

**SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES**

**MONITOREO DEL VOLCÁN TACANÁ
2018**

Subdirección de Riesgos Volcánicos
Dirección de Investigación

CONTENIDO:

Introducción

Historia eruptiva del volcán Tacaná y peligros asociados

Monitoreo sísmico

Monitoreo hidrogeoquímico

Conclusiones y recomendaciones

Agradecimientos

Referencias

Notas

INTRODUCCIÓN.

El Volcán Tacaná es un estratovolcán andesítico pleistocénico que tiene una altura de 4,060 msnm y un volumen estimado en 30 km³. Se localiza entre la frontera de México y Guatemala, en las coordenadas geográficas 15°7'50.65"N, 0.92° 6'33.45"W (Figura 1).

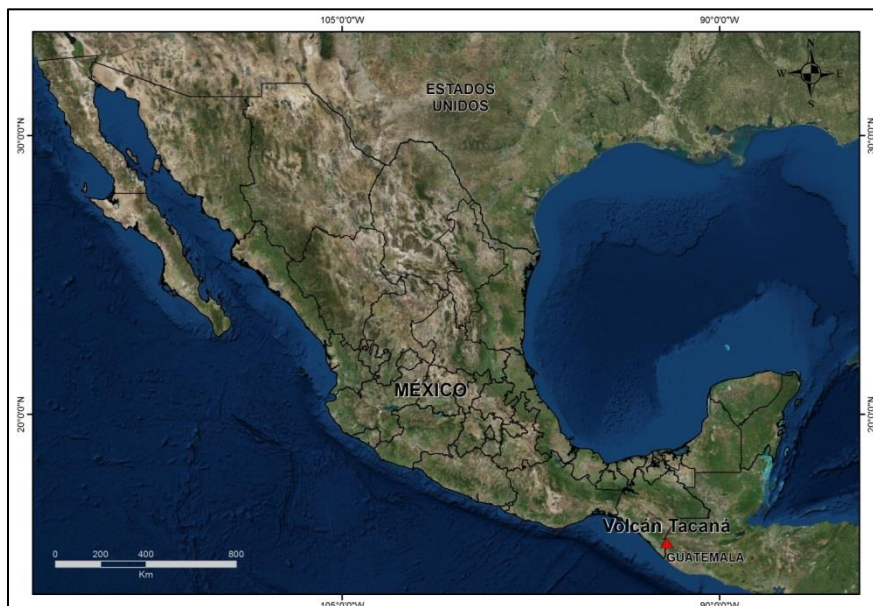


Figura 1 Localización del volcán Tacaná en la frontera entre México y Guatemala

Este volcán forma parte del Complejo Volcánico Tacaná (CVT), el cual consiste en una estructura principal formada de cuatro edificios volcánicos: el Chichuj (3,800 msnm), el Tacaná (4,060 msnm), el Plan de las Ardillas (3,780 msnm) y San Antonio (3,700 snm).

Este complejo forma parte de la zona occidental de los grandes volcanes del Arco volcánico Centroamericano (AVC) (Macías *et al.*, 2000), junto al Tajumulco, asociados a la zona de subducción entre la Placa de Norteamérica, Placa de Cocos y Placa del Caribe (Guzmán-Speziale *et al.*, 1989 y García-Palomo *et al.*, 2006).

HISTORIA ERUPTIVA DEL TACANÁ Y PELIGROS ASOCIADOS

La actividad del Complejo Volcánico Tacana inició en el Pleistoceno tardío (40,000 años antes del Presente (a.P.)), con la formación del volcán Chichuj, que posteriormente colapsó. Después, derrames de lava cubrieron el colapso y formaron el volcán Tacaná, acompañado de domos andesíticos y dacíticos. Un nuevo emplazamiento de lava formó el edificio Plan de las Ardillas. La cuarta estructura, nombrada San Antonio, se formó con flujos de lava y domos, y se destruyó en una erupción tipo peleana. Las estructuras están alineadas de noreste a suroeste y están asentadas en el interior de las antiguas calderas San Rafael (2.0 millones de años Ma) y Chanjale (1.0 Ma) (García-Palomo *et al.*, 2006).

La secuencia siguiente pertenece al Tacaná; consiste en derrames de lava andesítica-basáltica, flujos de cenizas y bloques, y lahares; un segundo colapso se presentó en el Tacaná, produciendo una avalancha de escombros depositados en los barrancos alrededor del volcán. Le sobreyace la secuencia Plan de las Ardillas, que consiste en un domo central con derrames de lava andesíticos sobre los flancos noroeste y sureste. La cuarta secuencia, San Antonio, se formó con flujos de lava y domos dacíticos y andesíticos, y culminó con una erupción tipo peleana hace 1,950 años. (Macías *et al.*, 2000, 2011; Mora *et al.*, 2004; Borjas 2006; García-Palomo *et al.*, 2006 y Arce *et al.*, 2012).

Se tiene un registro de eventos fumarólicos desde 1855, este tipo de eventos en el volcán ocurren con una frecuencia de 25 a 50 años. Hubo otros eventos de este tipo en 1878, 1900–1903 y 1949–1950 (Mooser *et al.* 1959) y en 1986 (De la Cruz Reyna, 1989). En la actividad de 1949–1950 se produjo caída de cenizas, que se dispersó a ocho kilómetros hacia el sureste, sobre el poblado Unión de Juárez (Müllerried, 1951). La reactivación del volcán el 8 de mayo de 1986 se manifestó con explosiones freáticas que generaron un cráter de 10 metros de anchura. Dicha actividad fue acompañada de un enjambre de sismos, dañando poblaciones como Sibinal, Ixchiguán, Calapté, Toacá, Vega del Volcán y Sanajaba en la región de Guatemala (Mercado y Rose, 1992). También detonó flujos de lodo y lahares, que descendieron sobre las barrancas en ambos países.

Erupción de 1949-1950

El 22 de diciembre de 1949, ocurrió en el volcán Tacaná un fuerte sismo. En los siguientes días, los residentes del área observaron columnas de vapor blanco elevándose sobre la cima del volcán y caída de ceniza en las afueras del poblado Unión Juárez. Según Müllerried (1951) las emanaciones de esta erupción tuvieron lugar a través de 16 bocas eruptivas localizadas en tres sitios al SW de la cima. Las bocas tenían diámetros variables entre 2 y 4 m y en ocasiones se alcanzaban a ver el fondo de hasta 4 m de profundidad; en otras fumarolas era posible escuchar ruidos como de locomotora. De estas bocas eruptivas se levantaban columnas de humo transparente a blanco con ácido sulfuroso y cloruros (Mooser, *et al.*; 1985).



Figura 2 Columna de vapor de agua del volcán Tacaná en Diciembre de 1949. Fotografía tomada desde la plaza principal de Tapachula

Erupción de 1986

Después de 35 años de reposo, entre los días 15 y 16 de diciembre de 1985, el volcán Tacaná experimentó una serie de sismos (De la Cruz-Reyna *et al.*, 1989). El 19 de diciembre de 1985, un terremoto de magnitud 5, cerca de Ixchiguan (15.18° N, 91.99° W), a unos 15 km del sector ENE del volcán, causó daños menores a 60 casas y una escuela construida con concreto. Este evento fue seguido por una serie de réplicas que habían terminado antes del 30 de enero de 1986, por lo que se instaló una red sísmica portátil en la localidad de Agua Caliente, al noroeste de la cima del volcán.

El 3 de febrero de 1986, un terremoto de magnitud 5 produjo un daño moderado a 500 casas de adobe en las localidades de Ixchiguan localizado a 25 km ENE del cráter en Guatemala, (De la Cruz-Reyna *et al.*, 1989). Después la actividad sísmica decreció, pero persistió a niveles bajos por siete semanas, con epicentros localizados entre 15 y 25 km desde el este al ENE del cráter. La serie de terremotos de poca profundidad cerca del volcán continuó hasta principios de marzo de 1986. No hubo cambios aparentes en las fumarolas del volcán. Para completar el registro sísmico permanente (localizado de 30km al suroeste, a 80 km al norte del volcán, cerca de Tapachula y Comitlán), se instalaron instrumentos sísmico portátiles a 27 km al noroeste del volcán (Motozintla) y a 6 km al sur de la cima (Unión Juárez). La mayoría de los eventos se centraron en la zona de subducción, al norte de Guatemala. Otros eventos se originaron en

un sistema de fallas, al noreste del volcán, en Guatemala, (De la Cruz-Reyna *et al.*, 1989).

La actividad sísmica incrementó el 7 de mayo de 1986, cuando se registró un intenso enjambre sísmico, que provocó pánico entre la población que vive alrededor del volcán. El 8 de mayo de 1986 ocurrió una erupción freática en el flanco noroeste del volcán, a lo largo de la frontera México-Guatemala, a una elevación de 3,600 msnm (De la Cruz-Reyna *et al.*, 1989). Esta erupción produjo una columna de 1 km de altura (Figura 3), la pluma fue rica en vapor de agua, indicando pocos o nulos componentes juveniles magmáticos (Martíni *et al.*, 1987).



Figura 3 Erupción freática del volcán Tacaná en 1986

Tanto en las explosiones freáticas de 1949 como las de 1986, ocurrieron a lo largo del cráter en forma de herradura, generado hace 10 mil años (Macías *et al.* 2010). La erupción de 1949 ocurrió al sur de la cima del cráter, mientras que la erupción de 1986 ocurrió en la base de la pared norte. Estas erupciones históricas y las manifestaciones geotérmicas actuales localizadas al sureste del poblado Agua Caliente, ocurrieron a lo largo del colapso, reflejando una zona de debilidad del volcán, la cual probablemente corresponda a un sistema de debilidad en el edificio volcánico (Macías *et al.* 2010).

MONITOREO SÍSMICO

El Tacaná está entre los volcanes considerados de mayor riesgo en el país, y sus efectos eruptivos pueden tener consecuencias severas para la población y economía de la región de Chiapas y Guatemala. Por ello, a iniciativa del Servicio Sismológico Nacional (SSN) y del Instituto de Geofísica de la UNAM, con fondos de CONACyT se instalaron en territorio mexicano, en el mes de marzo de 2010,

cuatro estaciones sísmicas triaxiales de banda ancha Guralp CMG-6TD con una capacidad de respuesta de 30 segundos a 50 Hz, distribuidas alrededor del volcán a distancias variables entre 0.4 y 13.3 km de la cima (Figura 4). La transmisión es en tiempo real a la estación central de registro, ubicada en Tapachula y de ahí al SSN. Actualmente sólo quedan en operación tres de las cuatro estaciones, debido a la vandalización de la estación CIMA:

Estación PAVE, ubicada en Pavencul.

Estación PATRIA, ubicada en La Patria.

Estación CHIQ, ubicada en Chiquihuites.

Estación CIMA, ubicada en la cima del volcán. Fuera de servicio.

Estación central, ubicada en la ciudad de Tapachula, Chiapas.

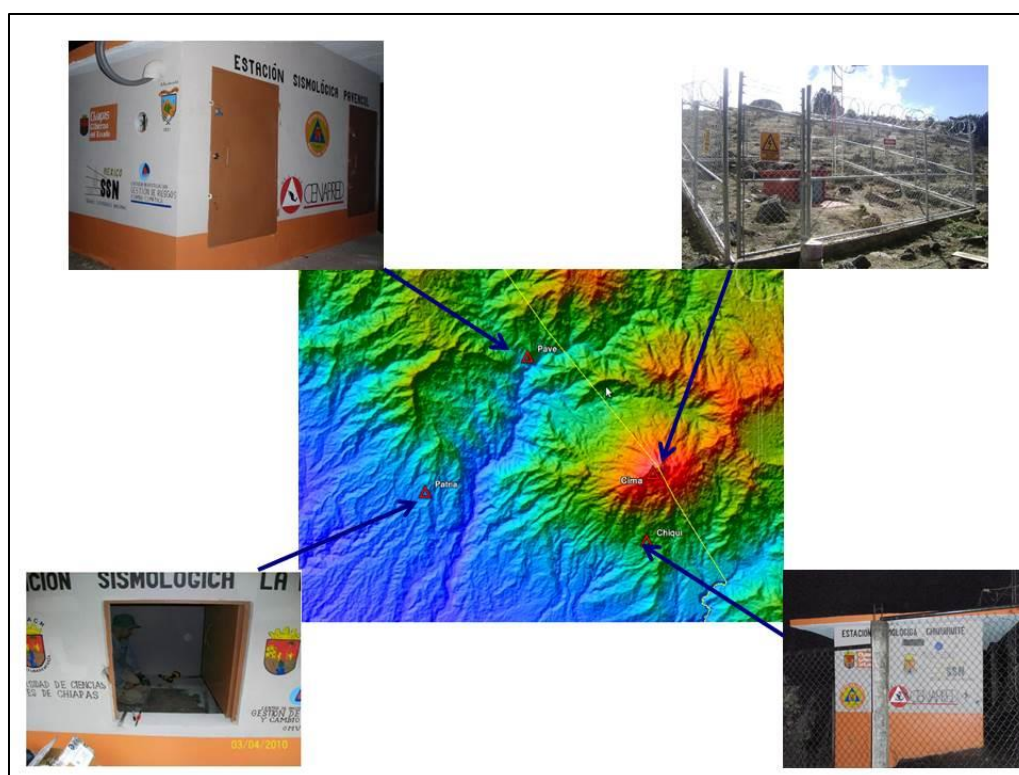


Figura 4 Distribución de las estaciones sísmicas instaladas en el volcán Tacaná

Desde la instalación de la red, cada año se han detectado en promedio alrededor de 350 sismos, en su gran mayoría de tipo tectónico, no asociados con actividad volcánica. Sin embargo, también se han detectado, en promedio, 5 eventos volcanotectónicos al mes, aunque en ocasiones se presentan también en enjambres que pueden incluir algunas decenas de eventos por hora. Estos eventos han sido en general pequeños, alcanzando solo muy ocasionalmente magnitudes de hasta 3.2, y con un promedio alrededor de 2.

Eventos de periodo largo

A partir del mes de junio, además de sismos volcanotectónicos, se identificaron eventos de periodo largo (LP) y segmentos de tremor (Figura 5). De junio a diciembre, en total se contabilizaron 74 eventos LP y 81 segmentos de tremor; de los cuales, de junio a septiembre se registró la mayor cantidad de LPs y segmentos de tremor. El mayor número de eventos registrados en un día fueron 11, para los segmentos de tremor y seis para los eventos LP, mismos que se registraron el 28 de junio y el 4 de julio, respectivamente (Figura 5).

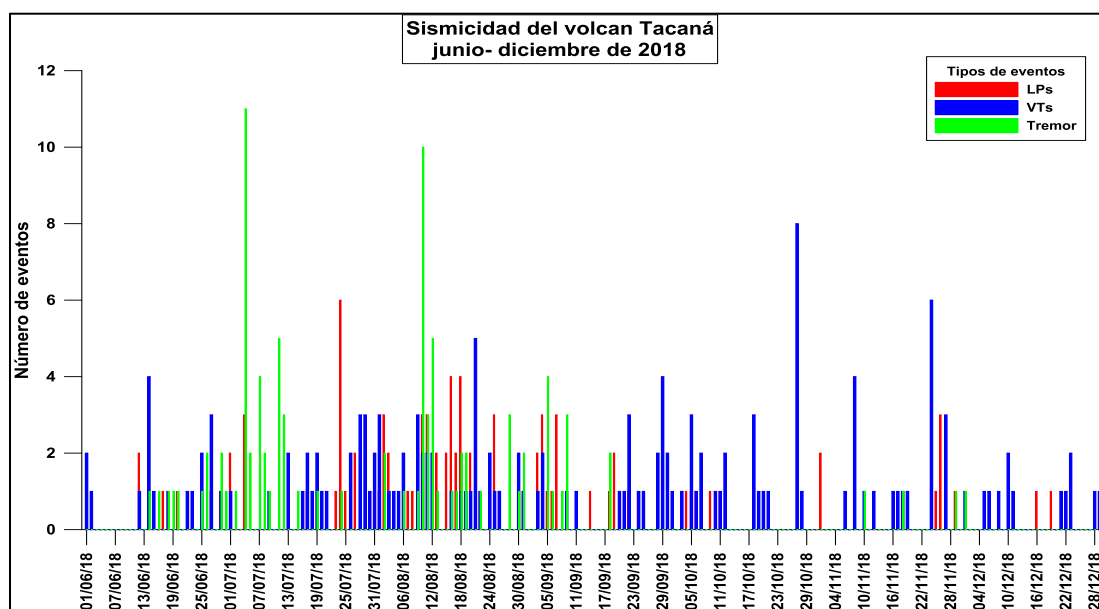


Figura 5 Histograma del número y tipo de eventos registrados en el volcán Tacaná

Las características espectrales, de los eventos LP y segmentos de tremor, se concentran en la banda de frecuencias entre 1.5 y 5 Hz (figuras 6-8). La duración de los LP no superó el minuto y para el tremor se observaron duraciones de hasta dos minutos

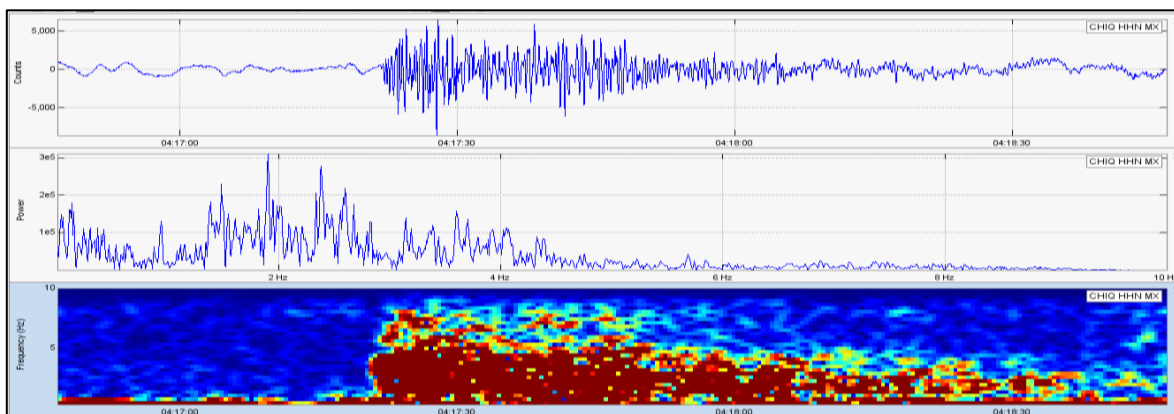


Figura 6 Forma de onda, espectro y espectrograma de una señal tipo LP registrada por la estación CHIQ el 18 de junio de 2018

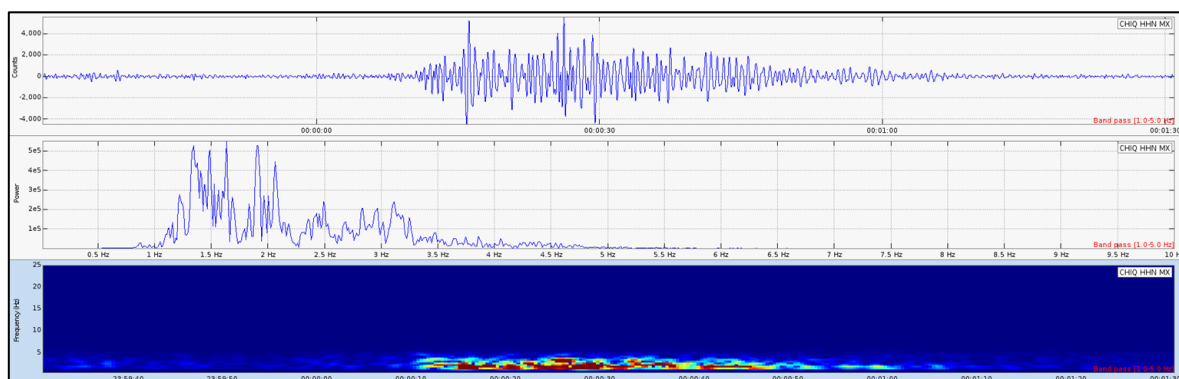


Figura 7 Forma de onda, espectro y espectrograma de una señal tipo LP registrada por la estación CHIQ el 24 de julio de 2018

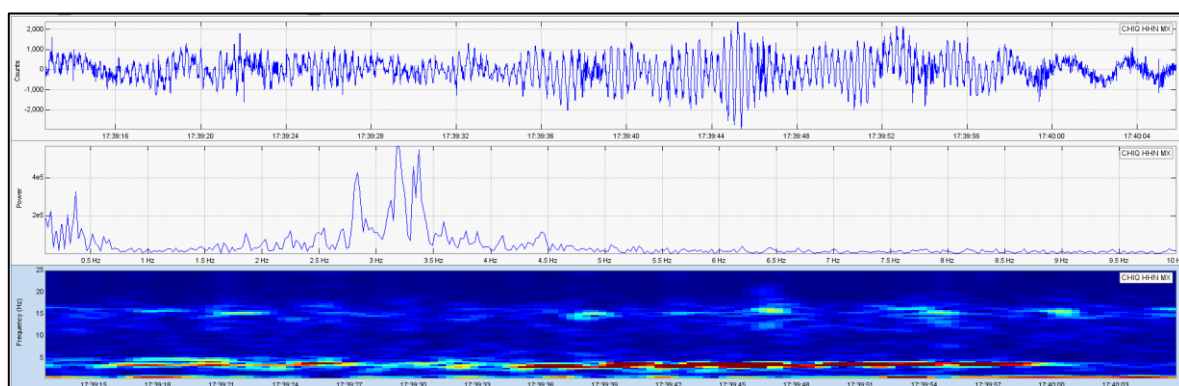


Figura 8 Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tremor registrado por la estación CHIQ el 28 de agosto de 2018

Sismos volcanotectónicos

Durante 2013, se registraron un total de 59 eventos volcanotectónicos, 42 de los cuales superaron la magnitud 2.7 y 3 alcanzaron magnitud 3.6 (Ramos Hernández, 2013). Durante el mes de febrero de ese año ocurrieron 23, que se ubicaron principalmente al oeste y noreste de la cima del volcán.

A lo largo de 2014, la Subdirección de Riesgos Volcánicos contabilizó 66 eventos volcanotectónicos; debido a la lejanía entre estaciones no se realizó la localización de los eventos. La mayoría de los eventos registrados, después del sismo regional registrado el 16 de junio, corresponden a réplicas y están asociados al sistema de fallas Motagua-Polochic.

Para el 2015 se contabilizaron 344 eventos volcanotectónicos, de los cuales se calcularon 156 eventos con magnitudes entre 0.7 y 2.2; muchos de estos eventos solamente se registraron en una estación y esto hace complicada su localización. De las localizaciones obtenidas se observó que existe una zona sismogénica al este del volcán y, como se vio en el 2014, ésta sismicidad está asociada al sistema de fallas Motagua-Polochic. Las localizaciones restantes se concentran al sur del edificio volcánico y algunos hipocentros alcanzaron los 10 km por debajo de la cima del volcán.

En 2016 se contabilizaron y calcularon 96 eventos volcanotectónicos con magnitudes entre 0.5 y 1.7, varios de estos eventos sólo se registraron en una sola estación, por lo que su localización se realizó por el método de azimut con el programa SEISAN. De las localizaciones obtenidas se observó que los epicentros se concentran el sector sur-suroeste del edificio volcánico. A diferencia de años anteriores no es muy clara la sismicidad asociada al sistema de fallas Motagua-Polochic.

Durante 2017 se registraron y calcularon 190 eventos volcanotectónicos con magnitudes entre 0.7 y 2.2, al igual que en años anteriores los eventos que sólo se registraron en una sola estación, se realizó su localización por el método de azimut con el programa SEISAN. De los 190 sismos 118 se registraron del 10 de septiembre al 31 diciembre, muy probablemente el sismo de magnitud 8.2 registrado el 7 de septiembre de 2017, haya provocado la reactivación de fallas locales. De las localizaciones obtenidas se observó que los epicentros se concentraron en tres sectores principales, el primero al oeste del edificio volcánico con una alineación Norte-Sur; el segundo al sur del edificio volcánico y el tercero al Este-Noreste del volcán (E-NE). Cabe destacar que la sismicidad localizada al E-NE del volcán se había registrado en años anteriores (2014 y 2015), además estos eventos se registraron como un enjambre de 30 sismos el 22 de diciembre de 2017 (Figura 9).

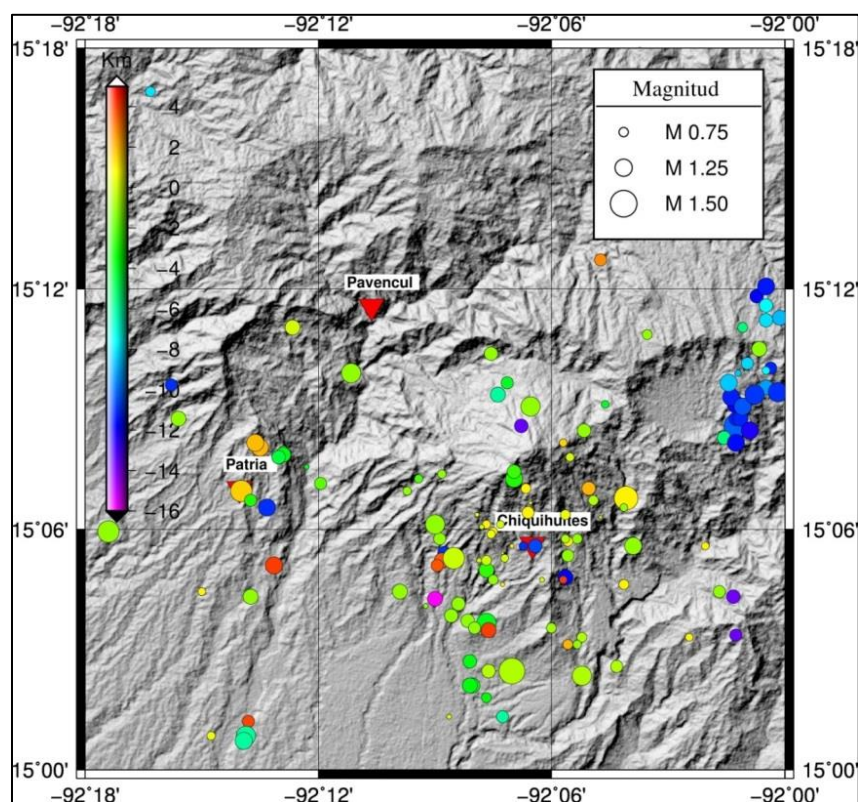


Figura 9 Ubicación de epicentros de los sismos volcanotectónicos registrados en el volcán Tacaná durante 2017

Finalmente, a lo largo de 2018 se registraron y localizaron 169 sismos volcanotectónicos, por lo menos el 50% de los eventos solo se registró en una sola estación y su localización fue hecha por el método de azimut. Del total de eventos 155 se registraron de junio a diciembre, los 14 restantes se registraron de enero a marzo (Figura 10)

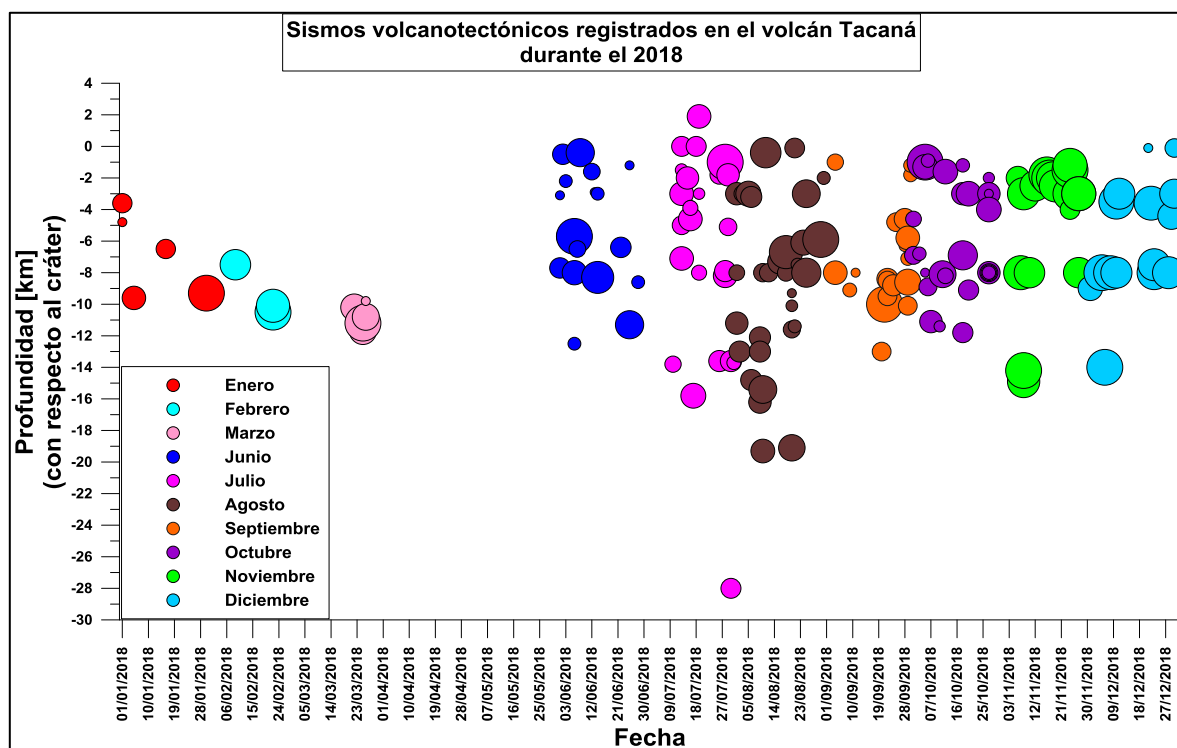


Figura 10 Variación de la profundidad de los VTs registrados en el volcán Tacaná durante 2018

Las magnitudes estuvieron entre 0.1 y 2.7; la profundidad osciló entre 2 y 30 km con respecto del cráter. El sismo con mayor magnitud se registró el 28 de julio (M2.7) y el mes con mayor número de sismos volcanotectónicos registrados fue agosto con 31 eventos.

De las localizaciones se observaron dos zonas sismogénicas principales, la primera ubicada a 10 km al NE del volcán (Figura 11), muy probablemente estos eventos estén asociados al sistema de fallas Motagua-Polochic; la segunda zona se ubica al sur del volcán, los epicentros se concentran en los alrededores de la estación CHIQ, misma que está ubicada a 4 km del cráter. Así mismo, los eventos que se localizan al NE del volcán son más profundos que la mayoría de los eventos localizados al sur del mismo. En el perfil N-S (Figura 11) se puede observar una ausencia de sismos entre los 4 y 8 km por debajo del nivel del mar; también para el mismo perfil se puede ver que los hipocentros, ubicados en el rango de profundidad antes mencionado, dibujan una semicircunferencia, que muy probablemente estos hipocentros sea el límite de material con altas temperaturas y material susceptible de fracturamiento.

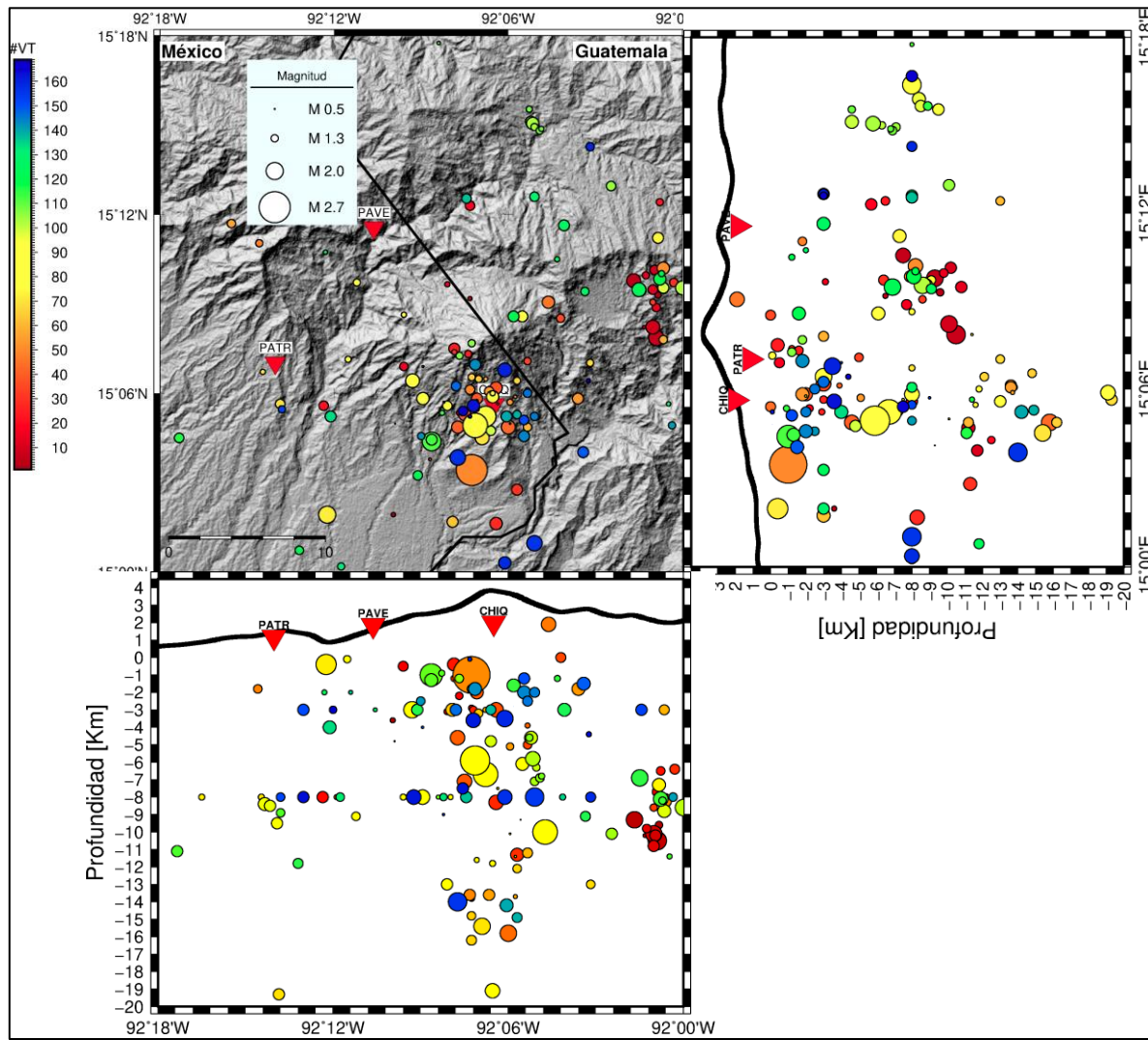


Figura 11 Localización de los sismos volcanotectónicos registrados en el volcán Tacaná durante el 2018

Derivado del incremento del registro de sismos volcanotectónicos, durante el 2018, se obtuvo la energía VT de acuerdo a la formula $\log E = 1.5M + 4.8$ (De la Cruz-Reyna *et al.*, 2008), donde M es la magnitud calculada para cada evento y la energía está dada en Joules (J). A partir de junio se observa un cambio en la pendiente de la energía VT acumulada, sin embargo después del VT registrado el 28 de julio se hace más evidente este cambio (Figura 12). La energía liberada por los sismos volcanotectónicos fue de 3.09×10^9 J, y el mayor aporte de energía fue del sismo con magnitud 2.7 con 7.08×10^8 J (Figura 12)

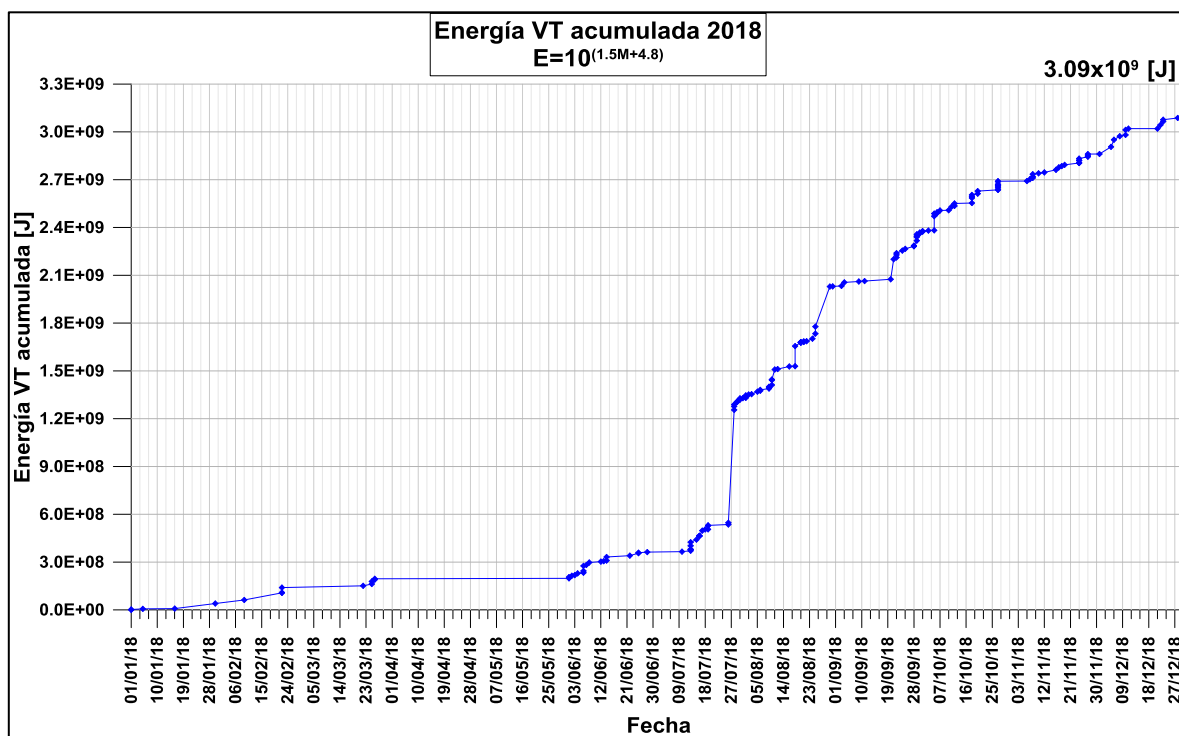


Figura 12 Energía VT acumulada de los sismos localizados en el volcán Tacaná durante 2018

MONITOREO HIDROGEOQUÍMICO

El monitoreo hidrogeoquímico consiste en el seguimiento periódico de las variaciones composicionales y de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH y conductividad) de las aguas que circulan por un edificio volcánico. Diversos manantiales asociados a volcanes han mostrado cambios en su composición química antes de una erupción: volcán Sakurajima (Hirabayashi et al., 1982), Nevado de Ruíz (Williams et al., 1986), Ruapehu (Giggenbach and Glover., 1975) y Popocatepetl (Armienta et al., 2000; Martin Del Pozzo et al., 2002).

La primer campaña del CENAPRED para el monitoreo hidrogeoquímico del volcán Tacaná se realizó en 2016, mediante el muestreo de cuatro manantiales localizados alrededor del volcán, a distancias de hasta 10 km del cráter. Durante la primera semana de agosto 2018 se llevó a cabo una segunda campaña de muestreo, en la que se revisitaron los cuatro manantiales anteriores y se identificaron y muestrearon dos nuevos manantiales termales. En cada uno de los manantiales se tomaron medidas in situ de pH, temperatura y conductividad con un medidor multiparamétrico Hatch; además, se colectaron muestras para análisis químicos (Figura 13).

Los resultados in situ de los parámetros físico-químicos del agua de manantiales asociados al volcán Tacaná muestran altas temperaturas, bajo pH y alta conductividad.

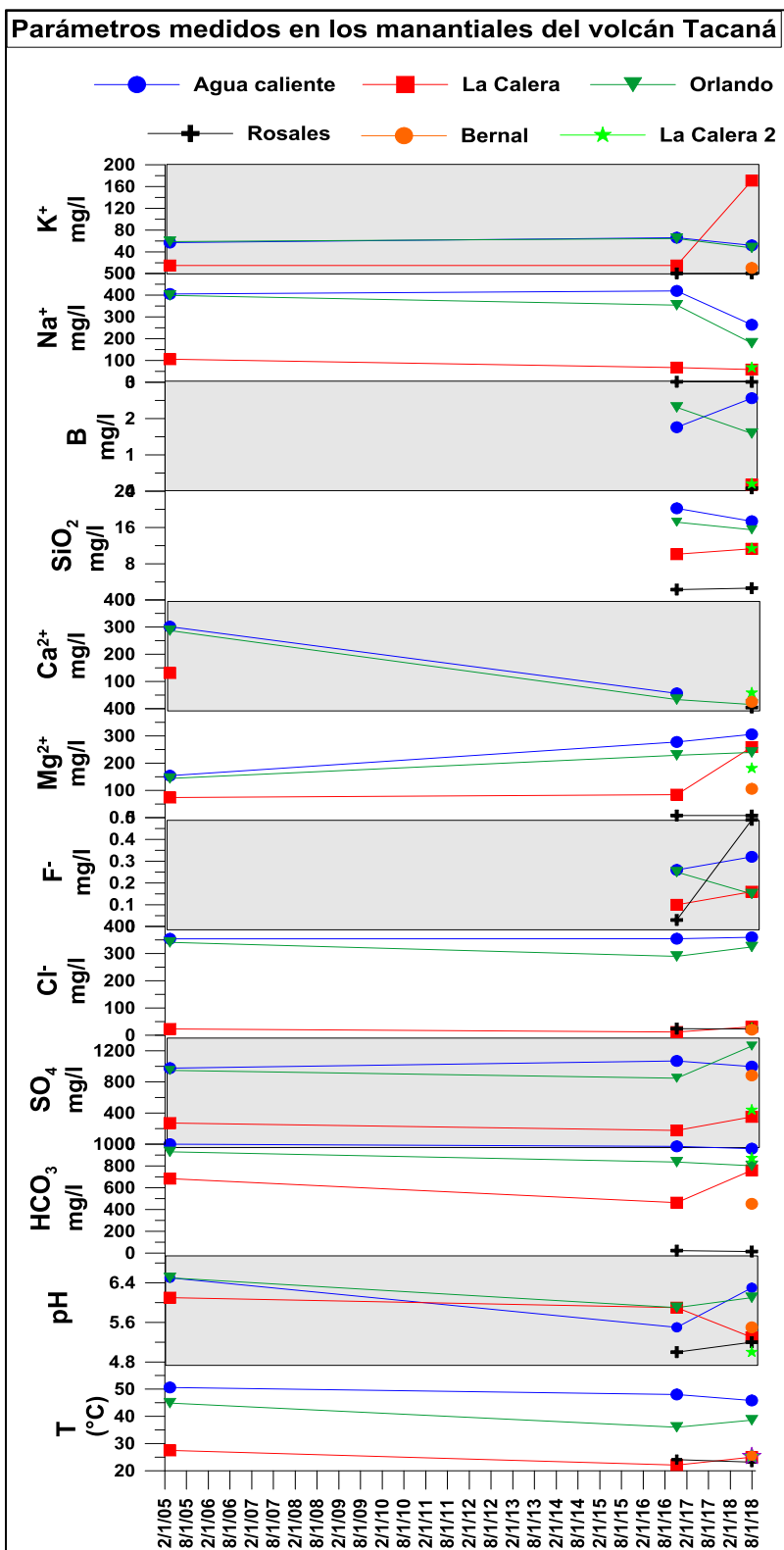


Figura 13 Gráficas de los parámetros de los seis manantiales medidos en el Laboratorio de Muestras Ambientales del CENAPRED

En general, los parámetros medidos en esta campaña no variaron de manera sustancial respecto de los resultados de la campaña anterior, ni en comparación con los obtenidos por otros investigadores que han realizado muestreos y análisis no sistemáticos.

Pequeños cambios en las concentraciones de los componentes iónicos de las aguas, debidos a la intrusión de magma, podrían ser enmascarados por variaciones estacionales y diferentes grados de interacción agua-roca. Por ello, es necesario realizar sistemáticamente las determinaciones de los parámetros físico-químicos en los manantiales asociados al volcán Tacaná, así como realizar el muestreo y análisis periódico de las concentraciones iónicas. La periodicidad de muestreo debe mantenerse, como mínimo, anualmente. Esto permitirá establecer las condiciones base en cada uno de los manantiales y coadyuvar a los demás sistemas de monitoreo que se implementarán en un futuro cercano en el volcán. A medida que los análisis se realicen de manera periódica la interpretación sobre la actividad del Tacaná y la definición de sus líneas base de actividad podrá realizarse de forma más sustentada y puntual.

CONCLUSIONES

El volcán Tacaná es un estratovolcán que ha registrado erupciones importantes a lo largo de su historia geológica. Está catalogado dentro de los 6 volcanes más peligrosos de México por la cantidad de población e infraestructura que se encuentra en un radio de 30 Km. Con la actividad reciente (1949-1950 y 1986) y la sismicidad registrada en los últimos años, podemos decir que es un volcán activo con alta probabilidad de tener una erupción en el futuro.

En la condición actual no se puede afirmar que se trate de actividad precursora de una erupción mayor; sin embargo, la actividad de 1986 fue precedida por actividad sísmica incrementada, por lo que no puede descartarse la posibilidad de una erupción freática, similar a los cinco episodios eruptivos históricos del volcán Tacaná. Ese tipo de eventos se presenta aproximadamente cada 32 años, en promedio, que es el tiempo que ha transcurrido desde la última erupción, en 1986.

Es importante continuar con el monitoreo sísmico, ya que en caso de una reactivación del sistema volcánico, sería uno de los primeros que aportarían la información al respecto. También es necesario el implementar y/o continuar con otros tipos de monitoreo, por ejemplo el monitoreo geoquímico y geodésico.

REFERENCIAS

- Arce, JL, Macías JL, Gardner JE, Rangel E. 2012. Reconstruction of the Sibinal Pumice, an andesitic Plinian eruption at Tacaná Volcanic Complex, México-Guatemala. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 217-218, 1:39-6.
- Armienta, M.A., De La Cruz-Reyna, S., Y Macías, J.L., 2000. Chemical Characteristics of the Crater Lakes of Popocatepetl, El Chichón and Nevado de Toluca Volcanoes, México, *J. of Volcanology and Geothermal Research*, V. 97, pp 105-125.
- Borjas HML (2006) Estratigrafía del sector NE del volcán Tacaná, Chiapas, México-Guatemala. B.S. Thesis, Instituto Politécnico Nacional, ESIA, México
- De la Cruz-Reyna S, Armienta MA, Zamora V, Juárez F (1989) Chemical changes in spring waters at Tacaná Volcano, Chiapas, México. *J Volcanol Geoth Res* 38:345–353.
- De la Cruz-Reyna S., Yokoyama I., Martínez-Bringas A., Ramos E., 2008. Precursory seismicity of the 1994 eruption of Popocatepetl Volcano, Central Mexico. *Bulletin of Volcanology*. 70:753-767.
- García-Palomo A, Macías J L, Arce J L, Mora J C, Hughes S, Saucedo R, Espindola J M, Escobar R, Layer P, 2006. Geological evolution of the Tacana volcanic complex, Mexico-Guatemala. In: Rose W I, Bluth G J S, Carr M J, Ewert J W, Patino L C, Vallance J W (eds), *Volcanic hazards in Central America*, {Geol Soc Amer Spec Pap}, 412: 39-57.
- Giggenbach, W.F., Glover, R.B., 1975. The use of Chemical Indicators in the surveillance of Volcanic Activity affecting the Crater Lake on Mt. Ruapehu. *N. Z. Bull.* 39, 70– 81
- Guzmán-Speziale M (2001) Active seismic deformation in the grabens of northern central America and its relationship to the relative motion of the North American-Caribbean plate boundary. *Tectonophysics* 337:39–51.
- Hirabayashi, T., Ossaka, K., Ozawa, T., 1982. Relationship between volcanic activity and chemical composition of volcanic gases: a case study on Sakurajima Volcano. *Geochem. J.* 16, 11 – 21.
- Macías, J.L., Espíndola, J.M., García-Palomo, A., Scott, K.M., Hughes, S., and Mora, J.C., (2000), "Late Holocene Peléan style eruption at Tacaná Volcano, Mexico–Guatemala: Past, present, and future hazards", *Bulletin of the Geological Society of America*, 112 (8): 1234-1249.

Macías J L, Arce J L, García-Palomo A, Mora J C, Layer P W, Espindola J M, 2010. Late- Pleistocene flank collapse triggered by dome growth at Tacana volcano, Mexico-Guatemala, and its relationship to the regional stress regime. *Bull Volc*, 72: 32-53.

Macías JL, Espíndola JM, García-Palomo A, Arce JL, Mora JC, Saucedo R (2011) La actividad volcánica en el sur de México y su impacto en las poblaciones prehispánicas. In: Caballero M, Ortega-Guerrero B (eds) *Escenarios de cambio climático: Registros del Cuaternario en América Latina II*. Universidad Nacional Autónoma de México, México

Martin-Del Pozzo A.L., Aceves F., Espinasa R., Aguayo A., Inguaggiato S., Morales P., Y Cienfuegos E. 2002. Influence of volcanic activity on spring water chemistry at Popocatepetl Volcano, Mexico. *Chemical Geology* 190 (2002) 207– 229

Martíni M, Capaccioni B, Giannini L (1987) Ripresa dell'attività sismica e fumarolica al Vulcano di Tacaná (Chiapas, Messico) dopo un quarantennio di quiescenza. *Estrato da Bollettino del Gruppo Nazionale per la Vulcanologia*, pp 467–470

Mercado R, Rose W I, 1992. Reconocimiento geológico y evaluación preliminar de peligrosidad del volcán Tacaná, Guatemala/México. *Geof Internac*, 31: 205-237.

Mooser F, Meyer-Abich H, McBirney A R, 1958. Central America. *Catalog of Active Volcanoes of the World and Solfatara Fields*, Rome: IAVCEI, 6: 1-146.

Mora J C, Macías J L, García-Palomo A, Arce J L, Espindola J M, Manetti P, Vaselli O, Sanchez J M, 2004. Petrology and geochemistry of the Tacana volcanic complex, Mexico-Guatemala: evidence for the last 40 000 yr of activity. *Geof Internac*, 43:31 59.

Müllerried FKG (1951) La reciente actividad del Volcán de Tacaná, Estado de Chiapas, a fines de 1949 y principios de 1950. *Informe del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México*, p 28.

Rouwet D, Inguaggiato S, Taran Y, Varley N, Santiago JA (2009) Chemical and isotopic compositions of thermal springs, fumaroles and bubbling gases at Tacaná Volcano (Mexico-Guatemala): implications for volcanic surveillance. *Bull Volcanol* 71:319–335.

Williams, S.N., Stoiber, R.E., García, P.N., Londono, A.C., Gemmell, B.J., Lowe, D.R., Connor, C.B., 1986. Eruption of the Nevado de Ruiz Volcano, Colombia, on 13 November 1985: gas flux and fluid geochemistry. *Science* 233, 964– 967.

Elaboraron: Gema Victoria Caballero Jiménez, Ramón Espinasa Pereña.