias de Panamá Oeste y Panamá, para el período de 2010 a 2020
 - ANEXO 6-4.2** Registro de Vientos Máximos en el área de la Ciudad de Panamá 2012 - 2020

ANEXO 6-1

DATOS SISMICOS PARA LOS AÑOS 2018 A 2021

DATOS SISMICOS PARA LOS AÑOS 2018 A 2021



COLONIA.—THE CABILDO, OR HOUSE OF ASSEMBLY BUILDING, AT PANAMA, AS IT APPEARED AFTER THE EARTHQUAKE OF SEPTEMBER 7TH.—SEE PAGE 219.

The Star and Herald, 1882

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
2021

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	2
Lista de figuras	3
1 Introducción	4
2 Tectónica Regional	4
3 Marco Tectónico de Panamá	6
4 Fallas menores dentro de la Microplaca	7
5 Fallas Geológicas	9
6 Sismicidades Histórica	10
7 El catálogo sísmico del Instituto de Geociencias	13
8 Actividad sísmica cercana a la región del túnel	13
9 Catálogo de sismos con magnitud mayor a 3.5 Mw, ocurrido en un radio de 150 Km	15
10 Catálogo Sísmico con profundidades intermedia [> 30 Km].	18
11 Descripción de los principales rasgos Geológicos y Geomorfológicos	24
12 Características de los suelos	26
13 Bibliografía	29

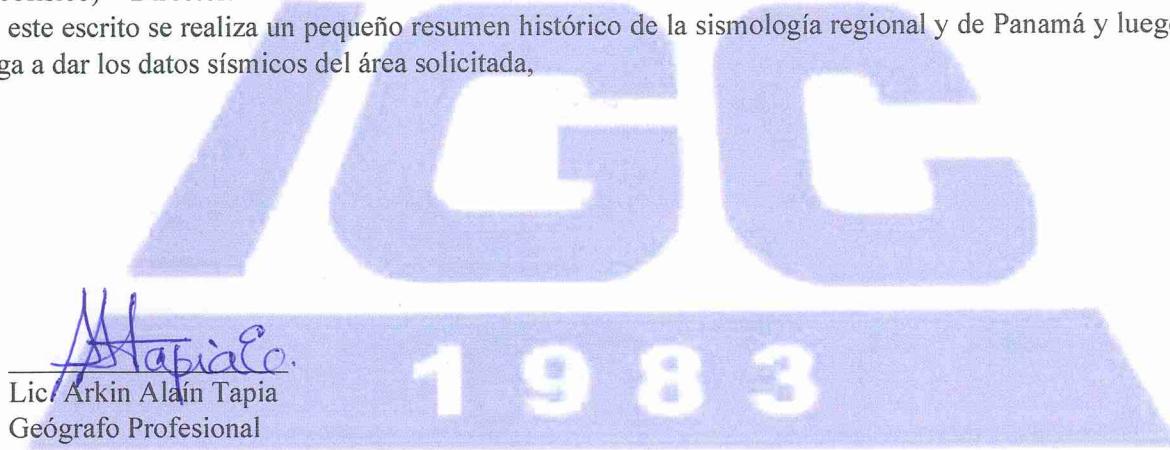
1983

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

Resumen

El presente estudio de los **DATOS SÍSMICOS CORRESPONDIENTES A LOS AÑOS 2018, 2019, 2020 Y 2021**, para las provincias de Panamá y Panamá Oeste ha sido solicitado por la empresa CSAGROUP, la cual ha sido elaborada por el Lic. Arkin Alaín Tapia – Geógrafo Profesional (a solicitud de la parte interesada) y luego revisada por MSc. Néstor Luque (Sismólogo) – Subdirector del IGC y Ariadna Flores (Ing. Geóloga) – Encargada De La Red Sísmica con la dirección de MSc, Ricardo Bolaños (Geofísico) – Director.

En este escrito se realiza un pequeño resumen histórico de la sismología regional y de Panamá y luego se llega a dar los datos sísmicos del área solicitada,



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

Lista de figuras

	Página
Figura 1: Marco tectónico de la Región Centroamericana y Suramérica. Principales límites de Placas que han generado grandes terremotos (Álvarez et al 2019).	5
Figura 2: Proyecto de Modelo Neotectónico IGC 1998.	8
Figura 3: Mapa de las principales fallas Cuaternarias en Panamá Central. (Ciencia y Educación 2010)	9
Figura 4: El muelle de Colon en la mañana del 7 de septiembre de 1882 y Colapso de la iglesia ubicada en la comunidad de Cruces. (The Star and Herald, 1882)	10
Figura 5: En Panamá el Cabildo, la iglesia de Santa Ana y la Catedral sufrieron caída de muros y fachadas. Las casas de madera y los ranchos de paja resistieron el movimiento del terreno. The Star and Herald, 1882	11
Figura 6: Principales Sismos ocurridos en Panamá con magnitudes mayores a 6.5 Mw, (Fuente) Instituto de Geociencias 2021.	12
Figura 7. Sismicidad en un radio de 20 Km. Los puntos verdes son los eventos sísmicos registrados en la Red Sísmica Nacional. (Instituto de Geociencias, 2021).	14
Figura 8: Sismos generados en la corteza continental, en un radio de 150 Km. (Instituto de Geociencias, 2021).	16
Figura 9: Distribución de los sismos según las magnitudes para sismos de profundidad intermedia (30 a 120 Km.)	18
Figura 10: Distribución espacial de los sismos intermedios. Los puntos amarillos sismos entre 20 y 50 Km, los puntos rojos, son los sismos con profundidades entre 50 y 120 Km.	19
Figura 11.: Distribución de la actividad sísmica por año. Para el periodo comprendido entre 2018 a mayo 2021.	23
Figura 12: Segmento del mapa Geológico del Canal de Panamá, Stewart, Stewart, Woodring. (1980).	25
Figura 13: Columna estratigráfica de las secuencias Volcánicas y sedimentarias en el Canal de Panamá. (Farris D, A. et al 2017).	26
Figura 14: Mapa de la aceleración máxima del suelo para 0.2 seg. y 1.0 seg. En periodos de retorno de 500 y 2500 años respectivamente (IGC 2015).	27
Figura 15: Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Panamá realizada por el Instituto de Geociencias 2015.	28

1. Introducción

Panamá en comparación con otras regiones de la Tierra, su sismicidad es relativamente baja. Sin embargo, la distribución de la población cercana a las principales zonas sismogénicas, los grandes proyectos en desarrollo y ya terminados, con una elevada inversión en los mismos, se hace imperante tener un conocimiento de la sismicidad histórica, entre otros, por lo que es recomendable que toda la información disponible sea utilizada, para determinar el riesgo sísmico y de esta manera mejorar la zonificación y microzonificación sísmica del área en estudio para la ejecución de obras civiles.

En este trabajo se incluye los principales componentes de los aspectos tectónicos, Neotectónico, sísmicos, algunos aspectos geoquímicos y geofísicos, que son el producto de las investigaciones realizadas, ya sea por investigadores nacionales o internacionales, así como aportes de los trabajos interinstitucionales o multidisciplinarios.

Se incluye los catálogos de los eventos sísmicos históricos importantes, de los sismos ocurrido en un radio de 150 Km y el de los sismos cercanos a la zona de interés. Los sismos de estos catálogos son vinculados a las distintas fuentes sismogeneradoras, las cuales son definidas en un mapa de fallas o fuentes sísmicas activas.

Los trabajos utilizados en este documento cuentan con su cita bibliográfica la cual será de utilidad a los lectores como ruta correcta de la fuente primaria de la información.

2. Tectónica Regional

La República de Panamá se sitúa sobre un bloque tectónico, relativamente rígido, llamado por algunos investigadores como el Bloque Tectónico de Panamá (BTP); también, conocido como Microplaca de Panamá (MP). Este Bloque tectónico surgía a finales de Cretácico y principio del Paleoceno, en el Terciario entre unos 70 y 50 Ma, momento en el que ocurren una serie de procesos como la migración del Bloque de Chorotega, procesos de subducción que dan origen a un arco de islas volcánicas, algunas de estas consideradas como exóticas, la división de la Placa Farallón en las Placas de Coco, Nazca. Ambas placas se subducen por debajo de América Central y del Sur y la colisión del Arco volcánico con Suramérica (Escalante 1990, 2011, Mendoza & Nishenko 1989; Kellogg y Vega 1995, Adamek; Camacho y Víquez 1993).

El Bloque Tectónico de Panamá quedó completamente emergido hace unos 3.5 Ma en el periodo Plioceno Pleistoceno (Farris D, A. et al 2017, Buchs et al 2019). El mismo se extiende desde la región central de Costa Rica Panamá hasta la región del Atrato. Obviamente la Placa Caribe tiene un límite norte, que está evidenciado en el contacto del sistema de falla Polochic Motagua que separa a la Placa de Norteamérica y Bloque de Yucatán de la Placa Caribe (Ver Figura 1). El

límite tectónico en el mar, entre ambas placas, se denomina la Fosa de Gran Caimán; que se extiende hasta el Sur de Cuba, pasando por el Norte y centro de la isla La Española, hasta llegar a Puerto Rico donde el tipo de desplazamiento de este límite cambia a inverso (subducción) en donde se genera el arco de islas volcánicas de las Antillas menores (Mann, P. (Ed.). 2007).

El límite sur, al sur limita con la placa sudamericana, el borde entre dichas placas ocurre a lo largo de una serie de fallas geológicas sísmicamente activas del tipo transcurrente lateral derecha, que incluyen la falla de El Pilar en el oriente y la falla Sebastián en el centro-norte de Venezuela, prevén características oceánicas y transicionales para la corteza de las cuencas de Colombia y Venezuela y de transicionales a continentales para la corteza del margen de la placa. Al sur, en el contacto con Panamá Costa Rica, el límite es una zona de deformación, caracterizado por un prisma de acreción al norte de Panamá. Este límite se introduce por el centro de Costa Rica hasta el contacto con la placa de Coco, en la Zona de Subducción en la Fosa Mesoamericana (Ver Figura 1).

La parte norte de la Placa de Suramérica, basado en sus características tectónicas y por la definición y caracterización de grandes fallamientos geológicos; ha permitido definir esta porción en dos bloques tectónico. El de Maracaibo en Venezuela y el del Norte de los Andes en Colombia. Este último está en contacto con la Microplaca de Panamá, cuyo límite ha sido cartografiado en diversos lugares según los investigadores, uno de estos seria la región del Atrato Colombiano. Las Placas de Nazca y Coco, al sur de la Microplaca de Panamá y oeste de la Placa Caribe, respectivamente, están en contacto con la Placa Pacífico en la zona de dispersión o divergencia hace unos 27 a 18 Ma ((Meschede et al 2000)).

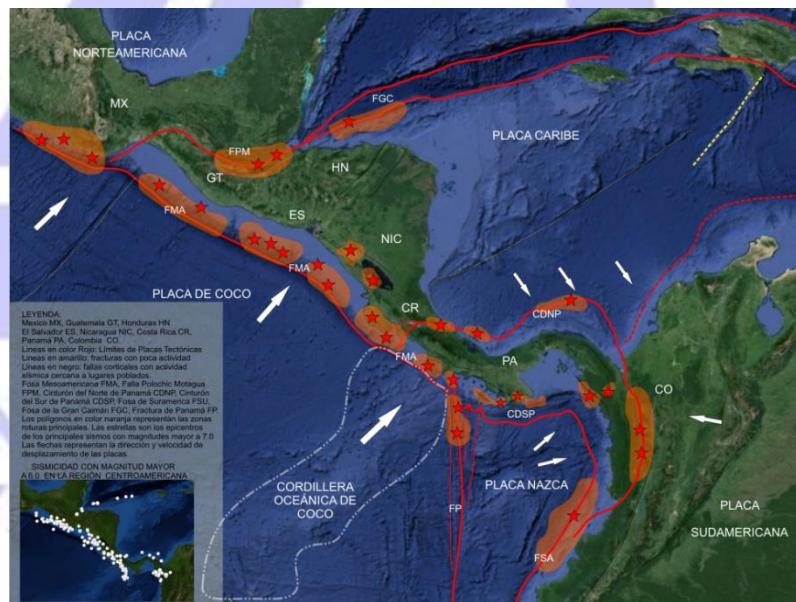


Figura 1: Marco tectónico de la Región Centroamericana y Suramérica. Principales límites de Placas que han generado grandes terremotos (Álvarez et al 2019).

3. Marco Tectónico de Panamá

La Microplaca o Bloque de Panamá está rodeada por cuatro (4) placas tectónicas mayores: La placa Caribe hacia el norte y oeste, la Placa Cocos hacia el suroeste, la placa de Nazca hacia el sur y la placa suramericana hacia el este (Ver Figura 1) (Montero *et al.*, 1994). Como es conocido, estas placas presentan desplazamientos diferentes, por lo que en sus límites se acumula energía ocasionando sismos de diferentes magnitudes. Estos límites tectónicos son el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP), la Región de Sutura del Darién, el Cinturón Deformado del Sur de Panamá (CDSP), La Zona de la Fractura de Panamá (ZFP) que es el límite tectónico entre las Placas de Coco y Nazca; la Zona de Subducción de Centro América y el Cinturón del Centro de Costa Rica.

El Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP): Es la zona de contacto entre las Placas Caribe, convergiendo por debajo de la Microplaca de Panamá, a una velocidad de 10 mm/a; se extiende desde la región de Atrato, en Colombia, hasta Costa Rica, en el Caribe panameño. Esta es una zona de acreción con fallamiento inverso. El CDNP presenta una condición de cabalgamiento del Bloque de Panamá sobre la placa Caribe, observado durante el terremoto de Limón, en 1991.

El CDNP ha sido dividido en tres sectores; el primero localizado al oeste se introduce en Costa Rica, desde el Caribe, por medio de un sistema difuso de fallas que se extiende hasta la línea de costa del Pacífico, frente a la cordillera oceánica de Coco.

Muchos investigadores propusieron límites a esta parte de la Microplaca de Panamá; no es hasta cuando ocurre el terremoto de Limón, en 1991 ($Ms = 7.6$), que se confirma un sistema de fallas con desplazamiento lateral izquierdo. La parte central de este límite no ha mostrado una actividad importante en los últimos años, que permita definir sus características con mayor precisión.

El sector oriental del CDNP, es una zona con gran actividad sísmica, donde los últimos sismos reflejan una incipiente subducción de la Placa Caribe, por debajo del Bloque de Panamá; estos eventos alcanzan profundidades de 80 Km. En esta zona se generó uno de los mayores sismos en la República, con una magnitud de 7.7 Ms y se localizó a 150 Km al noreste de la Ciudad de Panamá.

Subducción y colisión de la Cordillera, Dorsal o Cresta de Cocos: Al Oeste de la Zona de Fractura de Panamá está la Cresta de Cocos, que es un sistema de cordillera que se desplaza en dirección SO - NE, a una velocidad entre 70 y 90 mm /año. Esta dorsal, la cual es boyante, se subduce a un ángulo bajo, generando focos sísmicos poco profundos y con mecanismos focales complejos.

La zona de convergencia termina en la Zona de Fractura de Panamá. Esta región ha generado dos eventos importantes con magnitudes Ms superiores a los 7.0; como los ocurridos en 1941 y 1983 (ICE - UCR).

Zona de Fractura de Panamá (ZFP): Esta es una zona de falla transformante, con desplazamiento lateral derecho, velocidad de aproximadamente 70 mm anuales y es el límite entre las placas Cocos y Nazca. Esta zona de fallas transformantes está conformada por cuatro (4) fracturas paralelas con rumbo N-S; estas son: las fracturas de Coiba, Mickland, Balboa y Panamá.

La ZFP se extiende desde el Ecuador hasta los 6° de latitud norte, donde se desplaza con las otras fracturas, de manera paralela, cercano a los 7.5° norte colisiona con el Cinturón Deformado del Sur de Panamá (CDSP), subduciéndose por debajo del Bloque de Panamá, de manera oblicua y con un ángulo, creando una serie de expresiones morfológicas, en las cuales se incluyen la Zona de la Falla Media y la Falla Canoas. La ZFP provocó el terremoto del 18 de julio del año 1934, con Magnitud 7.6 Ms. Los períodos de retorno para esta fuente sísmica son de 20 años ± 5, para sismos con magnitud superior a 6.5 Ms.

La Zona de Sutura de Darién (ZSD): Es considerada una región compleja caracterizada por una difusa sismicidad, y según algunos autores es estimada por, como un terreno alóctono adherido al bloque del Norte de los Andes. Esta zona está conformada por un gran número de fallas, entre las que destaca las fallas Chucunaque y Atrato, con componentes normales, las fallas Sambú y Jaqué, que son fallas con desplazamiento lateral izquierdo.

Las fallas Ungia y Pirre son transcurrentes; próximo a la zona de costa tenemos la falla Uramita, que se extiende desde el Golfo de Buenaventura, hasta la zona de Urabá, en el Caribe, siguiendo el margen Oeste del Bloque del Norte de los Andes colombiano, este podría ser el límite tectónico entre el Bloque de Panamá y el Bloque del Norte de los Andes.

Cinturón Deformado del Sur de Panamá (CDSP): Esta zona se localiza al Sur del Istmo de Panamá, bordeando el litoral Pacífico, desde el sur de Chiriquí, hasta la zona de subducción en la fosa de Colombia - Ecuador. Aquí, la Placa de Nazca se subduce de manera oblicua por debajo del Bloque de Panamá, con un ángulo bajo de 15°, aproximadamente (Moore, 1985; Silver *et al.*, 1995). La interpretación tectónica se basa en datos geofísicos y geológicos, a partir de las actividades volcánicas de los complejos La Yeguada y Barú (De Boer *et al* 1991).

La sismicidad y la geología indican una reciente subducción de esta placa a unos 100 a 120 Km por debajo de la Cordillera Central de Panamá, donde esta placa se desplaza hacia el E – ENE, con una velocidad no superior a los 5 cm anuales (Cowan *et al* 1998), numerosos sismos de moderada magnitud se han generado en esta región.

4. Fallas Menores dentro de la Microplaca de Panamá:

A lo interno de la Microplaca de Panamá se han logrado identificar una serie de estructuras geológicas, morfoestructuras que se han asociado a los sismos que se registran en el instituto de Geociencias. Cuando se menciona el término estructura geológica se hace referencia a observaciones

de campo donde se ha logrado medir y definir los elementos estructurales (fallas, pliegues, fracturas entre otros), a diferencia de elementos morfoestructurales que define los rasgos geomorfológicos que se asocian a zonas de fallas.

Algunas de las fallas más importantes están hacia el oeste del país las cuales se vinculan con la interacción de la Fractura de Panamá que se está subduciendo, generando fallas en la corteza de Panamá como la zona de Falla Media en Punta Burica, La falla Canoa, la falla Longitudinal y otras fallas en la región de Tierras Altas próximas al Volcán Barú. Hacia el Caribe, en la Provincia de Bocas se observan una serie de fallas y pliegues, además de elementos morfoestructurales con rumbo preferencia ONO – ESE.

En la región Central Sur, provincia de Veraguas Herrera y Los Santos, se observa el Sistema de Fallas Azuero Soná. En este sistema de fallas destacan las fallas Torio – Güanico, Tonosí, Falla del Sur de Panamá, Coiba, Flores, y las fallas del Golfo de Montijo.

Al este de país, se observan las fallas Sambú, Jaqué, Sansón Hill, Yavisa entre otros elementos que son observados incluso con imágenes de satélite. En la región de Panamá Central están las fallas geológicas de Gatún cuyo rumbo es SO- NE, la falla Limón, Pedro Miguel, Miraflores y la del archipiélago de las Perlas. Existen otras fallas de menor longitud que las antes mencionadas. Un estudio reciente empleando GPS ha concluido que las tasas de deslizamiento son mucho menores a los 5 mm/años estimados empleando técnicas geológicas (Bennett et a 2014).

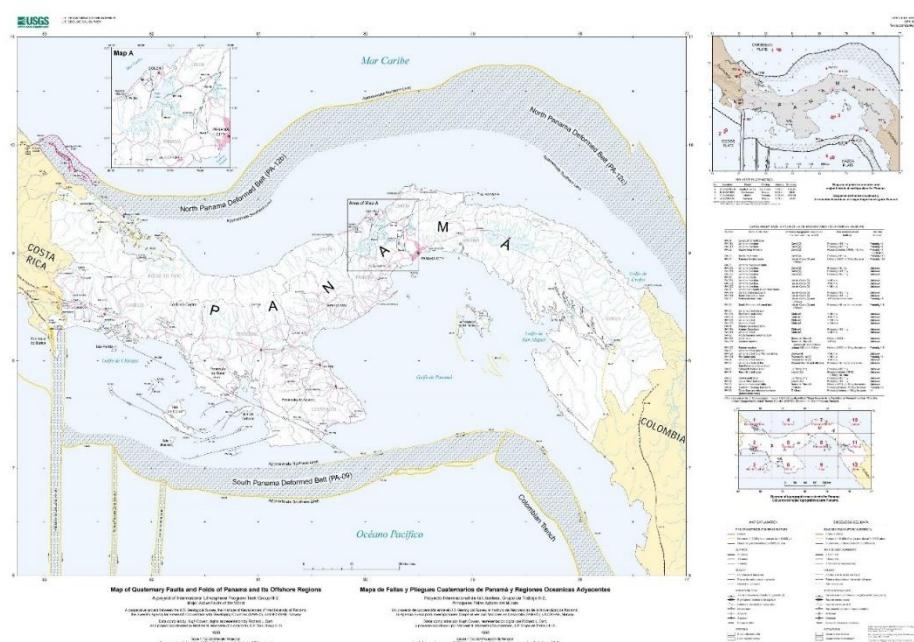


Figura 2: Proyecto de Modelo Neotectónico IGC 1998. (Cowan H. A. 1998)

5. Fallas Geológicas

Esta zona coincide con el trazo de la Falla Pedro Miguel, al tiempo que algunos investigadores sugieren que esta falla puede extenderse hasta la zona próximo a Taboga. Esta falla es transcurrente lateral derecho, con una componente inversa. En base a su longitud, la cual se extiende por unos 48 Km, la misma podría generar un sismo de magnitud máxima hasta de 7.2, pero en periodo de retorno de 450 años.

Las otras fallas importantes, en lo que es la parte continental del istmo de Panamá, o bien, las fallas en la corteza de la Microplaca de Panamá son la fallas Gatún, Limón, Azota, Caballo y Miraflores. De este grupo de fallas, se logró encontrar evidencias de sismos antiguos, basado en estudios paleoseísmológicos, en la falla Gatún; con periodo de retorno de 170 años (evidencias de 3 sismos), según la longitud de la falla podría generar un 7.0 a 7.5 de magnitud. La falla Limón, con una longitud de 28 Km podría generar un sismo de magnitud 6.8, pero muestra periodo de retorno de 400 años (ver figura 3).

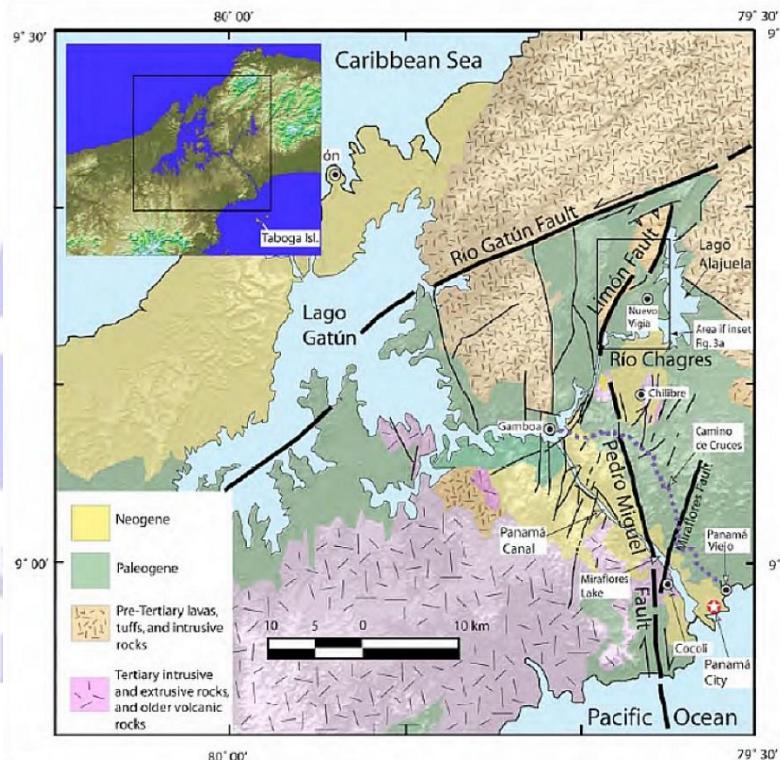


Figura 3: Mapa de las principales fallas Cuaternarias en Panamá Central. (Ciencia y Educación 2010)

6. Sismicidades Histórica:

2 de mayo de 1621. En Panamá las casas de calicanto se desplomaron muriendo el gobernador. La intensidad estuvo entre VII y VIII. En Venta de Cruces los puentes, la prisión, la aduana y todos los edificios públicos sufrieron daños graves (AGI Panamá 30). La intensidad estuvo entre VII- VIII MM. Se estima que este sismo tuvo una magnitud de 6.5, pero para los estudios de la ampliación del canal se llegó a estimar una magnitud máxima de 7.2.

7 de septiembre de 1882, 03:18 a.m., 10 N, 79.0 W, Ms7.9. Los daños más graves ocurrieron en la vertiente Caribe. Desde Colón se reportó: "Masonry and wood houses severely damaged and many of them are useless" (A. N. P., 1882a). "...people could not walk". " Many buildings shift from their foundations"....." Two persons have been killed by a roof collapse".... " Some houses have collapsed too." (Star & Herald, 1882a).



Figura 4: El muelle de Colón en la mañana del 7 de septiembre de 1882 y Colapso de la iglesia ubicada en la comunidad de Cruces. (The Star and Herald, 1882)

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
INSTITUTO DE GEOCIENCIAS

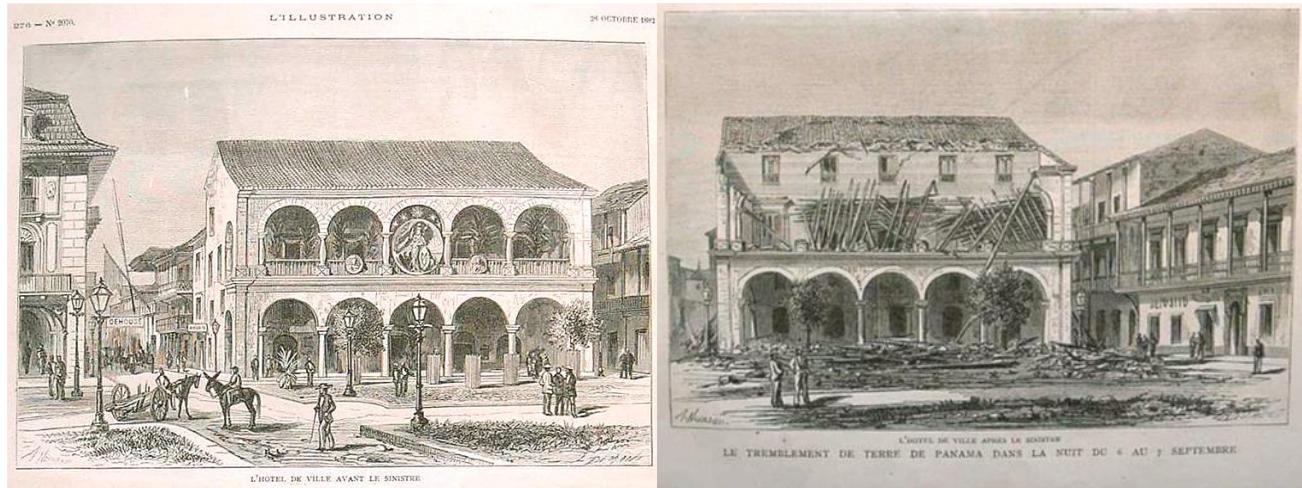


Figura 5: En Panamá el Cabildo, la iglesia de Santa Ana y la Catedral sufrieron caída de muros y fachadas. Las casas de madera y los ranchos de paja resistieron el movimiento del terreno. The Star and Herald, 1882

Otros sismos ocurridos en el siglo XX y XXI

El 14 de mayo de 1914; ocurrió un sismo frente a las costas de la Comarca Guna Yala, generado por el Cinturón Deformado del Norte de Panamá, la magnitud de este evento está estimada entre los 6.5 a 7.2 a una profundidad de rotura de 70 Km, provocada por la subducción de la Placa Caribe por debajo de Panamá.

El 7 de marzo de 1930, ocurre otro sismo frente a la costa de la comarca Guna Yala y Colón, con magnitud estimada entre 6.0 y 6.5, generado por el CDNP. Este sismo fue sentido fuerte en la ciudad de Panamá y Colón. Se reportaron algunas fracturas menores en el edificio de la Administración del Canal.

El 21 de noviembre de 1935, otro sismo generado por el CDNP, en la Comarca Guna Yala, fue sentido fuertemente en el área de la Zona del Canal, mucha gente salió a las calles en Balboa. Daños no estructurales menores en las construcciones de menor calidad.

En 1971, el 19 de enero; ocurrió el terremoto sentido más fuerte en la ciudad de Panamá en los últimos 90 años. La magnitud de este sismo oscila entre los 5.5 y 6.5, en base a las estimaciones de los centros sismológicos que lo reportaron. Hubo paredes fracturadas ventanas, de vidrio rotas, se rompió las tuberías de agua y se dieron fallos en las líneas de transmisión eléctrica, el edificio de la administración sufrió daños nuevamente. Al principio hubo mucha divergencia en la localización del epicentro; por ejemplo, Leeds en 1978, lo ubica al noroeste de la margen del lago Gatún (Escobal), pero posteriormente la NOAA Y ISC lo ubicaron al este de la ciudad de Panamá. Trabajos

de relocalización en los 90's, con múltiples estaciones, permitió conocer la fuente sismogeneradoras, siendo la misma la Falla del archipiélago de Las Perlas, al sur de la Ciudad de Panamá.

El 5 de enero de 1985, ocurrió un sismo el Cinturón Deformado del Norte de Panamá de magnitud 6.2, con epicentro en las coordenadas 10.177°N 80.027°W a una profundidad de 33 Km. Sentido Fuerte en Colón y Ciudad de Panamá.

El 26 de febrero de 2000, ocurrió un Fuerte sismo en la región de El Porvenir, comarca Guna Yala. Las coordenadas epicentrales de este sismo son 9.406°N 78.532°W con profundidad de 65 Km y es el producto de la subducción de la Placa Caribe por debajo de Panamá. Este sismo generó pánico y ligeros daños en algunas estructuras.

El 16 de marzo de 2002, ocurre un sismo localizado al este de la ciudad de Panamá, en las coordenadas 9.025°N 78.955°W con magnitud de 5.5 y profundidad de 30 Km. Este sismo fue sentido en la Chepo, Pacora, Tocumen, ciudad de Panamá, Arraiján, La Chorrera.

En agosto 13 de 2003, ocurrió un sismo de magnitud 5.4, localizado en la Bahía de Limón, provincia de Colón, las coordenadas del epicentro 9.355°N 79.941°W y la profundidad de este sismo fue de 54 Km.

El 4 de julio de 2009, ocurre otro fuerte sismo en la región de El Porvenir, comarca Guna Yala, en las coordenadas 9.590°N 78.966°W y profundidad de 40 Km.

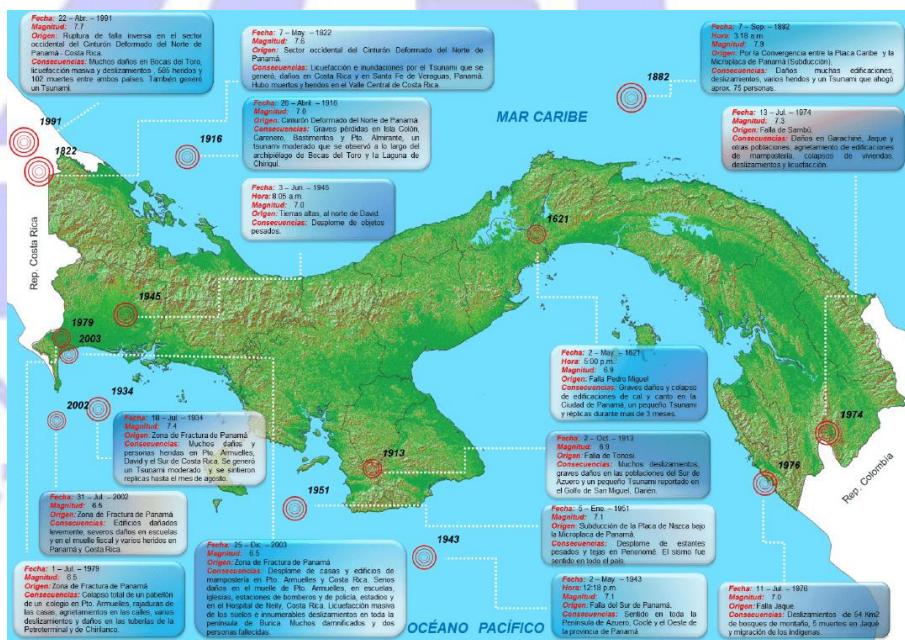


Figura 6: Principales Sismos ocurridos en Panamá con magnitudes mayores a 6.5 Mw, (Fuente) Instituto de Geociencias 2021.

7. El catálogo sísmico del Instituto de Geociencias

La actividad sísmica proporcionada en el presente reporte fue recolectada, procesada y brindada por Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá, donde se seleccionó un espacio de tiempo que va de enero 2018 hasta el 15 de mayo de 2021. La base de datos está dentro del servidor donde corren los programas de SEISAN, el cual contiene otra serie de programas y aplicaciones para el análisis de la señal sísmica registrada en las redes sismológicas que operan en el país. Cada una de estas redes brinda sus estaciones al Instituto de Geociencias para así mejorar la calidad de las localizaciones y por ende de los estudios que se realizan desde la Universidad.

El catálogo que se encuentra en este documento comprende de enero de 2018 a mayo de 2021, el cual ha sido dividido en tres (3) grupos basado en condiciones de proximidad o región Sismotectónica, siempre en el marco de la distancia del epicentro a la región de interés, la que es de 150 km de radio. Estos son descritos a continuación.

8. Actividad sísmica cercana a la región del túnel

Corresponde a los sismos registrados por la Red Sísmica de Panamá, que están dentro de un radio de 20 Km; de esta manera se seleccionaron todos los sismos que están entre Arraiján cabecera, al oeste; Puente Centenario al Norte, San Miguelito al este; y al sur, frente a las costas de Taboga. Durante el tiempo de interés, para el área seleccionada, se registraron 23 eventos sísmicos, de lo que se puede señalar que algunos de estos han sido calificados como explosiones. Estos son los sismos 9, 11, 15, 17, 20 y 29; el resto son eventos sísmicos de carácter natural.

Durante el año 2018 se registraron 12 sismos, sin incluir las explosiones que se generaron en las inmediaciones del canal. De estos 12 sismos, 3 tuvieron magnitud mayor a 3.0 Mw, siendo el más fuerte el ocurrido 29 de junio a las 8:25 am, hora local; la magnitud fue de 3.5 Mw, el mismo fue reportado como sentido por los residentes de las comunidades próximas al Canal. Las coordenadas del epicentro son 9.025 N y 79.627 O a una profundidad de 2 Km, próximo a la comunidad de Paraíso.

En el año 2019 se generaron 5 sismos en esta pequeña región, de los cuales 4 ocurrieron en julio, lo que permite interpretar que hay presencia de una falla geológica activa. Esta secuencia de sismos fue registrada por pocas estaciones (las más cercanas), lo que limita la interpretación del tipo de falla y patrones de rotura.

En el 2020 se dieron tres (3) sismos, todos con magnitud menor a 3.0 Mw. Estos sismos de poca liberación de energía por lo general no son sentido. En los meses que va del 2021, se ha logrado registrar 4 sismos (1 explosión) todos con magnitud menor a los 3.0 Mw.

La distribución espacial de estos epicentros refleja un alineamiento norte sur, desde la margen este del canal hasta muy cerca de la carretera Panamericana. Esto sugiere que la presencia de una o algunas fallas geológicas activas. No se puede afirmar que sea la falla Pedro Miguel; pero, en definitiva, algunas fallas secundarias que están generando micro sismicidad.

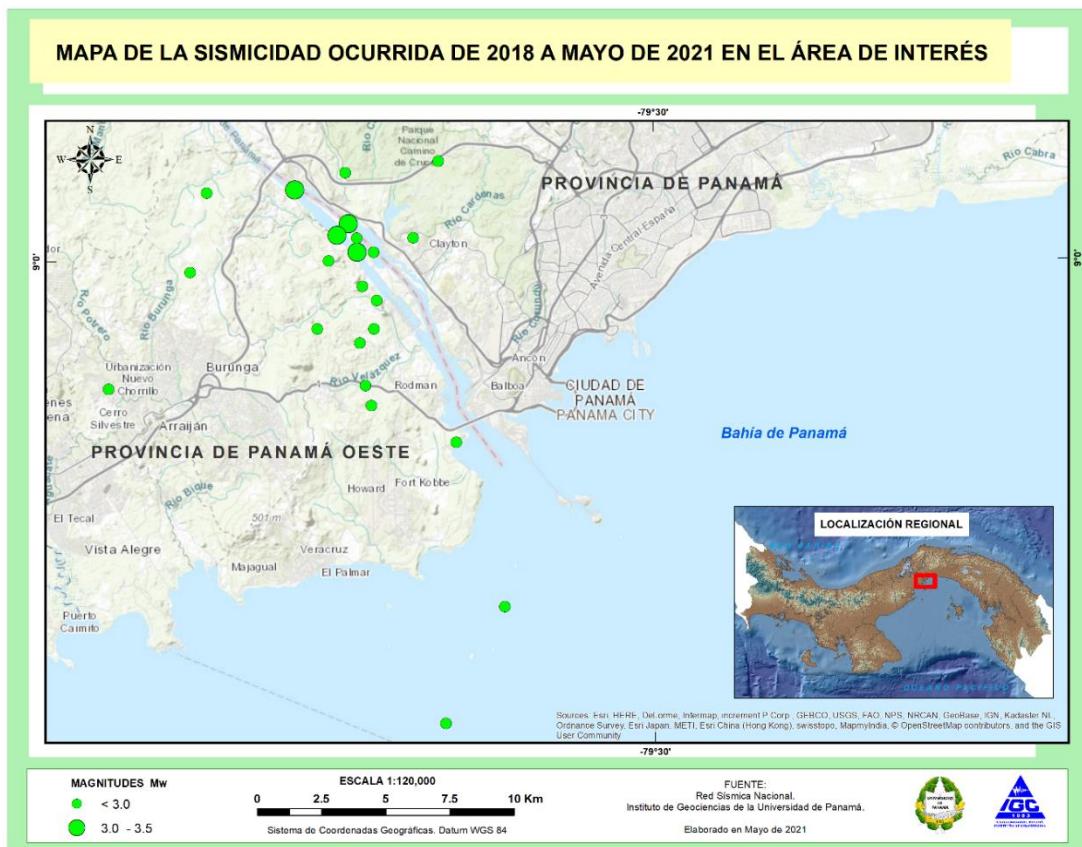


Figura 7. Sismicidad en un radio de 20 Km. Los puntos verdes son los eventos sísmicos registrados en la Red Sísmica Nacional. (Instituto de Geociencias, 2021).

SISMICIDAD REGISTRADA Y LOCALIZADA EN UN RADIO DE 20 Km CUYO CENTRO ES EL PUENTE DE LAS AMERICAS

Nº	Año	mes	día	hora	min	seg	Coord. Lat N	Coord. Long O	Prof.	STAT	RMS	Magnitud Mw
1	2018	4	21	20	23	28.2	8.986	79.598	11.3	7	0.4	2
2	2018	5	11	12	33	53.6	9.003	79.605	7.8	6	0.3	3.4
3	2018	5	23	23	8	2.6	8.976	79.619	13.4	7	0.3	2.4
4	2018	6	22	12	9	35.3	9.003	79.599	11.5	6	0.4	2.6
5	2018	6	29	13	25	22.3	9.025	79.627	2.0F	17	0.6	3.5
6	2018	7	18	11	30	30.3	9.008	79.585	8.6	3	0.2	2.2
7	2018	7	27	12	9	41.6	9.035	79.576	7.9	6	0.1	2.6

8	2018	8	3	11	51	23.7	9.009	79.612	6.1	10	0.5	3.1
9	2018	8	25	20	11	52.7	9.031	79.609	0	6	0.2	2.5
10	2018	10	16	22	25	37.1	8.878	79.629	1.3	3	0.3	2
11	2018	10	25	2	31	7.9	9.024	79.658	50.9	5	0.6	2.9
12	2018	10	30	14	46	0.1	8.955	79.693	15.2	5	0.8	2.4
13	2019	7	3	11	5	5.9	8.878	79.553	0	4	0.6	3
14	2019	7	12	12	33	42.1	9.013	79.608	4.6	5	0.3	3.4
15	2019	7	23	23	17	2.7	8.949	79.6	12.8	7	0.2	2.5
16	2019	7	25	23	33	38.6	8.976	79.599	13	7	0.5	2.7
17	2019	10	4	15	59	19	8.936	79.57	13.8	11	0.6	2.2
18	2020	2	12	20	56	24.5	8.996	79.664	14.6	9	0.4	2.8
19	2020	10	30	17	12	29.2	8.837	79.574	5.2	12	0.5	2.4
20	2020	11	12	16	43	52.7	8.956	79.602	12.1	9	0.3	2.1
21	2021	3	22	16	11	43.4	9	79.615	7.6	6	0.5	2.2
22	2021	5	12	15	46	57.6	8.991	79.603	9.2	13	0.5	2.8
23	2021	5	13	15	59	46.6	8.971	79.604	9.5	10	0.2	2.4

9. Catálogo de sismos con magnitud mayor a 3.5 Mw, ocurrido en un radio de 150 Km

Para este segundo catálogo, extraído de la misma base de datos de Seisan, lo primero que se estimó la distancia radial al centro, al que se le asignó 150 Km, por el hecho de que a esta distancia se pueden dar daños menores por un sismo de magnitud 5.5 Mw. Posteriormente se estimaron las coordenadas extremas norte y sur y, en su defecto, la coordenada este y oeste con valores negativos. Igualmente, se estableció el límite de magnitud y profundidad hipocentral, a la que se dispuso que sean mayor a 3.5 Mw y de 0 Km hasta los 30 Km respectivamente.

Basado en la metodología anterior, se obtuvo un total de 46 sismos corticales, generados por fallas en la corteza, de los cuales 16 presentaron magnitud superior a 4.0 Mw. El de mayor magnitud fue el registrado el 11 de febrero de 2018, con epicentro en las coordenadas 9.478 -79.390; ubicado en el Parque Nacional Chagres, noreste de la zona de interés. La magnitud de este evento fue de 5,0 Mw; y, según los rasgos morfoestructurales la fuente que generó el sismo es la falla Río Cuango – Santa Isabel.

Otros sismos relevantes fueron los ocurridos el día 7 de enero y 8 de febrero de 2018, ambos con magnitud de 4.6 y con fuentes sísmicas distintas (sur de Isla del Rey y Chimán) procedentes de Sureste de la zona de interés.

El 7 de marzo de 2019 ocurrió un (1) sismo de magnitud 4.5 Mw, localizado en el Archipiélago de Las Perlas, próximo a isla Contadora. Las coordenadas de ese sismo son 8.605 -79.064, a una

profundidad de 7.3 Km generado por la falla Las Perlas. Este evento fue reportado sentido en la zona epicentral, así como en algunos sitios de la ciudad de Panamá.

Para el año 2020, solo ocurrió un sismo de magnitud superior a 4.0 Mw, el mismo ocurrió el 14 de febrero, localizado al sur de la provincia de Coclé. En lo que va del 2021, no se han registrado sismos con magnitud superior a 4.0.

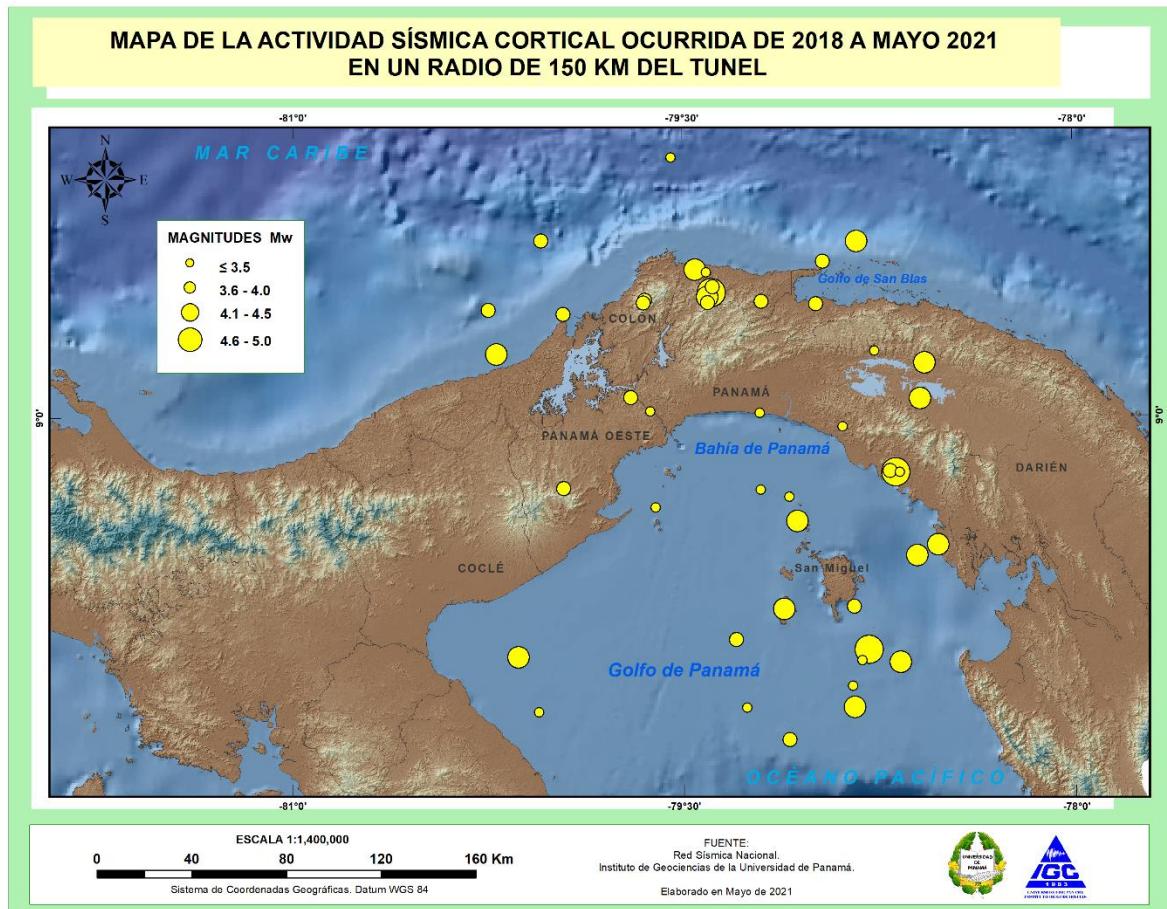


Figura 8: Sismos generados en la corteza continental, en un radio de 150 Km. (Instituto de Geociencias, 2021).

Nº	Año	mes	día	h	m	seg	Coord.			Prof.	STAT	RMS	Magnitud Mw
							Lat N	Long O	Coord.				
1	2018	1	7	7	6	28.1	8.113	78.791	0.4	4	0.3	4.6	
2	2018	2	8	17	19	47.9	8.79	78.685	10	10	0.8	4.6	
3	2018	2	11	4	45	10.9	9.478	79.39	13.1	31	0.8	5.0	
4	2018	2	11	4	45	11.3	9.462	79.406	13.2	37	0.8	4.4	
5	2018	2	28	5	38	19.9	7.894	78.847	3	5	0.4	4.2	
6	2018	3	15	0	31	50.6	9.555	79.411	16.8	12	0.5	3.2	

7	2018	3	28	22	6	58.6	9.078	79.702	7.1	5	0.6	3.6
8	2018	4	12	9	39	44.1	8.732	79.96	10	2	0.2	3.9
9	2018	4	15	17	7	44.8	8.658	79.608	7.6	28	0.6	3.5
10	2018	4	29	11	10	3.8	8.796	78.707	4.8	7	0.3	3.9
11	2018	5	2	9	57	47.9	9.207	78.573	19.8	15	0.4	4.1
12	2018	5	11	10	2	54.8	7.975	78.854	7.6	3	0	3.5
13	2018	5	27	8	40	42.5	8.698	79.094	9.2	6	0.8	3.4
14	2018	6	29	13	25	22.3	9.025	79.627	2.0F	17	0.6	3.5
15	2018	6	29	13	25	22.3	9.025	79.627	2.0F	17	0.6	3.5
16	2018	6	29	23	44	36.6	9.566	79.453	24.2	9	0.2	4.1
17	2018	8	1	2	51	23.4	9.449	79.647	8.4	12	0.5	3.9
18	2018	8	25	1	40	34.2	8.065	78.67	6.4	5	0.1	4.4
19	2018	8	26	18	15	35.8	9.5	79.386	11.6	6	0.2	3.7
20	2018	8	30	10	39	3	9.439	79.405	17.2	20	0.4	4
21	2018	9	14	22	56	41.6	8.27	79.116	19	22	0.3	4.1
22	2018	10	9	5	20	40.7	8.79	78.67	3.5	9	0.7	3.5
23	2018	10	11	8	43	57.8	8.073	78.817	9.7	7	0.2	3.5
24	2018	11	11	10	56	21	7.77	79.096	2.6	5	0.7	4
25	2018	11	11	14	9	44.3	8.513	78.524	10	4	0	4.5
26	2018	11	14	16	41	25.1	8.473	78.605	28.1	4	0.6	4.2
27	2018	11	14	16	57	5.5	9.413	80.248	24.7	18	0.8	3.6
28	2018	12	7	8	57	48.3	9.018	79.206	0	7	0.2	3.5
29	2019	1	21	7	24	31.3	9.244	80.217	20.5	12	0.5	4.3
30	2019	2	7	9	24	33	9.434	78.989	11.8	4	0.4	3.9
31	2019	2	10	10	30	30.6	9.071	78.591	15.6	12	0.3	4.1
32	2019	3	14	7	9	50.7	8.279	78.847	0.4	3	0.1	4
33	2019	3	14	7	9	53.1	8.605	79.064	7.3	23	0.9	4.5
34	2019	4	4	4	14	18.5	9.397	79.961	18.9	5	0.3	3.7
35	2019	5	22	4	58	21.5	7.878	80.057	15	11	0.5	3.4
36	2019	8	2	13	8	22.5	9.444	79.199	10.5	8	0.5	3.7
37	2019	10	1	2	7	38.7	8.153	79.299	20.2	20	0.4	3.6
38	2019	10	1	8	28	56.4	8.965	78.889	12.3	16	0.5	3.5
39	2019	10	27	7	3	20.5	9.672	78.833	14.4	31	1.2	4.2
40	2019	12	28	21	4	52.2	9.253	78.765	12.5	13	0.5	3.5
41	2020	2	14	11	12	49.1	8.088	80.135	11.6	39	0.6	4.2
42	2020	7	25	20	56	32.6	8.725	79.204	11.2	7	0.5	3.5
43	2020	8	14	3	38	24.4	9.994	79.545	7.5	8	0.4	3.5
44	2020	8	26	12	29	22.5	9.677	80.045	14.7	19	0.3	3.7
45	2020	8	30	23	49	23.6	9.596	78.963	29.9	10	0.4	3.7
46	2020	11	17	16	54	2.3	7.893	79.259	10	3	0.6	3.5

10. Catálogo Sísmico con profundidades intermedia [> 30 Km].

La importancia de este catálogo obedece a que este sector de la Microplaca de Panamá presenta una actividad tectónica de subducción incipiente, por lo que es considerada otra fuente sismogeneradoras. Los eventos sísmicos generados en esta fuente alcanzan profundidades de hasta 120 Km. La Placa Caribe se mete por debajo del sector noreste de la Panamá, a un ángulo bajo. Durante los 3 años y 5 meses extraído de la base de datos de los sismos registrados por la Red Sísmica Nacional, son 150 los sismos; 51 son del año 2018, lo que representa el 34 % de la sismicidad; 42 sismos ocurrieron durante el 2019, 37 sismos corresponden al 2020, y entre los meses de enero a mayo del año 2021, se dio una actividad sísmica de 20 sismos.

En el año 2018, el sismo de mayor magnitud ocurrió el 6 de agosto, con magnitud 5.4 Mw, con una profundidad de 50 Km, con epicentro en las coordenadas 9.69 -78.645, el cual se ubica frente a las costas de la comarca Guna Yala, a una distancia de 140 Km del sitio de interés. Este evento fue reportado sentido en ciertos lugares de la ciudad de Panamá, en especial edificios altos.

Otros sismos importantes durante el año 2018 fueron los ocurridos el 5 de diciembre con magnitud 4.6 Mw; el 4 de febrero magnitud 4.5 Mw, el 24 de marzo Magnitud 4.4 Mw; el 26 de julio magnitud 4.3. Durante el 2019, el sismo de mayor magnitud fue el ocurrido el 7 de octubre con magnitud 4.5 Mw; profundidad de 49.6 Km, con epicentro en las coordenadas 9.676 -78.450.



Figura 9: Distribución de los sismos según las magnitudes para sismos de profundidad intermedia (30 a 120 Km.)

Para el 2020 no hay evento sísmico con magnitudes mayor a 4.0; pero resaltamos que durante este año la mayoría de los sismos tienen profundidad mayor a los 50 Km, evidenciando el proceso de subducción.

El primero de mayo de 2021, ocurrió un fuerte sismo en la región de Santa Isabel, provincia de Colón. El sismo se localiza en las coordenadas 9.447 -79.158, con una profundidad de 32 Km. Sentido en la provincia de Colón y Panamá

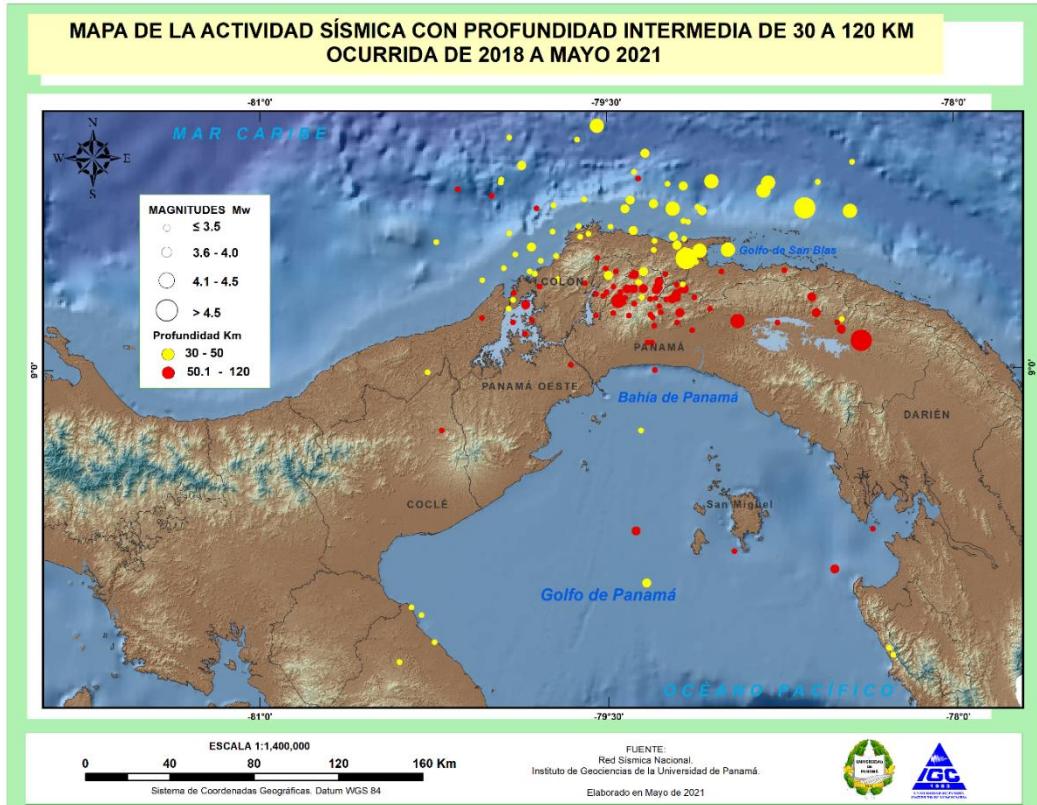


Figura 10: Distribución espacial de los sismos intermedios. Los puntos amarillos sismos entre 20 y 50 Km, los puntos rojos, son los sismos con profundidades entre 50 y 120 Km.

Nº	año	mes	dia	h	m	seg	Coord. Lat N	Coord. Long O	Prof.	STAT	rms	Magnitud Mw
1	2018	1	30	2	35	1.1	9.801	78.588	39.1	10	0.4	3.2
2	2018	2	4	23	59	19.1	9.69	79.215	40	9	0.2	4.5
3	2018	2	7	23	32	24	9.424	79.834	32.8	5	0.1	2.8
4	2018	2	8	1	4	40.7	8.993	80.277	41.6	4	0.1	2.3
5	2018	2	9	12	15	1.7	9.311	79.123	67.3	7	0.3	2.8

6	2018	2	12	5	5	24.1	7.752	80.399	41.5	3	0.1	3.3
7	2018	2	13	13	46	55.1	8.144	78.525	69.7	7	0.4	3.9
8	2018	2	15	8	49	54	9.302	79.907	38.1	13	0.4	3.5
9	2018	2	24	6	56	55.3	9.55	80.238	40.3	7	0.3	2.8
10	2018	3	21	7	59	6.6	9.732	79.598	37.1	14	0.5	3.4
11	2018	3	24	3	49	13.8	9.208	78.937	58	19	0.4	4.4
12	2018	3	29	22	17	55.7	9.379	79.275	58.3	15	0.4	3.8
13	2018	4	2	8	18	49.9	9.988	79.628	34.6	13	0.4	3.1
14	2018	4	6	0	8	25.8	9.68	79.088	38.3F	23	0.5	3.8
15	2018	4	6	22	52	40.6	9.373	79.596	56.4	5	0.2	2.5
16	2018	4	20	9	6	23.1	9.748	79.997	88.8	4	0.4	2.9
17	2018	4	22	21	28	40.5	9.414	79.813	47.7	7	0.1	3.1
18	2018	4	23	7	37	57	9.346	79.414	50.9	12	0.2	3.6
19	2018	4	23	21	14	54	9.2	78.766	59.7	16	0.5	3.5
20	2018	5	14	9	18	15.9	9.307	79.291	56.9	10	0.3	3
21	2018	6	3	19	10	7.1	9.305	79.196	71.8	9	0.2	3.5
22	2018	6	4	10	52	18.4	10.047	79.541	32.9	17	0.4	4.1
23	2018	6	13	6	35	28.6	9.584	79.58	41.7	13	0.5	3.5
24	2018	6	13	6	45	0.4	9.617	79.622	39.6	12	0.6	3.4
25	2018	6	17	6	20	3.2	7.987	80.347	43.1	3	2.6	1.5
26	2018	7	1	21	42	1.9	9.213	78.489	48.7	11	0.4	3.3
27	2018	7	2	8	35	6.1	9.497	79.897	35.3	5	0.1	3.1
28	2018	7	26	3	21	20.3	9.51	79.1	49	17	0.4	4.3
29	2018	7	30	21	43	36.6	9.614	79.485	32.9	13	0.5	3.5
30	2018	8	5	19	39	23.6	9.301	79.245	66.8	8	0.3	3.3
31	2018	8	6	17	58	27	9.69	78.645	49.6	45	0.6	5.4
32	2018	9	2	20	23	57.2	7.953	80.304	43.4	3	3	2.4
33	2018	9	12	1	23	26.1	9.849	79.382	38.6	16	0.8	3.3
34	2018	9	15	0	35	20.8	9.303	79.219	59.5	8	0.3	3.6
35	2018	9	20	2	41	30.6	9.247	79.269	73.3	16	0.6	3.2
36	2018	9	22	8	16	54.8	7.837	80.249	31	15	0.4	3.1
37	2018	10	1	8	30	52.5	9.352	79.28	61.8	18	0.2	4
38	2018	10	3	3	19	20.7	9.765	78.823	31.6	11	0.5	4.1
39	2018	10	25	2	31	7.9	9.024	79.658	50.9	5	0.6	2.9
40	2018	10	26	9	17	25.8	9	79.295	72.7	4	0.2	2.9
41	2018	10	29	13	6	37.6	9.334	79.443	62.6	4	0.2	3.2
42	2018	11	4	16	12	22.2	8.088	79.335	38.7	3	1	3.6
43	2018	11	8	8	26	47.3	9.799	78.802	38.1	9	0.4	4.1
44	2018	11	10	1	41	33.3	9.694	79.804	65.8	3	0.1	3.2
45	2018	11	16	10	43	32.6	7.776	78.277	44.8	4	0.3	3.4
46	2018	11	17	18	12	26.1	9.36	79.791	53.7	5	0.1	2.6
47	2018	11	22	15	22	4.2	9.334	79.502	54	3	0.3	2.3

48	2018	11	24	11	23	26.5	9.69	79.422	32.9	10	0.2	3.6
49	2018	12	5	17	41	21.3	9.122	78.406	68.9	25	0.7	4.6
50	2018	12	27	6	10	31.7	8.315	78.361	70.0S	4	1	3.3
51	2018	12	28	23	12	49.7	9.311	79.423	61.4	7	0.3	3.3
52	2019	1	8	12	12	44	7.805	78.295	42.3	3	0.6	3.4
53	2019	1	11	10	47	28.7	9.348	79.343	63	10	0.3	4
54	2019	1	29	14	41	58.5	8.311	79.379	97.8	5	0.5	3.6
55	2019	2	7	9	24	34	9.513	78.978	43.7	14	0.5	4.4
56	2019	3	9	5	33	34.6	9.234	79.406	67.2	15	0.2	3.3
57	2019	3	9	7	43	55.1	9.288	79.447	70.1	19	0.4	3.9
58	2019	3	11	5	56	46.1	9.421	79.343	35.8	9	0.5	3.8
59	2019	3	17	19	27	48	9.241	78.599	64.8	9	0.2	3.9
60	2019	3	22	10	43	33.6	9.806	79.047	39.3	7	0.4	4.1
61	2019	3	30	1	27	13.9	9.357	79.473	56.6	14	0.3	3.5
62	2019	4	7	8	15	18.7	9.338	79.186	50.3	5	0.3	3.3
63	2019	4	7	17	3	40.5	9.42	79.006	67.2	9	0.2	3.5
64	2019	4	16	0	11	40.8	9.324	79.201	60	19	0.3	3.9
65	2019	4	21	17	15	27.9	9.528	79.826	40.9	6	0.3	3.9
66	2019	5	10	6	53	55.5	9.711	79.298	39.2	8	0.6	3.6
67	2019	5	20	9	1	34	9.304	79.234	54.2	6	0.3	3.4
68	2019	6	5	0	56	35.8	9.597	79.387	41.7	15	0.5	4
69	2019	7	24	11	12	30.6	9.236	79.314	67.4	9	0.4	3.1
70	2019	7	25	1	5	33.4	9.638	79.17	31	7	0.2	3.3
71	2019	8	8	13	18	47.3	9.728	79.399	34	12	0.2	3.6
72	2019	8	9	19	17	24.7	9.346	79.167	55.6	12	0.3	3.9
73	2019	8	14	12	22	45.6	9.342	79.287	71.9	5	0.1	3.7
74	2019	8	18	6	20	30.4	9.787	79.17	39.6	13	0.2	4
75	2019	8	26	13	29	14.3	9.118	79.326	56	5	0.4	2.3
76	2019	9	15	14	47	18.8	9.347	79.385	61.7	21	0.4	3.8
77	2019	9	22	0	46	18.5	9.17	78.49	62.0F	14	0.5	3.8
78	2019	10	4	3	28	40.7	9.39	79.713	43.4	14	0.4	3.3
79	2019	10	4	6	3	31.2	9.406	79.494	47.6	17	0.3	3.6
80	2019	10	7	23	55	40.9	9.676	78.45	49.6	28	0.9	4.5
81	2019	11	1	5	39	14.7	9.304	79.314	57.3	12	0.5	2.6
82	2019	11	8	20	7	49.8	9.312	79.351	46.4	11	0.3	2.9
83	2019	11	9	3	4	39.2	9.309	78.617	57.1	18	0.5	3.7
84	2019	11	9	9	54	30.5	9.118	79.308	67.9	4	0.1	2.3
85	2019	11	9	9	56	29.7	9.513	79.164	34.3	8	0.9	2.6
86	2019	11	10	5	40	49.1	9.806	79.958	36.7	11	0.1	3
87	2019	11	10	23	55	40.4	9.226	79.304	51.7	13	0.7	3.3
88	2019	11	30	2	59	31.4	9.365	79.174	47.3	11	0.5	2.8
89	2019	12	20	8	9	20.2	9.47	79.787	41.5	7	0.2	2.4

90	2019	12	21	10	30	39.7	9.411	79.248	52.9	13	0.2	2.7
91	2019	12	24	23	12	26.5	8.223	78.957	59.5	9	0.7	3.4
92	2019	12	25	0	8	22	9.571	79.615	37.5	9	0.3	2.7
93	2019	12	31	18	57	42.7	9.514	79.298	35	14	0.4	3.3
94	2020	1	11	0	50	8.5	9.215	79.825	61.7	13	0.2	3.2
95	2020	1	11	22	53	57.2	9.818	79.956	33.2	10	0.4	2.3
96	2020	1	20	18	51	32.5	9.376	79.367	44	9	0.4	2.7
97	2020	1	30	3	13	21.7	9.199	78.508	72.3	24	0.4	3.4
98	2020	2	1	6	4	2.1	9.157	79.856	88.8	5	0.4	2.3
99	2020	3	1	10	24	46.3	9.481	79.543	53	11	0.2	3
100	2020	5	1	1	32	32	9.886	78.44	43.5	15	0.2	3
101	2020	5	8	5	35	6.4	9.82	79.364	58.1	12	0.3	3.3
102	2020	6	20	12	2	12.3	9.28	79.852	62.6	9	0.4	3.6
103	2020	7	4	14	12	48.5	9.633	79.15	33.9	10	0.2	3.4
104	2020	7	6	11	30	48.1	9.928	79.334	47	14	0.4	3.8
105	2020	7	6	13	17	36.2	9.797	79.238	43.3	10	0.1	2.7
106	2020	7	21	13	16	11.9	9.436	79.506	55.6	11	0.2	2.8
107	2020	7	24	7	46	12.2	9.387	80.039	36.5	8	0.2	3
108	2020	7	26	21	46	27.6	9.234	79.549	72.2	8	0.1	3.4
109	2020	8	11	6	4	53	9.438	79.946	40.2	6	0.3	2.1
110	2020	8	17	5	26	27.6	9.244	79.186	62	40	0.4	3.8
111	2020	8	17	5	33	52.3	9.364	79.2	64.1	11	0.4	2.5
112	2020	8	17	5	50	17.1	9.203	79.199	68.1	8	0.3	1.7
113	2020	8	23	8	32	16.7	9.298	79.447	67.3	8	0.3	2.4
114	2020	9	7	10	6	45.8	9.326	79.548	69.4	8	0.4	2.4
115	2020	9	18	2	20	5.8	9.587	79.922	34.3	7	0.1	2.2
116	2020	9	22	0	7	49.4	9.225	80.041	59.5	8	0.4	2.1
117	2020	9	25	17	54	11.2	9.261	79.057	59.7	16	0.2	3.2
118	2020	10	4	17	10	46.3	9.189	79.298	68.6	8	0.2	2.6
119	2020	10	18	4	22	30.2	9.571	79.214	42.6	53	0.5	3.7
120	2020	10	26	19	38	6.2	8.744	80.216	58.5	7	1	2.9
121	2020	11	8	1	9	58.2	9.318	79.517	58.2	13	0.4	3
122	2020	11	11	3	31	54.4	9.403	79.396	56.8	4	0.2	2.6
123	2020	11	13	8	54	50	9.245	79.474	64.5	18	0.3	2.9
124	2020	11	17	5	5	22.4	9.316	79.197	74.7	6	0.1	2.7
125	2020	11	20	1	29	36.4	9.423	79.462	54.6	8	0.2	2.6
126	2020	12	4	1	39	57.7	9.998	79.921	36.8	10	0.2	3
127	2020	12	4	18	14	1	9.408	79.382	58.5	11	0.3	3.6
128	2020	12	9	12	49	20.7	9.424	78.735	52	9	0.3	3.2
129	2020	12	20	5	17	13.6	9.49	79.72	40.4	11	0.2	2.8
130	2020	12	26	15	3	29.7	9.877	79.867	45.7	35	0.3	4
131	2021	1	15	1	43	41.6	9.273	79.276	62	9	0.2	2.3

132	2021	1	18	3	55	20.7	9.534	79.198	41.2	24	0.4	3.8
133	2021	1	27	2	57	59.1	9.207	79.907	50.5	19	0.3	2.7
134	2021	1	28	13	51	25.4	9.707	79.731	37.5	26	0.5	3.3
135	2021	1	29	14	10	28.9	9.552	79.295	40.6	10	0.4	2.9
136	2021	2	5	9	50	2.4	9.29	79.43	64	18	0.3	2.9
137	2021	2	7	6	3	7.7	9.375	79.362	49.2	8	0.2	2.6
138	2021	2	15	3	46	38.4	9.36	79.288	61	5	0.2	2.9
139	2021	2	19	4	18	43.7	9.296	79.452	65.2	21	0.3	4.1
140	2021	2	19	5	12	2.3	9.594	79.735	42	9	0.2	2.3
141	2021	2	28	19	22	14.2	9.697	79.108	40.9	11	0.4	3.3
142	2021	3	8	14	52	44.7	9.778	80.144	54.5	5	0.5	2.5
143	2021	4	5	12	40	47	9.332	79.903	54.1	27	0.3	3.2
144	2021	5	1	6	13	41	9.477	79.158	31.6	63	0.4	5.1
145	2021	5	1	6	53	57.2	9.561	79.168	45.5	8	0.7	2.6
146	2021	5	1	7	36	40.4	9.462	79.116	33.2	7	0.2	2.8
147	2021	5	2	12	48	5.7	8.742	79.357	38	5	0.3	2.5
148	2021	5	4	2	56	18.3	9.265	79.925	39.8	9	0.3	2.5
149	2021	5	11	5	18	43	9.169	79.134	70	6	0.3	2.6
150	2021	5	11	5	27	8.9	9.284	79.384	62.1	7	0.2	2.6

Número de sismos registrados por la red sísmica nacional para el periodo comprendido entre 2018 y mayo 2021

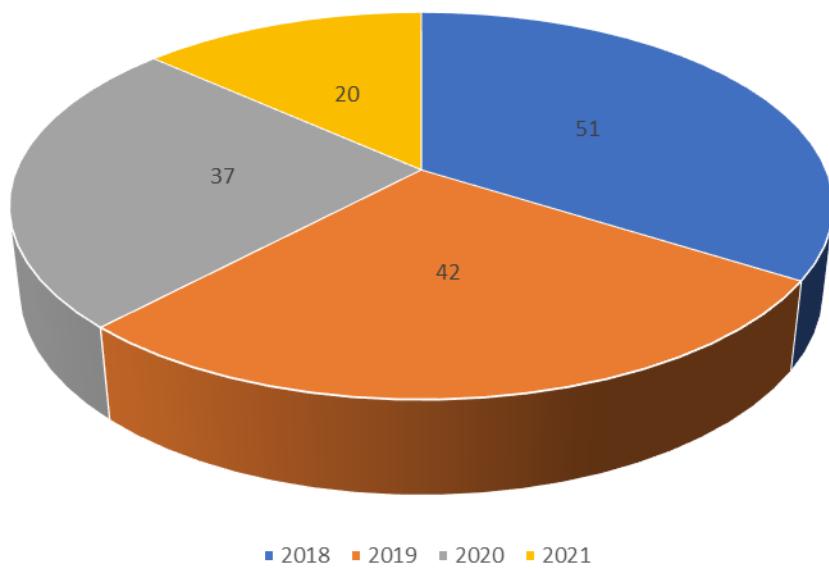


Figura 11.: Distribución de la actividad sísmica por año, para el periodo comprendido entre 2018 a mayo 2021.

11. Descripción de los principales rasgos Geológicos y Geomorfológicos.

El grupo de Pedro Miguel está compuesto predominantemente de basalto a basáltico - andesítico, tobas de andesita con grandes intrusiones basálticas, diques y gabros y flujos de lava basáltica. Esta unidad corresponde a la Formación Pedro Miguel que descansa sobre otras unidades más antiguas del área del Canal, al tiempo que está intercalada localmente con estas.

Debido a la similitud geoquímica y de edad con el resto de la Formación Pedro Miguel, se incluye en este grupo, un estrato de microgranodioritas y andesitas mezcladas, en la entrada del Pacífico del Canal, las que se incluían en la Formación Ciudad de Panamá. La terminología de "Ciudad de Panamá" no se sigue aquí debido a la edad indefinida y la estratigrafía de esta unidad, así como a la diversidad geoquímica de sus rocas ígneas. El grupo Pedro Miguel corresponde a un campo de volcanes en forma de conos, conformado por toba a anillos de toba, con ocurrencias notables de intrusiones peperíticas, subvolcánicas.

Formación tardía de basalto.

La Formación de Basalto Tardío es un nombre informal para la unidad volcánica estratigráficamente más joven expuesta a lo largo del Corte Culebra. Los intentos de datación por edades de Ar / Ar de esta unidad hasta ahora no han tenido éxito, pero según las relaciones estratigráficas, se estima de manera conservadora que tiene más de 15 Ma. La Formación de Basalto Tardío se compone de umbrales, diques y flujos de andesita basáltica a basáltica.

Los alféizares y diques se entrometen localmente en las formaciones Culebra, Cucaracha y Pedro Miguel, donde están presentes, los flujos de lava estratificados ocurren de manera conformada en la parte superior de las unidades piroclásticas de la Formación Pedro Miguel.

Además, la Formación de Basalto Tardío ocurre en una gran área al oeste del Canal de Panamá. La unidad se puede diferenciar de los flujos de lava basáltica dentro de la Formación Pedro Miguel tanto en términos de posición estratigráfica, configuración estructural y textura / composición. El basalto tardío es más identificable como umbrales / tapones más grandes que tienen varios cientos de metros de espesor y pueden tener hasta 500-1000 m de diámetro.

Estos umbrales suelen tener uniones columnar casi verticales bien desarrolladas en las partes superiores de las intrusiones individuales. Sin embargo, algunos cuerpos contienen uniones columnares que se irradian en varias direcciones. Se diferencian de los cuerpos volcánicos de Pedro Miguel que están compuestos íntegramente por rocas magmáticas y no contienen unidades piroclásticas.

En términos de características petrográficas, el basalto tardío se caracteriza por tornos de plagioclasa fuertemente alineado. La plagioclasa es el fenocristal dominante. El clinopiroxeno, cuando está presente, se presenta principalmente como cristales intersticiales sub a anédricos ubicados entre los granos de plagioclasa. Esto se diferencia de los flujos de lava basáltica de Pedro Miguel en los que están presentes grandes fenocristales euédricos de clinopiroxeno. La Formación de Basalto Tardío es la unidad volcánica más joven a lo largo del sur del Canal de Panamá.



Figura 12: Segmento del mapa Geológico del Canal de Panamá, Stewart, Stewart, Woodring. (1980).

La Formación Ciudad de Panamá es un nombre informal para un grupo de tapones andesítico-dacíticos y flujos de lava de composición similar, ubicados cerca de la entrada del Pacífico al Canal de Panamá. Es la unidad volcánica del Canal más austral. Además, esta formación está asociada espacialmente con el basalto tardío, pero carece de relaciones estratigráficas claras, como otras unidades volcánicas a lo largo del Canal de Panamá. La Formación Ciudad de Panamá no ha sido fechada radiométricamente, pero se entromete en lo que Stewart y Stewart trazaron como la Formación La Boca.

La Formación La Boca ha sido interpretada como la parte inferior de la Formación Culebra, que tiene una edad de aproximadamente 19-20,5 Ma. Sin embargo, lo que ha sido mapeado previamente como Formación La Boca, cerca de la desembocadura del Canal de Panamá, es litológicamente diferente.

La Formación Culebra en la parte central del Corte Culebra está compuesta de areniscas marinas grises sucios con intercalaciones de piedra caliza, mientras que cerca de la desembocadura del Canal de Panamá en el Pacífico, los tapones dacíticos se inmiscuyen en tobas y rocas sedimentarias volcanoclásticas. Por lo tanto, el vínculo estratigráfico de las rocas del corte Culebra central con

la desembocadura del Canal no es particularmente fuerte. Sin embargo, debido a la asociación espacial y los vínculos geoquímicos con el basalto tardío, la interpretación es que, las rocas de la Formación Ciudad de Panamá se encuentran entre las más jóvenes a lo largo del Canal.

El cuerpo volcánico más grande es la dacita del Cerro Ancón. Forma la colina de mayor importancia topográfica en la ciudad de Panamá y está compuesta casi en su totalidad por una dacita / riolita porfídica de grano fino. La dacita del cerro Ancón contiene fenocristales euédricos de plagioclasa mayoritariamente con feldespato de potasio.

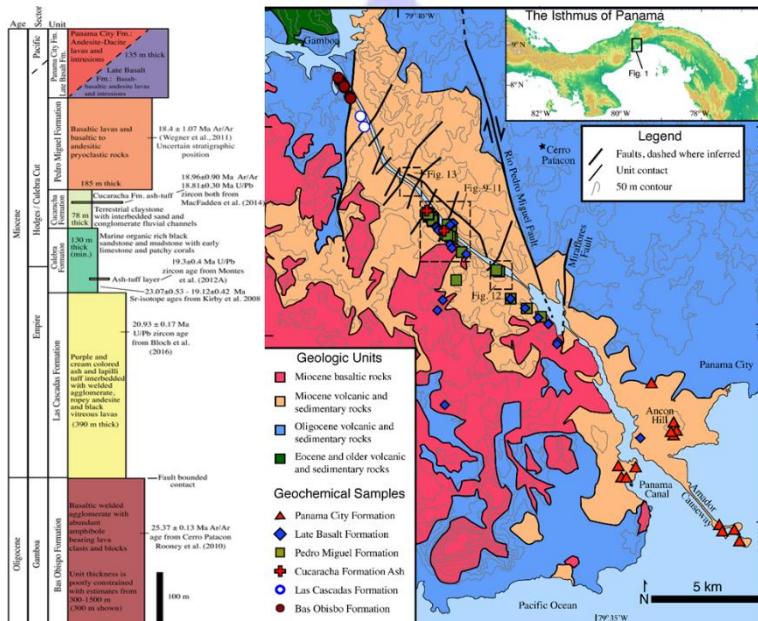


Figura 13: Columna estratigráfica de las secuencias Volcánicas y sedimentarias en el Canal de Panamá. (Farris D. A. et al 2017).

12. Características del Suelo

Desde el punto de vista de la sismología, cuyo interés es conocer, en primera instancia, los parámetros básicos de los terremotos; ya sean su ubicación magnitud profundidad. Pero, igualmente, se interesa conocer cuál es la fuente que generó ese sismo, la dinámica del interior de la Tierra, la velocidad, el desplazamiento y la aceleración del suelo, entre otros aspectos, siempre en colaboración con especialistas de otras materias interesados en la temática.

En este sentido, en el Instituto de Geociencias, ha trabajado de manera interdisciplinaria e interinstitucional, con el objetivo de lograr definir ciertas condiciones del comportamiento de los suelos cuando hay una perturbación de este provocada por un sismo. Tal es el caso de los estudios

de aceleración máxima probable (PGA) para distintos períodos de vibración del suelo, al momento de ocurrir un terremoto.

Estos datos muy útiles para el diseño de estructuras y obras civiles, permite identificar las máximas aceleraciones de un lugar, según la fuente sismogénica asumida y que genere un sismo característico, refiriéndose esto último, a la máxima magnitud que podría alcanzar una falla.

Los mapas de aceleraciones máxima probable, la figura 14 muestra como serían las aceleraciones para el país, para 2 tipos de períodos de vibración del suelo y periodo de retorno a 2 500 y 500 años.

En ambos casos las máximas aceleraciones se localizarían hacia el oeste de Panamá, en lo que se conoce como la Zona de la Fractura de Panamá y la zona caribeña de Bocas del Toro, que es la zona de mayor actividad sísmica del país. Otras zonas con aceleración intermedia serían la región de Azuero Soná y la región de Darién y parte del Caribe. La región de Panamá central presentaría los valores más bajos de aceleración de los suelos.

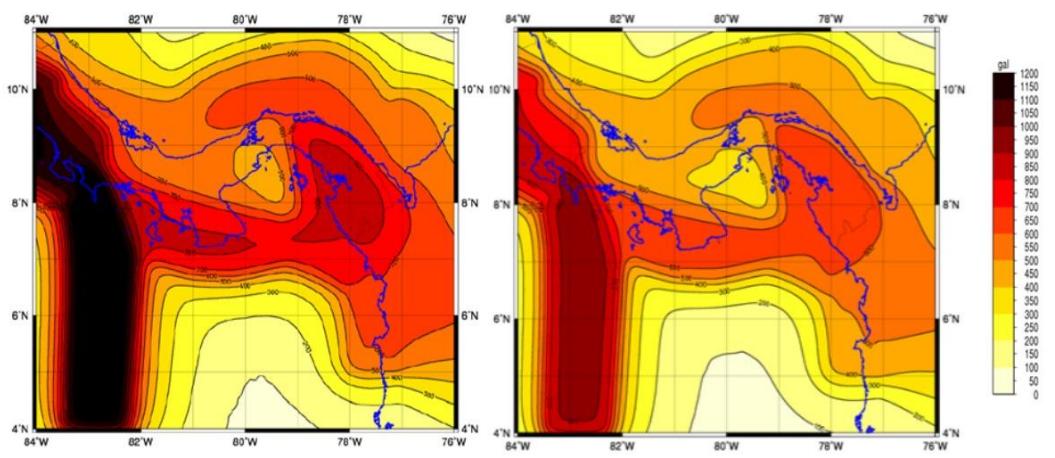


Figura 14: Mapa de la aceleración máxima del suelo para 0.2 seg. y 1.0 seg. En períodos de retorno de 500 y 2500 años respectivamente (IGC 2015).

Los resultados de los estudios realizados por el Instituto de Geociencias y publicados en el año 2015 en que se tiene la evaluación probabilística de riesgo en la ciudad de Panamá para los portafolios educación y salud utilizando el Software CAPRA y para el cual era prioritario realizar la microzonificación sísmica de la ciudad de Panamá, tiene como valoración de las condiciones locales del suelo, la amplificación del ruido natural y la frecuencia fundamental o el periodo de vibración de los suelos.

Como resultado (ver figura 15) se obtuvo el mapa de la respuesta dinámica de los suelos en la ciudad de Panamá, donde los suelos de color azul son más duros (menor amplificación) y se asocia a productos volcánicos, y en su defecto a las colinas y lomeríos dentro de la ciudad de Panamá. Las zonas con color amarillo, se define como suelos de transición y en contacto con el depósito volcánico.

Las zonas donde el resultado está en color verde representan suelos blandos con amplificación bastante elevada. Y en color rojo los suelos con una respuesta dinámica de alta amplificación vinculada a zonas de relleno, zonas de sedimentos marino costero o planicies aluviales.

La respuesta obtenida hacia la zona de Balboa, margen este del canal, se observa que los suelos tienen una mayor amplificación. No se realizaron mediciones hacia el oeste del canal, ni se hizo una descripción de la geología de la región para así definir la dureza de los suelos.

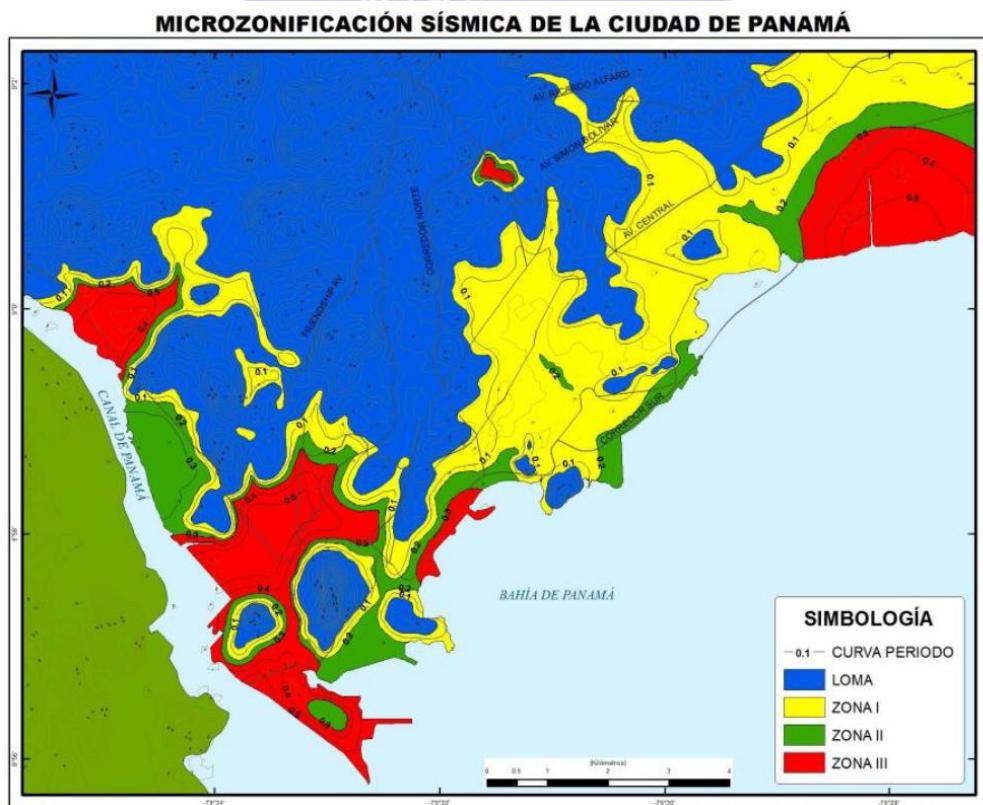


Figura 15: Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Panamá realizada por el Instituto de Geociencias 2015.

13. Bibliografía

- Adamek, S., Frohlich, C., Pennington, W.D., 1988. Seismicity of the Carib-bean-Nazca boundary; constraints on microplate tectonics of the Panama region. *J. Geophys. Res.* 93, 2053- 2075.
- Álvarez Gómez José A., Henar Jorde Alonso y Martínez Díaz José J.– 2019 - Evolución Tectónica de Centroamérica.
- Anthony G. Coates, Marie-Pierre Aubry, William A. Berggren, Laurel S. Collins and Michael Kunk.Early. 2003. Neogene history of the Central American arc from Bocas.
- Buchs David M., Henry Coombs, Derek Irving, Jian Wang, Anthony Koppers, Roberto Miranda, Maurylis Coronado, Arkin Tapia, Samuel Pitchford. 2019. Volcanic shutdown of the Panamá Canal area following breakup of the Farallon plate. *J. Lithos* 334–335, 190–204.
- Camacho E, Víquez V. 1994. Licuefacción y hundimientos costeros en el noroeste de Panamá durante el Terremoto de Limón – Revista Geológica de América Central.
- Camacho Eduardo, Vilma Víquez. 1993. Historical seismicity of the north Panama deformed belt.
- Camacho, A. y otros April 2012. A New Evaluation of Seismic Hazard for the Central America Region, Benito, B., Bulletin of the Seismological Society of America 102(2):504-523.
- Catálogo sísmico 2018. Instituto de Geociencias, Universidad de Panamá. – mayo 2021.
- Ciencia y Educación 2010.
- De Boer , J. Z. , Defant, M. J. Stewart, R Bellon (1991). Evidence for active subduction below western Panamá, *Geology* 19, 649-652.
- Cowan, H.A., M.N. Machette, K.M. Haller, & R.L.Dart, 1998. Map of Quaternary Faults and Folds of Panamá and its Offshore Regions, U.S. Geological Survey Open-File Report 98-779.
- DeMets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F., Stein, S., 1990. Current platemotions. *Geophys. J. Int.* 101, 425-478.
- Duque-Caro, H., 1990. The Choco Block in the northwestern corner of South America; structural, tectonostratigraphic, and paleogeographic implications. *J. South Am. Earth Sci.* 3, 71- 84.
- Fan, G., Beck, S. & Wallace, T.: The Seismic Source Parameters of the 1991. Costa Rica Aftershock Sequence: Evidence for a Transcurrent Plate Boundary. - *J. Geoph Res.* 98, B9: 15,759-15,778. 1993.
- Farris D, A. Cardona, C. Montes, D. Foster, C. Jaramillo. 2017. Magmatic evolution of Panamá Canal volcanic rocks: A record of arc processes and tectonic change.
- Freymueller, J.T., Kellogg, J.N., Vega, V. Plate motions in the North Andean Region. *J. Geophys. Res.* 98, 21853± 21863. 1993.
- Gath, Eldon, Tania Gonzalez, Thomas Rockwell, and Pastora Franceschi. 2016. Tectonic Geomorphic
- Geologic map of the Panama Canal and vicinity, Republic of Panama. <https://doi.org/10.3133/i1232>.
- Gonzalez Tania, Eldon Gath, and Tom Rockwell. 2010. Neotectonics and Paleoseismology of the Limón and Pedro Miguel Faults in Panamá: Earthquake Hazard to the Panama Canal. Earth Consultants International. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 100, No. 6, pp. 3097–3129, December.
- Güendel, F. & Pacheco, J,: The 1990-1991 Seismic sequence across central Costa Rica: evidence for the existence of a micro-plate boundary connecting the Panamá deformed

- belt and the Middle America Trench [abs.]. - EOS, Transactions American Geophysical Union, 73: 399, 1992.
- Kellogg, J.N., Vega, V., 1995. Tectonic development of Panama, Costa Rica, and the Colombian Andes: constraints from global positioning system geodetic studies and gravity. In: Mann, P. (Ed.). 2007. Geologic and Tectonic Development of the Caribbean plate Boundary in Southern Central America. GSA Special Paper, 295.
 - Kirby Michael Xavier; Jones Douglas S; MacFadden Bruce J. 2008. Lower Miocene Stratigraphy along the Panama Canal and Its Bearing on the Central American Peninsula.
 - Lonsdale, P., Klitgord, K.D., 1978. Structure and tectonic history of the eastern Panamá Basin. *Geol. Soc. Am. Bull.* 89, 981-999.
 - Mapa Geológico de la República de Panamá, Panamá. Dirección General de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industrias. 1976.
 - Martin Meschede, Udo Barckhausen & Horst-Ulrich Worm. 2011. Desarrollo del centro de dispersión entre las placas de coco y nazca y los trazos de los puntos calientes. *Revista Geológica de América Central*, 23: 5-16.
 - Mendoza C.; S. Nishenko. 1989. The north Panamá earthquake of 7 September 1882: Evidence for active underthrusting. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79 (4): 1264–1269.
 - Meschede Martin and Udo Barckhausen. Silver, E.A., Kimura, G., and Shipley. 2000. The plate tectonic evolution of the Cocos-Nazca spreading center., T.H. (Eds.) *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results Volume 170*.
 - Modelación probabilista de riesgo sísmico para la ciudad de Panamá (Panamá), portafolios de educación y salud, Instituto de Geociencias, Universidad de Panamá. 2015.
 - Montero, W., Camacho, E., Espinosa, A. F., & Boschini, I. (1994). Sismicidad y Marco Neotectónico de Costa Rica y Panamá. *Revista Geológica de América Central, Volumen Especial. Terremoto del Limón*, 73-82.
 - Montes Camilo, Bayona G Cardona A; Buchs D.M; Silva C. A; Morón S; Hoyos N; Ramírez D A; Jaramillo C A; and Valencia V. 2012. Arc-continent collision and orocline formation: Closing of the Central American seaway. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 117.
 - Paul Mann, Schubert Carlos, Burke Kevin. The Geology Society of America, 1991. Review of Caribbean neotectonic. Chapter 12. <https://doi.org/10.1130/DNAG-GNA-H.307>.
 - Pennington, W.D., 1981. Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of northwestern South America. *J. Geophys. Res.* 86,10753-10770.
 - Plafker G, SN Ward - Tectonics, 1992. Sea coast during the april 22, 1991. Costa Rica earthquake.
 - Ponce, D. A. & Case, J. E. 1987. Geophysical interpretation of Costa Rica. In U.S. Gdol. Surv.
 - Proyecto de Modelo Neotectónico de cooperación entre el U.S. Geological Survey, el Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá, la Agencia Sueca para Investigaciones Cooperativas con Naciones en Desarrollo (SAREC), y NORSAR, Norway Datos compilados por Hugh Cowan, representacion digital por Richard L. Dart, y proyecto coordinado por Michael N. Machette (Co-chairman, ILP Grupo de Trabajo II-2), 1998.
 - Saskia D. B. Goes, Aaron A. Velasco, Susan Y. Schwartz, Thorne Lay. 1993. The April 22, 1991, Valle de la Estrella, Costa Rica ($M_w = 7.7$) earthquake and its tectonic implications: A broadband seismic study. *Journal of geophysical Research. Solid Earth*.
 - Schweig E., Cowan, H., Gombers J., Pratt T., TenBrink A., 1999. Desing Earthquake for the evaluation of seismic hazard in the Gatun Dam.

- Scott Adamek, Cliff Frohlich, Wayne D. Pennington. 1988. Seismicity of the Caribbean-Nazca Boundary: Constraints on microplate tectonics of the Panamá region. *Journal of geophysical Research. Solid Earth*.
- Silver EA r, J Galewsky, KD McIntosh. 1995. Variation in structure, style, and driving mechanism of adjoining segments of the North Panama deformed belt. *Geological Society of America*.
- Silver Eli A., Donald L. Reed, Jill E. Tagudin, Darla J. Heil. 1990. Implications of the North and South Panamá Thrust Belts for the origin of the Panamá Orocline. – AGU.
- Silver, E.A., Reed, D.L., Tagudin, J.E., Heil, D.J., 1990. Implications of the north and south Panama thrust belts for the origin of the Panamá Orocline. *Tectonics* 9, 261± 281.
- Silver, E.A., Reed, D.L., Tagudin, J.E., Heil, D.J., 1990. Implications of the north and south Panamá thrust belts for the origin of the Panamá Orocline. *Tectonics* 9, 261-281.
- Stewart, R. H. and Stewart, J. L. – 1980 - Mapa geológico del Canal de Panamá y sus alrededores, República de Panamá. Compilado por R. H. y J. L. Stewart; con la colaboración de W. P. Woodring.
- The Star and Herald, 1882.



UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
INSTITUTO DE GEOCIENCIAS