

Tomografía sísmica del “volcán Barú” y alrededores, Provincia de Chiriquí, Suroeste de Panamá

Daphne Katherine Sagel Aguilar

Directores:

*Prof. Dra. Inmaculada Serrano Bermejo
Universidad de Granada-Instituto Andaluz de Geofísica*

*Prof. Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia
Universidad de Panamá-Instituto de Geociencia*

RESUMEN El objetivo principal de este estudio es identificar la estructura interna del volcán Barú utilizando tomografía sísmica. El uso de la tomografía sísmica nos ayudará a revelar dicha estructura de acuerdo a los tiempos de viajes de las ondas P en su interior. Por medio de su uso podemos determinar si existe material fluido, (si los residuos de tiempos de viajes son negativos) marcando anomalías negativas, al igual si existe material compacto o sólido (si los residuos de tiempos de viajes son positivos) marcando anomalías positivas, tomando en cuenta la cobertura de rayos que se tienen. Dado el caso de encontrar anomalías negativas, podríamos asociarlas con la cámara magmática del volcán Barú.

Las imágenes tomográficas muestran heterogeneidades en la estructura interna del volcán Barú, las cuales se deben a la compleja evolución, subducción y tectónica de la zona. Se ha determinado una posible cámara magmática al oeste del Barú y se extiende hacia el suroeste. En las costas del Pacífico se observan anomalías positivas que se podría asociar con la Zona de Fractura de Panamá que continúa subduciendo bajo tierra firme a lo largo de Punta Burica y Puerto Armuelles, pudiéndose determinar que la gran sismicidad de esta zona está relacionada con ella. Todos estos hallazgos son importantes para el conocimiento de la sismotectónica del suroeste panameño y la estructura del volcán Barú; sin embargo, se deben contemplar realizar más estudios de la zona, plantearse investigaciones en un área más amplia de la zona, que incluya el punto triple de Panamá y la parte sureste de Costa Rica.

Palabras claves: tomografía sísmica, anomalías de velocidad, corteza, sismicidad, Placa Nazca, Placa Cocos.

INTRODUCCIÓN

En Panamá se encuentran cuatro volcanes del Pleistoceno: El Valle en Coclé, La Yeguada en Veraguas, y en la provincia de Chiriquí El Tisingal (Colorado) y El Barú. De todos estos el Barú ha tenido erupciones en el Holoceno (Sherrod et al 2007) y estudios recientes consideran que El Valle no está extinto (Knutsen, 2013).

El volcán Barú tiene registrado cuatro episodios eruptivos en los últimos 1600 años aproximadamente, teniendo una recurrencia de 400 a 500 años entre cada uno. Estudios radiactivos y diversas observaciones históricas revelan evidencias de la actividad reciente del volcán Barú que incluye jóvenes depósitos volcánicos que cubren Boquete y Horqueta, observándose un gran cráter en forma de herradura que

cubre un área de 20 a 30 km² que aconteció en las siguientes erupciones, teniendo como consecuencia un colapso volcánico y avalancha de escombros (Sherrod et al, 2007; Herrich et al, 2011).

En mayo de 2006 ocurrió un episodio de enjambres sísmicos, y estudios de esos enjambres sísmicos arrojan mecanismos focales que pueden estar asociados a la migración de flujo magmático del volcán Barú (Camacho, 2009).

El suroccidente de Panamá es atravesado por diversas fallas y zonas de fractura, entre ellas están la zona de fractura de Panamá, la zona de fractura de Coiba y la zona de fractura de Balboa, siendo la más activa la zona de fractura de Panamá, ésta constituye el límite entre la placa de Cocos y la placa de Nazca en el océano Pacífico. La zona de fractura de Panamá subduce en la fosa de Panamá hasta internarse debajo del Bloque de Panamá desviándose hacia el oeste en tierra firme (Camacho, 1991), causando la gran cantidad de sismos que se registran en esta zona.

El sur occidente de Panamá brinda un escenario único para entender la complejidad de los procesos tectónicos de colisión y subducción; así como de los fenómenos asociados, como por ejemplo, el vulcanismo y la sismicidad. Por lo tanto, los sismos ocurridos en esta zona, constituyen un grandioso laboratorio natural, que nos van a permitir investigar y definir la Sismotectónica y los procesos internos del volcán Barú, mediante la tomografía sísmica que tiene como fundamento el uso de los datos procedentes de ondas sísmicas, donde se puede representar la estructura interna de la tierra en base a los tiempos de llegada de las ondas sísmicas.

El uso de la tomografía sísmica nos ayudará a revelar la estructura interna del volcán Barú, de acuerdo a los tiempos de viajes de las ondas P en su interior. Por medio de su uso podemos determinar si existe material fluido marcando anomalías negativas, al igual si existe material compacto o sólido marcando anomalías positivas. Dado el caso de obtener anomalías negativas, podríamos asociarlas con la cámara magmática del Barú; siendo el objetivo principal, el estudio de la estructura interna del volcán Barú para determinar una posible cámara magmática.

Finalmente, este estudio aportará el conocimiento sobre la estructura interna del volcán Barú y la sismotectónica del suroccidente de Panamá, dejando las puertas abiertas a nuevas aportaciones en la comprensión y dinamismo, permitiendo avanzar hacia la validación y mejora de los planes de emergencia de las zonas aledañas al Barú, con los cuales resultarían menos pérdidas humanas en futuras erupciones.

METODOLOGÍA

En este estudio utilizamos el modelo de inversión 3D de Zhao et al (1992) con la diferencia que en sus inversiones utilizan discontinuidades 3D, nosotros utilizamos discontinuidades 2D, ya que en este modelo 2D se utilizan capas planas, es decir, se definen las profundidades constantes.

Establecemos dos discontinuidades a 8.2 y 20 km de profundidad; de manera que en caso que exista una cámara magmática en el volcán Barú logre detectarse y las cuales se mantendrán fijas en el proceso de inversión. En este modelo, no se utilizan métodos para las correcciones de estaciones sísmicas, ya que cualquier anomalía local cercana a

estas estaciones, puede ser resuelta como anomalías de velocidad de los nodos de la red de la capa superior en 0 km de profundidad (Zhao et al., 1992).

Para la inversión tomográfica 3D del occidente de Panamá y alrededores, se seleccionaron 1057 eventos tectónicos locales ocurridos desde enero de 2011 hasta abril de 2015, localizados con las llegadas de las ondas P y S (en este estudio utilizaremos solo las primeras llegadas). Utilizamos 418 estaciones sísmicas de banda ancha, sismógrafos de corto periodo de tres y una componente, de ellas 83 desplegada en el territorio panameño pertenecientes al Instituto de Geociencia de Panamá (I.G.C.) y 335 internacionales. Estos 1057 eventos se seleccionaron usando los niveles de calidad:

1. Solo se seleccionan los terremotos que se registran en un mínimo de 5 estaciones.
2. Solo se seleccionan las estaciones sísmicas a las que llegan un mínimo de 5 terremotos.
3. Solo se seleccionan los residuos de tiempo de viaje menores a 0.150 s.

Para realizar una inversión tomográfica, se requiere de un modelo inicial de velocidad de ondas sísmicas. Para ello, se procedió a definir un modelo de velocidades sísmicas mínimo 1D, aplicando la metodología de Kissling et al (1994). Esta metodología realiza una inversión 3D, a partir de un modelo 1D inicial. Luego, estos resultados 3D de velocidades son generalizados y convertidos a 2D. Después de una serie de iteraciones, se obtiene un modelo mínimo 1D, el cual es usado como el modelo de velocidades de entrada para la inversión final 3D, con el método de Zhao et al (1992).

Se crea el modelo de velocidad para la zona de estudio utilizando el mismo del I.G.C. de Panamá para la localización de los terremotos, el cual representa el punto de partida para la inversión tomográfica, mostrado en la tabla 1:

Capas	Espesor (km)	V _p (km/s)
Primera	8,2	5,1
Segunda	20,0	6,7
Semi espacio	-	7,3

Tabla 1. Modelo de velocidad para el estudio.

ANÁLISIS DE RESOLUCIÓN: COBERTURA DE RAYOS O HIT COUNT

Estos mapas describen la cantidad de rayos que pasan por cada nodo de la rejilla en las diferentes capas de este estudio, lo que nos proporcionará la veracidad de los resultados.

Para las primeras capas de 2, 4 y 6 km de profundidad, la cobertura de rayos es muy buena, tanto en profundidad como en el número de estaciones que están distribuidas en la zona de estudio.

Las siguientes capas de 8, 10 y 15 km, tienen mejor cobertura hacia el suroeste del Barú, cubriendo las zonas cercanas al océano Pacífico, que determinan anomalías positivas obtenidas mejor a los 8 km de profundidad.

Para las últimas capas de 20 y 25 km la mejor cobertura de rayos se centra en las costas de Puerto Armuelles (océano Pacífico), donde entra la Zona de Fractura de Panamá.

INTERPRETACIÓN DE LAS IMÁGENES

En la primera capa de 2 km obtenemos uno de los resultados más importantes, una anomalía negativa (-6%) cercana al volcán Barú que se podría relacionar con los primeros cambios de temperatura haciendo referencia a una posible cámara magmática calculándose un área de 30 km². A medida que incrementa la profundidad esta posible cámara magmática aumenta su tamaño (hasta los 303 km²) y tiende a desplazarse hacia el suroeste del Barú. (Figura 1)

Otra importante anomalía negativa se obtiene desde los 2 km hasta los 8 km de profundidad, localizada al sureste del Barú, cercana al Embalse Barrigón con un área de 181 km², siendo una región indudable de interés para de futuro estudios.

Desde los 8 km a los 25 km se obtiene una anomalía negativa hacia el suroeste, cercana a las costas del Pacífico, ésta podría estar asociada con la zona de fractura de Panamá que se interna bajo el bloque de Panamá, y es considerada por varios autores la principal causante de los sismos en la región de Puerto Armuelles. (Figura 2)

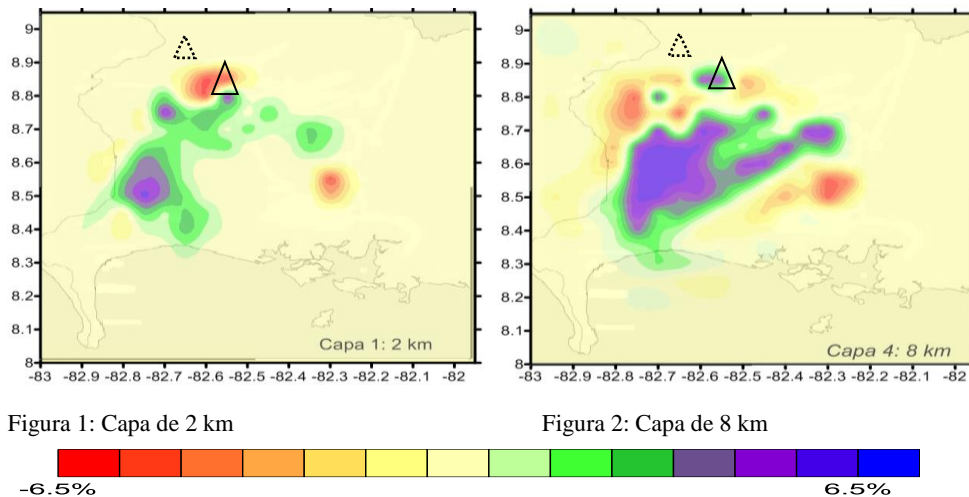


Figura 1: Capa de 2 km

Figura 2: Capa de 8 km

Color rojo: áreas más calientes (anomalías sísmicas donde la velocidad de la onda es menor a la media).

0 %

Color azul: áreas más frías (anomalías sísmicas donde la velocidad de la onda es mayor a la media).

△ Volcán Tisingal △ Volcán Barú

AGRADECIMIENTO:

Los datos para la realización de este trabajo de fin de master fueron brindados por el Director del I.G.C. de Panamá el Doctor Eduardo Camacho.

A la Doctora Inmaculada Serrano por brindar los conocimientos y ejecución del proceso de Tomografía Sísmica.

Al Instituto Andaluz de Geofísica por abrir sus puertas y brindarnos el equipo y programas necesarios para la realización de este proyecto.

REFERENCIAS:

1. Camacho, E., 1991: The Puerto Armuelles Earthquake (Southwestern Panama) of July 18, 1934. *Rev. Geol. Amér. Central*, 13: 1-14.
2. Camacho, E., 2003. Sismotectónica del extremo norte de la Zona de Fractura de Panamá. Universidad de Panamá, Laboratorio de Geofísica e Hidrogeología.
3. Camacho, E., 2009. Sismicidad de las Tierras Altas de Chiriquí. IGC, Panamá; U.N.A.M, México.
4. Herrick, Julie A., 2011. "Recurrent voluminous sector collapses at Volcán Barú, Panama", Master's Thesis, Michigan Technological University. <http://digitalcommons.mtu.edu/etds/324>.
5. Kissling, E., Ellsworth, W.L., Eberhart-Phillips, D., Kradolfer, U., 1994. Initial reference models in local earthquake tomography. *J. Geophys. Res.* 99, 19635–19646.
6. Knutsen, K. L., W. I. Rose y B. Jicha (2013). La Yeguada Volcanic Complex in the Republic of Panama: An assessment of the geologic hazards using $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology. *Revista Geológica de América Central*, 49: 7-23.
7. Sherrod, D.R., Vallance, J.W., Tapia Espinosa, A., McGeehin, J.P., 2007, Volcán Barú: eruptive history and volcanic-hazards assessment: U.S.G.S. Open-File Report 2007.
8. ZHAO, D. and H. KANAMORI, 1992. P-wave image of the crust and uppermost mantle in southern California. *Geophysical Research Letters*, v 19, no. 23, 2329-2332.