

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

ACTIVIDAD DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL

2013

Subdirección de Riesgos Volcánicos

Dirección de Investigación

CONTENIDO

- Resumen
- Actividad sísmica.
 - Eventos de periodo largo
 - Trenes de exhalaciones
 - Tremor armónico y de alta frecuencia
 - Monitoreo de las emisiones de ceniza asociadas a eventos de tremor y explosiones
 - Sismos volcanotectónicos
 - Energía sísmica y energía sísmica acumulada
- Detección de flujos de agua y lodo
- Anomalías térmicas (Sensores remotos MODVOLC Hawaii)
- Monitoreo de la emisión de gases (SO₂) DOAS-COSPEC, Sensores Remotos AURA/OMI (NASA)
- Monitoreo Hidrogeoquímico
- Deformación: Inclínómetros en Nexpayantla y Chipiquixtle
- Observaciones del domo
- Análisis

RESUMEN

La actividad en el Popocatepetl durante 2013 se caracterizó por el registro de eventos de intensidad y magnitud importante, como los eventos de tremor de armónico y de alta frecuencia ocurridos en abril y julio, que acompañaron la formación de distintos domos, el sismo volcanotectónico de magnitud 4.1 que se presentó el 6 de mayo y los eventos explosivos registrados el 15 de mayo y el 17 de junio. El tamaño de estos eventos y su aportación a la energía sísmica liberada por el volcán fueron determinantes para que el Comité Científico Asesor recomendara, en diversas ocasiones, a la Coordinación Nacional de Protección Civil incrementar el nivel de alerta volcánica. El semáforo subió de nivel a Amarillo Fase 3 del 12 de mayo al 8 de junio y del 7 al 23 de julio.

La actividad sísmica del periodo de enero a marzo de 2013 se caracterizó por el registro de eventos de periodo largo (exhalaciones) de baja y moderada intensidad (mayores a 2,000 cuentas en la estación PBPV), con un promedio de 1000 señales por mes, intercaladas con el registro de segmentos de tremor de corta duración y baja amplitud, la reaparición de trenes de exhalaciones, que fueron especialmente abundantes en marzo, y la identificación de numerosos sismos volcanotectónicos (>40). El conjunto de esta actividad, aún dentro de los parámetros normales, confirmó la tendencia al alza en la sismicidad que venía reportándose desde finales de 2012. Este incremento de la actividad sísmica estuvo acompañado por un incremento de las exhalaciones de mayor intensidad, que generaron pulsos de la pluma de gases con contenido de cenizas de leve a moderado y plumas mayores a 1 km de altura.

Durante abril de 2013, se observó un incremento en la actividad, que quedó reflejado en los distintos parámetros de monitoreo. Se registraron diversos episodios de tremor de alta frecuencia y armónico, se incrementó el número y magnitud de los sismos volcanotectónicos. El

6 y 27 de abril se registraron enjambres de sismos volcánotectónicos, con señales híbridas de volcánotectónicos. Se observó el emplazamiento de un domo durante la segunda semana de abril, con un volumen cercano a 1 millón de m^3 , que se destruyó parcialmente el día 30. También se observaron, durante los eventos de tremor, emisiones de plumas de gases y ceniza persistentes, así como la emisión continua de fragmentos incandescentes a distancias entre 500 y 2,000 m del cráter. El 13 de abril se registraron caídas leves de ceniza en algunas poblaciones del NE del volcán, hasta el norte de Puebla. Del 19 al 25 de abril, se observaron diversas explosiones acompañadas por la emisión de fragmentos incandescentes.

El incremento de la actividad sísmica propició la convocatoria extraordinaria del Comité Científico Asesor, que se reunió los días 16, 22 y 30 de abril. En las dos primeras reuniones el Comité recomendó elevar el nivel del semáforo de alerta volcánica de Amarillo Fase 2 a Amarillo Fase 3. Después del enjambre sísmico del 27 de abril y una vez observada la destrucción parcial del domo, el Comité recomendó mantener el nivel del semáforo en Amarillo Fase 2.

Después de cinco días de relativa calma sísmica a inicios del mes de mayo, el día 6 se registró un sismo volcánotectónico de magnitud 4.1 en el flanco noreste, a 6 kilómetros de profundidad, el más grande registrado en la historia reciente del volcán. Este sismo marcó el inicio de un período de actividad incrementada que se prolongó hasta el 28 de mayo y tuvo un evento culminante el 17 de junio.

Entre los días 14 y 28 de mayo hubo un importante incremento de la actividad explosiva. Las explosiones estuvieron acompañadas por la emisión de fragmentos incandescentes a distancias entre 500 m y 2 km sobre las laderas del volcán y columnas de gases y cenizas de 1 a 4 km de altura. Las explosiones ocurridas a partir del 14, y en particular la ocurrida el 15 de mayo a las 06:45 (GMT) destruyeron el domo 45, generando sobre su superficie un cráter de unos 200 m de diámetro y 50 m de profundidad.

Por recomendación del Comité Científico Asesor, la Coordinación de Protección Civil decidió elevar el nivel de alerta volcánica a Amarillo Fase 3 la madrugada del 12 de mayo y se mantuvo en este nivel hasta el 8 de junio.

A partir del 3 de julio, después de una explosión registrada a las 18:21 h, inició un episodio casi continuo de tremor armónico y de alta frecuencia de gran amplitud. Este tremor, en su fase inicial, estuvo acompañado por la emisión persistente de una columna de gases y cenizas que alcanzó hasta 3.5 km de altura y se emitieron fragmentos incandescentes. Este episodio de tremor provocó el emplazamiento de un domo, que para el día 10 había alcanzado un volumen de $2.6 \cdot 10^6 m^3$. Este domo fue parcialmente destruido con diversas explosiones ocurridas del 10 al 20 de julio. Sobre el cuerpo de este domo se formó un cráter interno con un hueco de $3.3 \cdot 10^6 m^3$. A partir del 26 de julio se inició el emplazamiento de un nuevo domo, que para el 29 alcanzó un volumen de 13,000 m^3 .

Durante agosto predominó en el volcán la ocurrencia de diversos sismos volcánotectónicos, el más importante se registró el 26, con magnitud 3.1. Los sismos volcánotectónicos se presentaron prácticamente debajo del cráter, a profundidades que oscilaron entre 1 y 6 km.

En septiembre se contabilizaron menos horas de tremor que los meses anteriores, aunque el número de LP's se mantuvo en el promedio anual. El 5 de septiembre se obtuvo un valor de la tasa de emisión de SO_2 de 22,100 t/día. El domo alcanzó un volumen total de $1.72 \cdot 10^6 m^3$, es decir, se emplazó un volumen de $5.3 \cdot 10^5 m^3$, a una tasa de efusión de 1.24 m^3/s .

A lo largo de octubre se observó un notable decremento en el registro de eventos de periodo largo. El día 25, se presentó un volcánotectónico de magnitud 2.2, que se localizó a más de 17 kilómetros de profundidad. Siendo hasta ese momento el VT más profundo registrado a lo largo del año.

Durante el último bimestre del año la actividad más relevante del volcán fue el emplazamiento, de forma bastante lenta, de un nuevo domo de lava, el 48, que poco a poco cubrió al domo anterior. Sin embargo, sólo ocupó aproximadamente la mitad del volumen del cráter interno. Adicionalmente, el 21 de noviembre se detectaron tres sismos en el sector sureste del volcán, que pudieran estar asociados a movimientos en un sistema de fallas tectónicas profundas. El 9 de diciembre se presentó un sismo volcanotectónico de magnitud 3.2, se localizó a más de 20 kilómetros de profundidad, es el VT más profundo localizado en la historia reciente del volcán. Durante noviembre y diciembre la tendencia en casi todos los parámetros de monitoreo se mostró a la baja, de especial importancia resultan la ausencia de tremor y los episodios de silencio sísmico durante algunos días de diciembre.

ACTIVIDAD SÍSMICA

En el primer trimestre de 2013 la actividad sísmica presentó un comportamiento similar al registrado entre octubre y diciembre de 2012, principalmente en lo que se refiere a la actividad de eventos de periodo largo y tremor (Ver Informe Anual 2012). La actividad sísmica más relevante estuvo asociada al incremento del registro de sismos volcanotectónicos, un total de 42 y a la reaparición de trenes de exhalaciones de moderada amplitud e intensidad en febrero, pero de forma importante en marzo, que sumaron un total de 25.6 horas. Otro aspecto de relevancia es el registro de gran cantidad de señales de alta frecuencia, con traza similar a las asociadas a derrumbes en el interior del cráter, que se registraron a partir de la última semana de diciembre de 2012 (Figura 1).

En abril la actividad sísmica presentó un claro incremento con relación a la registrada durante el primer trimestre del año. La actividad fue especialmente intensa en lo que se refiere al registro de sismos volcanotectónicos, un total de 29 para el mes de abril y de segmentos de tremor que sumaron un total de 41.5 horas, con amplitudes de medianas a grandes. A partir del 3 de abril se registraron períodos de varias horas con abundante predominancia de “pulgas” (Eventos de periodo largo, con amplitud menor a 2,000 cuentas en la estación PBPV) (Figura 2), que se observaron hasta el día 12, intercalándose con exhalaciones y algunas señales de alta frecuencia y gran amplitud, así como segmentos de tremor, principalmente de alta frecuencia, con baja amplitud. Entre el 18 y el 25 de abril se registraron diversas explosiones. Las más importantes ocurrieron en intervalos de 45 a 50 horas, algunas de ellas estuvieron precedidas por señales de derrumbe y la mayor parte seguidas por sismos volcanotectónicos. A partir del día 26 se observó un descenso en la actividad de exhalaciones y explosiones y reaparecieron las “pulgas”. En la mañana del sábado 27 se registró el segundo enjambre de sismos volcanotectónicos, con un total de 10 señales de este tipo.

En mayo la actividad sísmica presentó un nuevo incremento con relación a los cuatro meses previos. La actividad fue especialmente importante por lo que se refiere al registro de sismos volcanotectónicos, un total de 21 para el mes de mayo, y a episodios de tremor armónico y de alta frecuencia, de mediana y gran amplitud, que sumaron aproximadamente 100 horas. También se incrementó durante la última quincena del mes el número de eventos de periodo largo (LP's), y se registraron 20 explosiones acompañadas por la emisión de ceniza y de fragmentos incandescentes. Los días 1 al 7 de mayo se registraron abundantes señales de largo período de baja o muy baja amplitud (“pulgas”) y solamente algunas exhalaciones de mayor amplitud, acompañadas por pulsos de la pluma de gases con leves cantidades de ceniza. El registro de eventos de periodo largo de mediana y gran amplitud, se incrementó especialmente después de la ocurrencia del sismo volcanotectónico de magnitud 4.1 en la madrugada del 6 (08:33 h GMT).

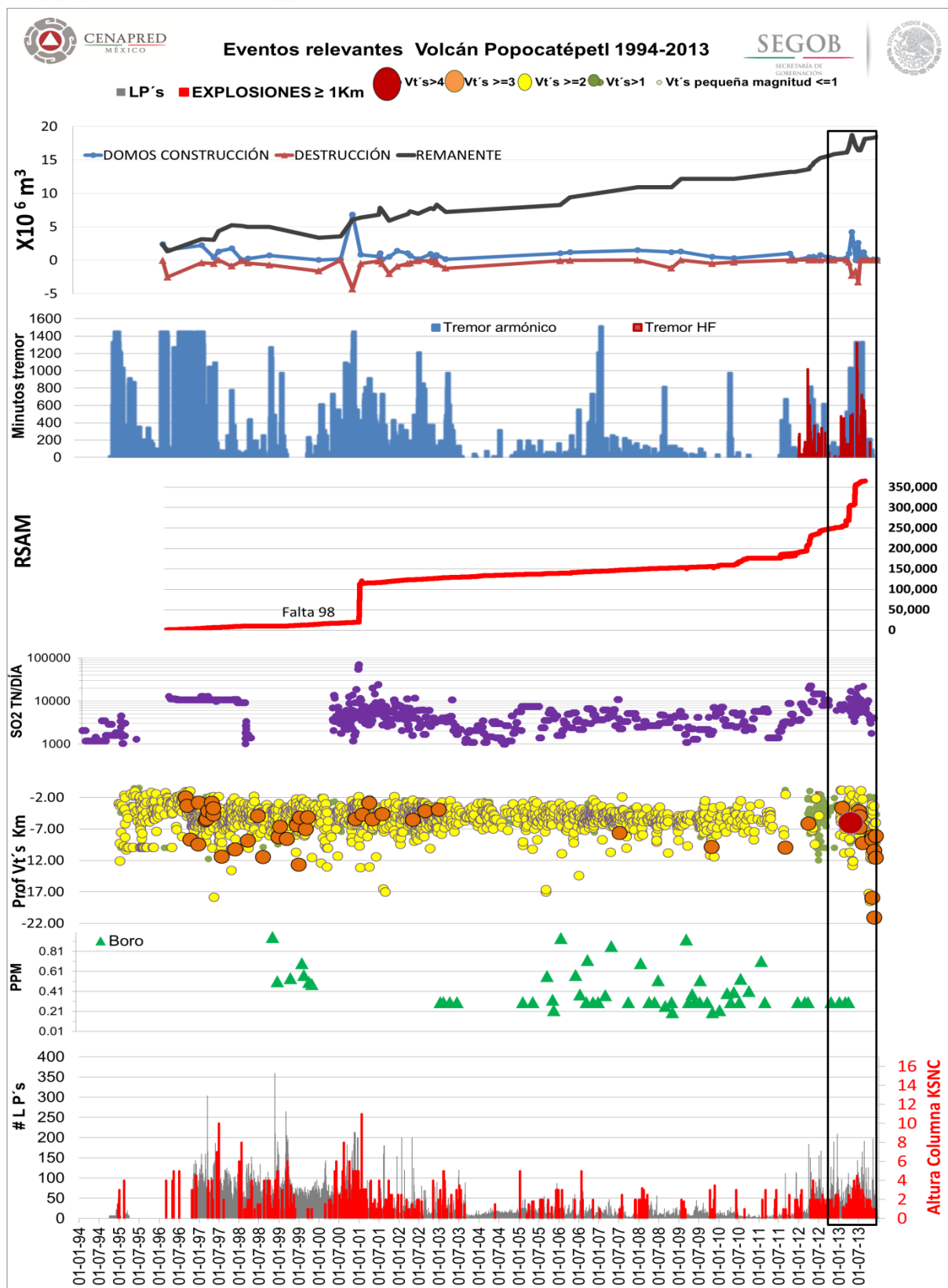


Figura 1 Resumen de la sismicidad 1994-2013 en el volcán Popocatépetl. En el recuadro se señala el período correspondiente a 2013

A partir del martes 14 se produjo un cambio en el estilo de actividad del volcán, iniciando una serie de explosiones que se prolongaron hasta el día 17. La explosión del 17 de mayo a las 05:28 h GMT generó una columna de gases y cenizas de 4 km de altura, la más alta reportada para el mes de mayo. Sin embargo, la explosión de mayor magnitud se produjo el 15 de mayo a las 06:45 h GMT, emitiendo fragmentos incandescentes sobre todas las laderas del volcán a distancias de hasta 1.5 km y una columna de gases y cenizas, de 3 km de altura, que se dispersó al noreste.

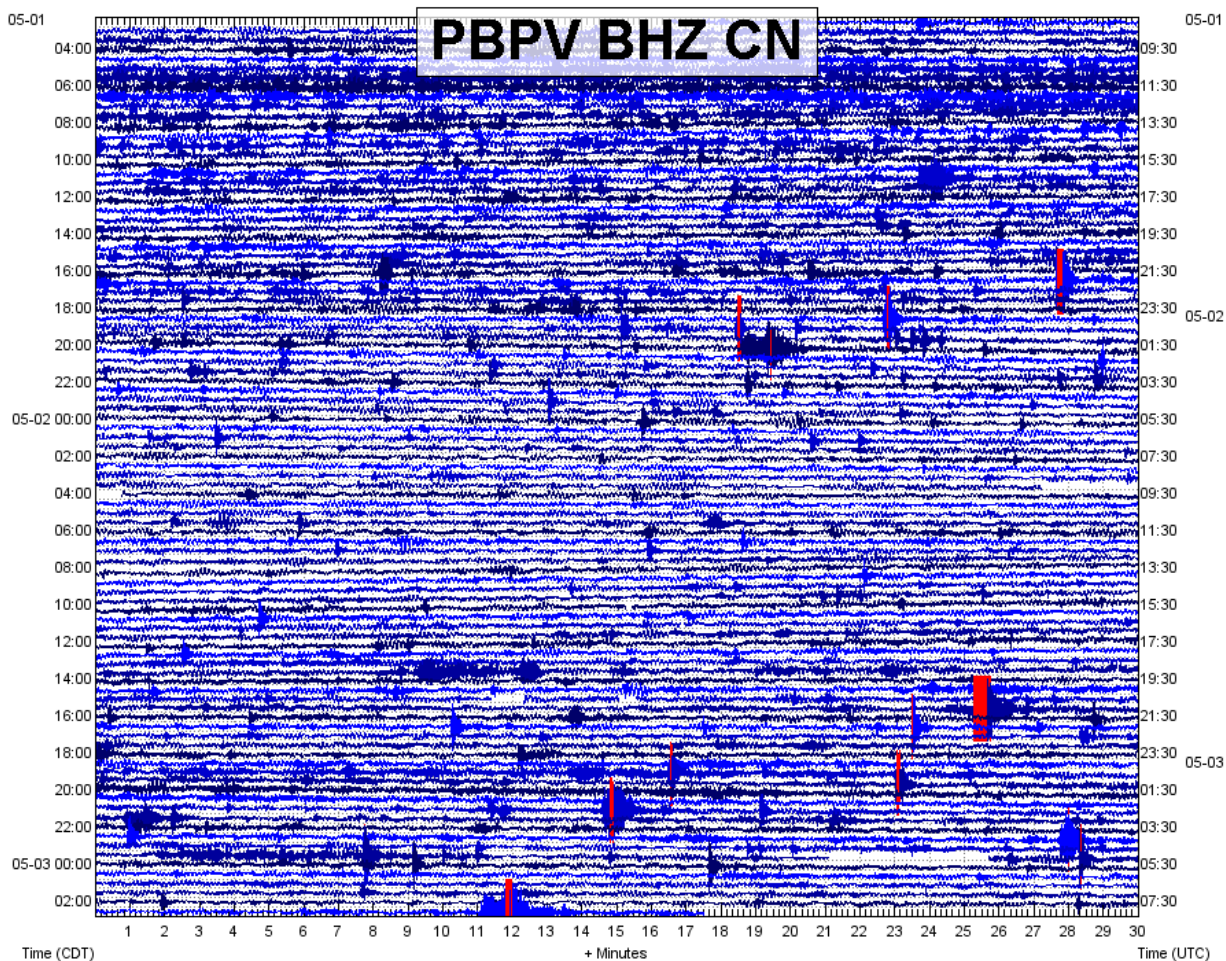


Figura 2 Registro sísmico digital de la estación Canario Banda Ancha (PBPV) del 1 y 2 de mayo, puede observarse el registro de numerosas señales de largo período y baja amplitud (“pulgas”).

Durante junio el registro de sismos volcanotectónicos fue especialmente importante, se registraron un total de 69 para el mes, además de diversos episodios de tremor armónico y de alta frecuencia, de baja y mediana amplitud, que sumaron 12 horas. También el número de eventos de periodo largo tuvo un notorio incremento, pues se registraron 1,835 eventos, 400 más que el mes anterior (Tabla 1, Figura 3). Así mismo, se registró un total de 42 eventos explosivos, acompañados por la emisión de ceniza y algunas veces fragmentos incandescentes.

A lo largo de julio el registro de tremor fue especialmente importante, se presentaron un total de 215 horas, principalmente en un episodio semicontinuo que duró del 3 al 11. El número de eventos de periodo largo registrado se mantuvo elevado, 1,702 (Tabla 1, Figura 3), aunque con un ligero decremento respecto al mes anterior. Asimismo, se registraron 36 eventos explosivos acompañados por la emisión de ceniza y algunas veces fragmentos incandescentes, principalmente del 10 al 20, después del evento de tremor. Además se registraron 50 sismos volcanotectónicos, el más relevante el 21 de julio, de magnitud 3.1.

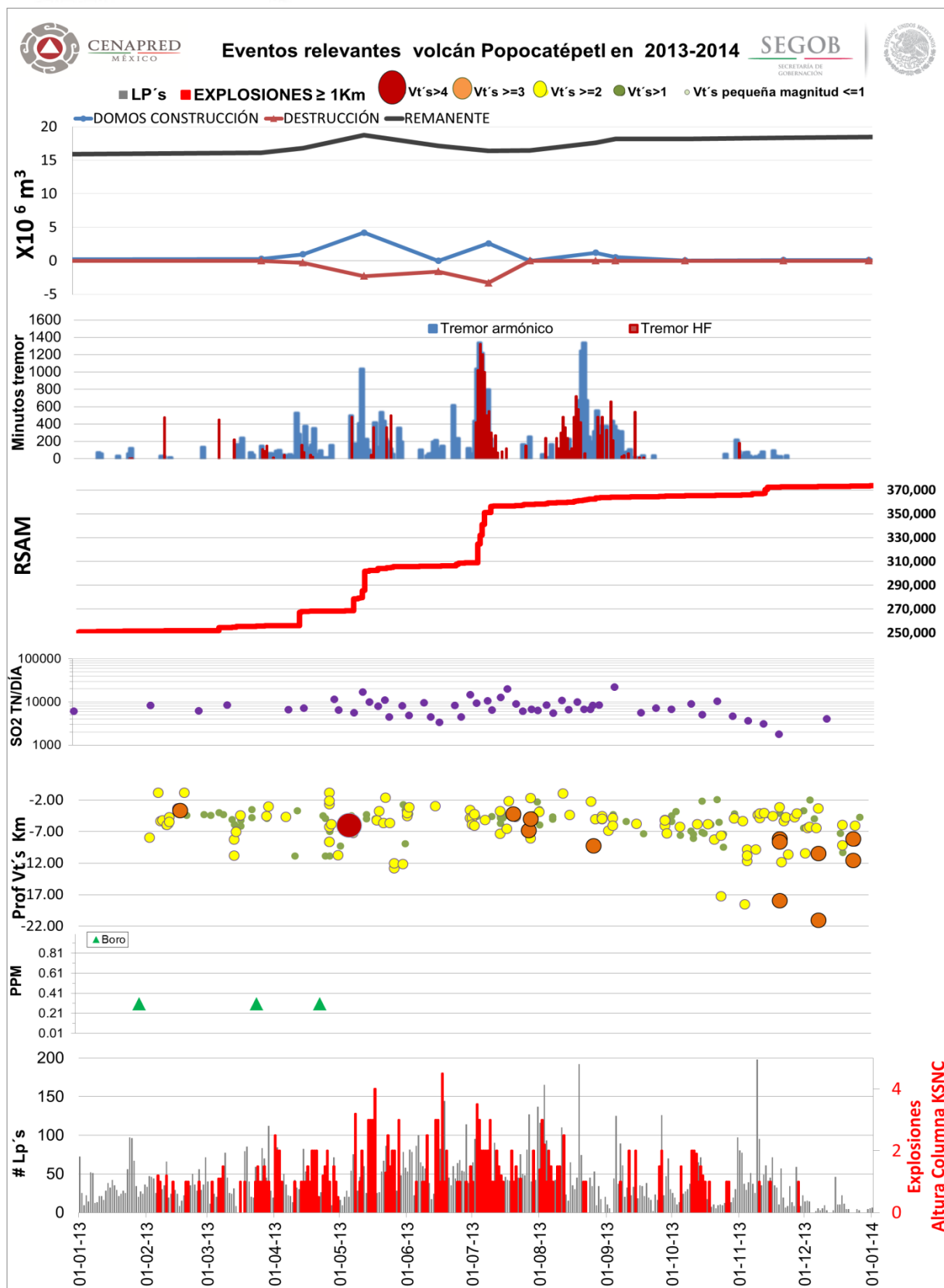


Figura 3 Resumen de los eventos relevantes durante 2013 en el volcán Popocatépetl

Tabla 1. Resumen de la sismicidad del volcán Popocatépetl durante 2013

MES	EXHALACIONES	EXPLOSIONES	DERRUMBES	VT	TREMOR (Horas)
ENERO	1087	2	7	8	6.26
FEBRERO	921	8	11	16	0.52
MARZO	1107	-	-	20	17.50
ABRIL	991	10	25	29	41.50
MAYO	1421	15	10	21	76.50
JUNIO	1835	42	12	69	29.55
JULIO	1702	36	1	50	215.00
AGOSTO	1530	13	0	16	101.20
SEPTIEMBRE	1110	5	2	28	33.00
OCTUBRE	718	11	0	24	0.66
NOVIEMBRE	1284	98	2	28	11.25
DICIEMBRE	217	0	15	22	0.00
TOTAL	13923	240	85	331	532.94

En agosto la actividad sísmica más importante fue el registro de 101.2 horas de tremor, principalmente en diversos episodios registrados del 4 al 17. El número de exhalaciones se mantuvo elevado, 1530, aunque con un ligero decremento respecto a los meses anteriores. Asimismo, se registraron 13 explosiones, acompañadas por la emisión de ceniza y algunas veces fragmentos incandescentes, la más importante el 2 de agosto a las 09:34 h, cuando la columna eruptiva alcanzó 3 km de altura sobre el nivel del cráter. Además, se registraron 16 sismos volcanotectónicos, de los que el más relevante fue el ocurrido el 26 de agosto, de magnitud 3.1.

En septiembre de 2013 la actividad registrada en el Popocatépetl fue baja respecto a los meses anteriores. Se contabilizaron 33 horas de tremor, principalmente en diversos episodios registrados entre los días 1 a 14 (Tabla 1). El número de eventos de periodo largo registrados se mantuvo alto, 1,110 eventos, aunque con un importante decremento respecto a los meses anteriores. Así mismo, se registraron cinco eventos explosivos, el más importante el 22, aunque debido a las condiciones climáticas no se pudo observar. Además, se registraron 28 sismos volcanotectónicos, siendo más relevantes los ocurridos el 5 y el 16 de septiembre, ambos con magnitudes de 3.0.

En octubre de 2013 se contabilizaron únicamente 40 minutos de tremor armónico el día 27. El número de eventos de periodo largo (exhalaciones) disminuyó notablemente, se registraron 718 eventos, el número más bajo en lo que va del año. Asimismo, se registraron 11 eventos explosivos, los más importantes entre los días 9 y 14. Además, se registraron 24 sismos volcanotectónicos, el más importante el 23, con magnitud 2.7 (Figura 3).

Durante noviembre sólo se contabilizaron 11 horas de tremor armónico, principalmente durante las primeras tres semanas del mes. En cambio, el número de eventos de periodo largo registrado aumentó notablemente con respecto al mes anterior, se registraron 1,382 eventos, de los cuales 1,284 fueron exhalaciones y 98 fueron explosiones, principalmente entre los días 14 y 16. Además, se registraron 28 sismos volcanotectónicos, los más importantes fueron los ocurridos el 21, con magnitudes de 3.1 a 3.5.

La actividad sísmica registrada durante diciembre fue muy baja. Se contabilizaron 257 eventos de periodo largo y no se presentaron eventos explosivos. Diciembre se caracterizó por presentar diversos episodios de silencio sísmico, en los que no se presentaron eventos de ningún tipo, especialmente los días 4 al 5, 12, 21, 23 y 29. Se registraron 22 sismos volcanotectónicos, los más importantes la tarde del día 24. Durante este mes no se presentaron episodios de tremor.

EVENTOS DE PERIODO LARGO (EXHALACIONES Y EXPLOSIONES)

Durante el primer trimestre del año se registraron en promedio 1,000 eventos de periodo largo mensuales, de amplitud mayor a 2,000 cuentas en la estación Canario (1,087 en enero, 921 en febrero y 1,131 en marzo), lo que representa un descenso del 25% con relación a la sismicidad registrada en el último trimestre de 2012, pero un incremento del 250% con relación a las exhalaciones registradas durante el mismo período en 2012. En general, durante los tres meses se registraron menos de 50 exhalaciones por día, con una ligera tendencia a incrementar a finales de marzo. Sin embargo, por períodos de dos a cuatro días, el número de exhalaciones diarias fue mayor, como los días 24 al 26 de enero, 10 y 28 de febrero y 9-10, 18-19 y 26-27 de marzo. Para marzo, los días con mayor número de exhalaciones son posteriores a la ocurrencia de trenes de exhalaciones.

En marzo la actividad explosiva fue más abundante (Eventos de periodo largo con registro sísmico en las estaciones de Colibrí y Tlamacas). En 16 ocasiones, se observó la pluma de gases alcanzando 1 km de altura, acompañada de leves a moderadas cantidades de ceniza, asociada a explosiones. Fue frecuente también la caída de fragmentos incandescentes, principalmente sobre la ladera noreste, a distancias entre 500 y 1,000 m. Entre estas emisiones destacó la ocurrida durante la explosión de las 5:50 el 7 de marzo, que lanzó fragmentos que rebasaron el labio sur y se depositaron en esta ladera (Figura 4). Durante el tren de exhalaciones la pluma de gases y cenizas alcanzó en algunos momentos 1,500 m sobre el nivel del cráter. Durante esa jornada se recibieron reportes de caída de ceniza en el aeropuerto de Puebla.



Figura 4 *Plumas de gases y cenizas y emisión de fragmentos incandescentes durante el tren de exhalaciones del 7 de marzo*

En abril se contabilizaron 975 señales de periodo largo, mayoritariamente de baja y moderada intensidad. Este número de exhalaciones estuvo en el rango de 1,000 exhalaciones mensuales que venía registrándose desde inicios de año. Durante la primera quincena de abril, el volcán presentó actividad explosiva entre los días 1 y 3, después del tren de exhalaciones del 28 de marzo y de tres días de relativa calma sísmica. Los eventos más relevantes en estas fechas se registraron el lunes 1 de abril a las 14:48 h y 15:55 h GMT. Esta último produjo una columna de gases y cenizas de 2.5 km de altura.

El 13 de abril inició un episodio de tremor de alta frecuencia. Este episodio comenzó con una explosión a las 13:56 GMT, que generó una columna de gases y cenizas que se desplazó al N-NW, alcanzando pocos metros de altura, debido a fuertes vientos en la parte alta del volcán

Después de los episodios de tremor registrados el 13 y el 17 de abril, el volcán Popocatepetl presentó una serie de explosiones los días 18 a 25, acompañadas por la emisión de fragmentos incandescentes sobre las laderas del volcán, a distancias entre 300 y 1,000 metros (Figura 5), con excepción de la explosión del 18 de abril, que lanzó fragmentos hasta 2 km de distancia desde el cráter, sobre todas las laderas del volcán. Las explosiones también estuvieron acompañadas por plumas de gases y cenizas, con alturas entre 1 y 2 km de altura. Estas

explosiones se registraron espaciadas en el tiempo, en un rango de 30 a 48 h, intercaladas con segmentos de tremor, sismos volcanotectónicos y señales de derrumbe.



Figura 5 Imágenes de la explosión del 19 de abril a las 23:23 h local (04:23 GMT del 20 de abril)

Durante el mes de mayo se contabilizaron 1,208 señales de largo período (exhalaciones), mayoritariamente de baja y moderada intensidad. El número de exhalaciones incrementó en un 20% con relación al promedio (1,000 exhalaciones mensuales) presentado desde enero. En total se contabilizaron 20 explosiones, ocurridas principalmente durante la segunda quincena de mayo. Para todas ellas se calculó la energía absoluta liberada, que estuvo en el rango entre 1.83×10^7 y 1.57×10^{10} ; el máximo valor fue el de la explosión de las 06:45h GMT del 15 de mayo.

En mayo se registraron además 15 explosiones aisladas (Tabla 1), todas ellas acompañadas por columnas de gases y cenizas de entre 2 y 4 km de altura y la emisión de fragmentos incandescentes a distancias entre 500 y 1,500 m sobre las laderas del volcán. En algunos casos los fragmentos incandescentes rodaron hasta distancias de 2 km.

Las explosiones de mayor energía absoluta se registraron los días 14 a 17, después de los principales episodios de tremor. En estos cuatro días se registraron ocho explosiones, la primera el 14 de mayo a las 14:56 h GMT (Figura 6), tres horas después de un sismo volcanotectónico de magnitud 1.9 y de la ocurrencia de un derrumbe. Esta explosión fue captada por personal del CENAPRED desde una aeronave en vuelo, observando que la pluma de gas y ceniza permaneció densa sobre el volcán por varios minutos. Pudo observarse también que esta explosión no generó cambios significativos en la morfología del domo ni en el interior del cráter. La explosión fue captada también por la cámara térmica en Altzomoni.

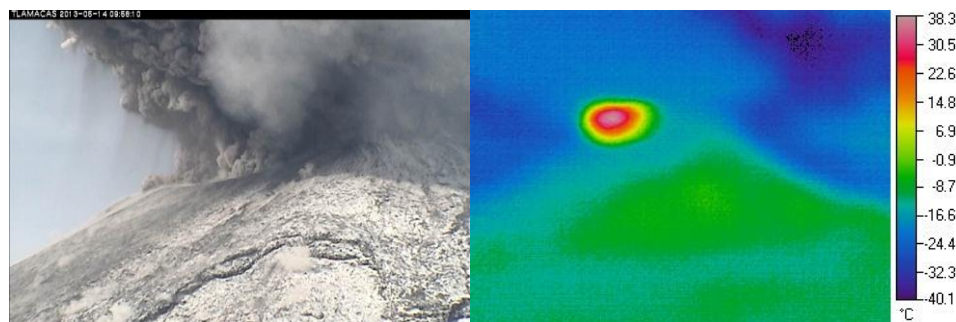


Figura 6 Imágenes visual y térmica de la explosión de las 09:56 h GMT del 14 de mayo. Puede apreciarse la caída de fragmentos incandescentes sobre la ladera noreste del volcán

La explosión de las 06:45h GMT el 15 de mayo fue la de mayor magnitud de toda la serie. Fue registrada por todas las estaciones sísmicas de la red de monitoreo del volcán Popocatepetl, del volcán Pico de Orizaba y por varias estaciones de la red del Servicio Sismológico Nacional (Yautepec, Amecameca, Ciudad Universitaria, entre otras, Figura 7). La explosión generó una columna de gases y cenizas de 3 km de altura y lanzó abundantes fragmentos incandescentes sobre todas las laderas del volcán, a distancias de hasta 1.5 km (Figura 8).

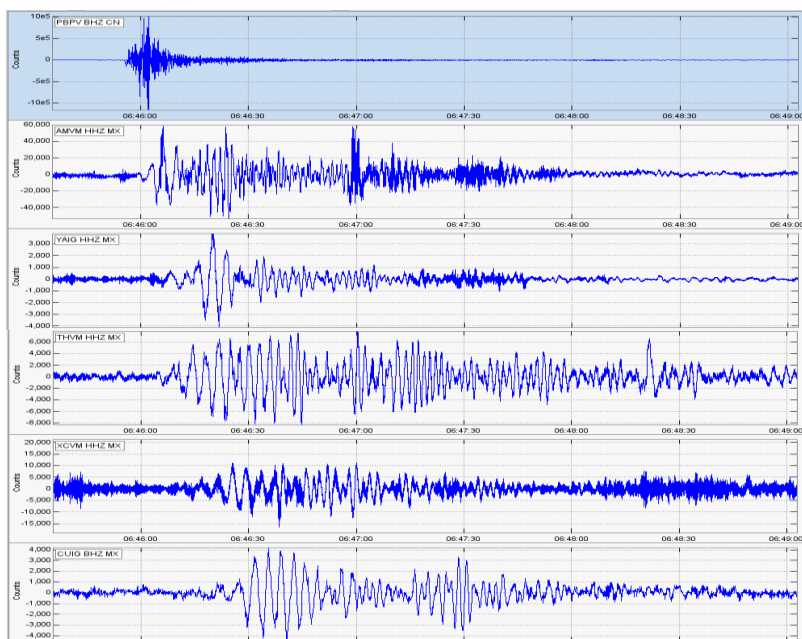


Figura 7 Registros sísmicos digitales de la explosión de las 06:45h GMT del 15 de mayo en las estaciones de banda ancha Canario (Cenapred), Amecameca, Yautepec, Tlahuac, Xochimilco y Ciudad Universitaria (SSN)



Figura 8 Imágen de la explosión de las 06:45 h GMT el 15 de mayo. Los fragmentos incandescentes se depositaron sobre todas las laderas del volcán a distancias máximas de 1.5 km, pero algunos de ellos rodaron hasta los 2 km

Las explosiones de los días 16 y 17 tuvieron un comportamiento similar, pero fueron de menor magnitud y liberaron menor cantidad de energía. Sin embargo, cabe destacar que la explosión de las 05:28h GMT del 17 de mayo generó la columna eruptiva más alta, de 4 km.

Después de una relativa pausa de la actividad explosiva entre los días 18 y 21, se reanudaron las explosiones entre el 22 y el 27 de mayo. Se registraron 10 explosiones durante esos 5 días, algunas de ellas al inicio, de los episodios de temblor. Es el caso de las explosiones del 23 de mayo a las 07:56 h GMT, que pudo ser captada por una cámara térmica portátil (Figura 9). En general, estas explosiones generaron columnas de gases y cenizas de 2 a 3 kilómetros de altura y lanzaron fragmentos incandescentes de mayor tamaño que los observados durante las explosiones de días anteriores. Pudo calcularse una temperatura de 96°C para los fragmentos de la explosión del 23 de mayo, desde 4 km de distancia.

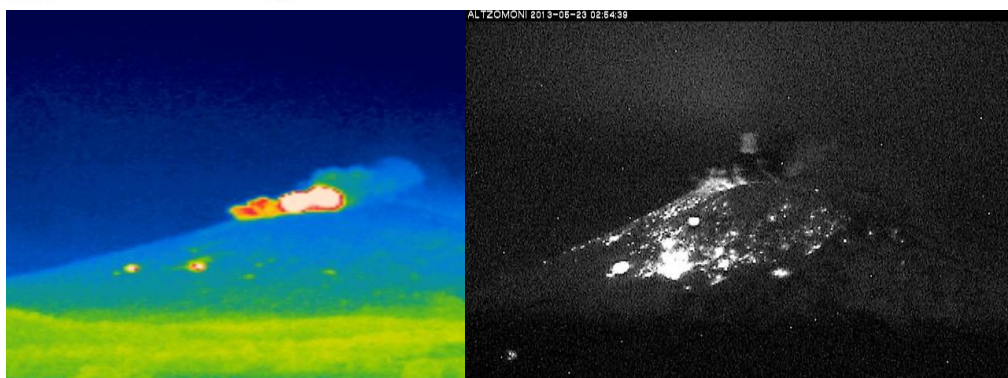


Figura 9 Imágenes térmica y visual de los fragmentos incandescentes lanzados por la explosión de las 07:56h GMT del 23 de mayo. La temperatura de los fragmentos se calculó en 96°C

Después de 36 h de relativa calma sísmica, el martes 28 de mayo, a las 10:03 h GMT, se produjo una explosión que tuvo diversas características diferentes: La traza de esta explosión fue precedida por tres minutos de tremor de alta frecuencia, y fue seguida por un tren de exhalaciones de 9 minutos de duración. Al contrario que en otras explosiones, la emisión de la columna de gases y cenizas se produjo en primer lugar, asociada al segmento de tremor, y posteriormente se presentó la emisión de fragmentos incandescentes, en menor cantidad que durante la explosión del 15 de mayo, por ejemplo (Figura 10).

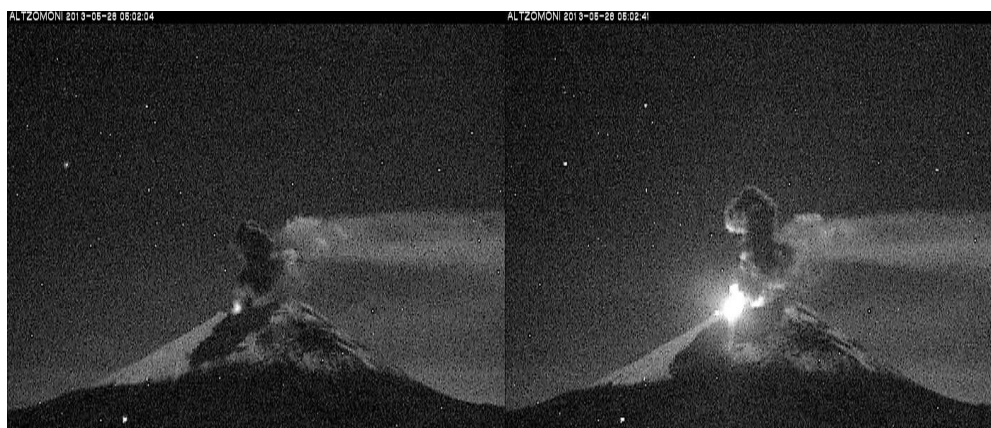


Figura 10 Imágenes de la explosión del 28 de mayo ocurrida a las 10:03 h GMT. Observe la emisión de cenizas y la posterior emisión de fragmentos

En junio el número de exhalaciones registradas tuvo un notorio incremento, pues se registraron 1,835 exhalaciones, 400 más que el mes anterior. Así mismo, se registró un total de 42 explosiones, acompañadas por la emisión de ceniza y algunas veces fragmentos incandescentes. El 4 de junio se presentaron dos explosiones que generaron columnas eruptivas mayores a un kilómetro de altura (Figura 11), provocando que el número de exhalaciones se incrementara a 93 durante los dos días siguiente.

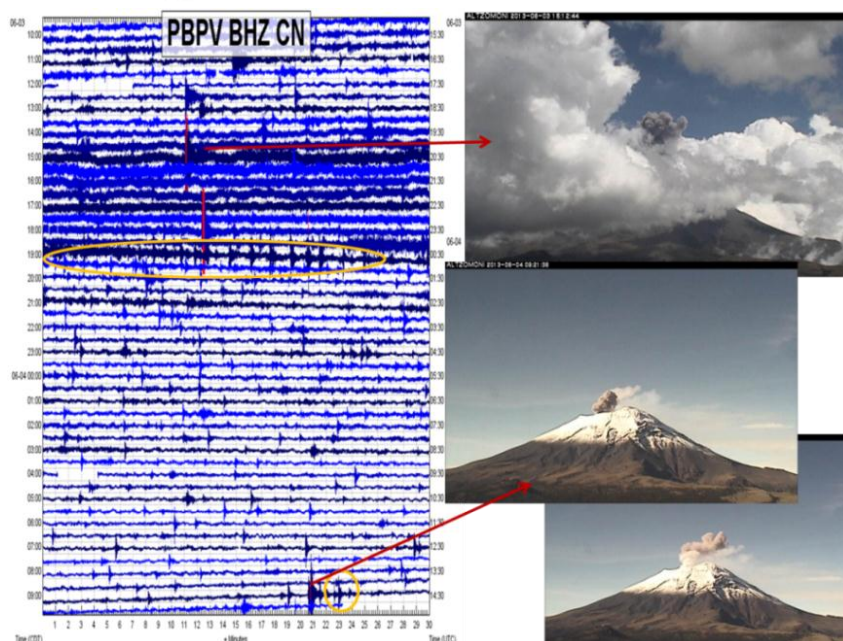


Figura 11 Registro sísmico digital de la estación Canario Banda Ancha (PBPV) del 3 y 4 de junio, puede observarse el registro de numerosas señales de largo período y baja amplitud (“pulgas”).

La mañana del 10 de junio se presentó una explosión, que levantó una columna de gases y cenizas de 2.5 km de altura. El 14 de junio se registraron dos eventos explosivos; el primero, a las 17:16, generó una columna eruptiva de 1.5 km de altura y el segundo, a las 17:27, produjo una columna mayor a 3 km (Figura 12). Al día siguiente hubo menos de 40 exhalaciones y se presentó una explosión, con una columna de 2 km de altura, mientras que el 16 se registraron 82 exhalaciones, algunas de éstas con emisión de fragmentos incandescentes, principalmente sobre la ladera norte, a una distancia máxima de 500 metros (Figura 12).



Figura 12 Imágenes de las explosiones del 14 y 16 de junio

El 17 de junio a las 13:23 (hora local) ocurrió una explosión que generó una columna eruptiva de ceniza de más de 4 km de altura y lanzó fragmentos incandescentes a distancias de hasta 2 km del cráter, los cuales por su alta temperatura causaron pequeños incendios en la zona de pastizales, además de producir caída de ceniza en diversos municipios del Estado de México y Morelos (Figura 13). Al día siguiente se registraron 144 exhalaciones, mientras que el 19 el número se redujo a 69, con una sola explosión, con emisión de gases y cenizas de más de dos kilómetros de altura.

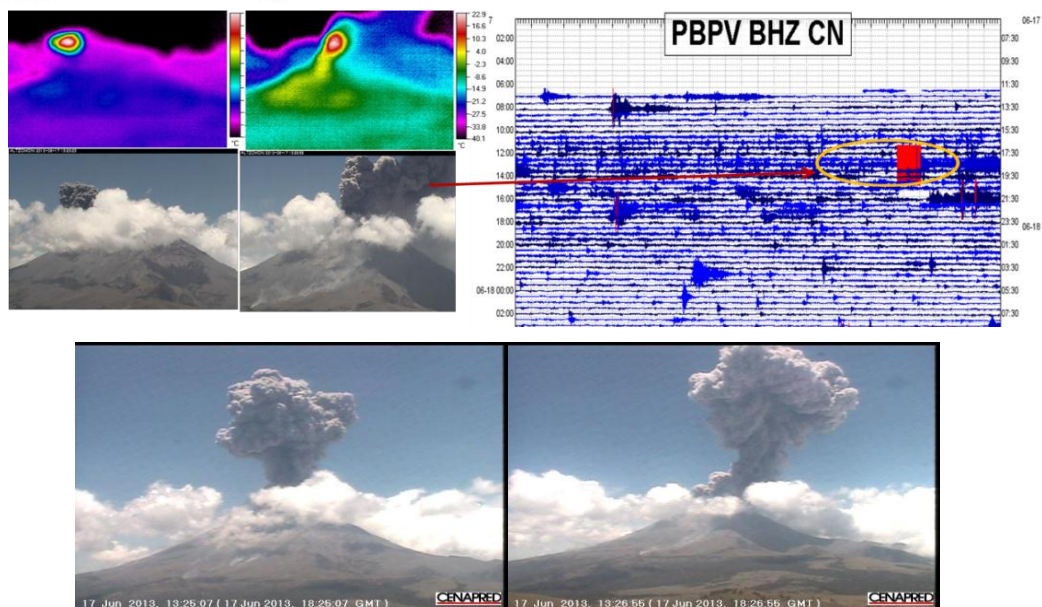


Figura 13 Registros sísmicos digitales, e imágenes visual y térmica de la explosión de las 18:23 h GMT del 17 de junio. Los fragmentos incandescentes se depositaron sobre todas las laderas del volcán a distancias máximas de 1.5 km, pero algunos de ellos rodaron hasta los 2 km

Los siguientes días, el número de exhalaciones diarias se mantuvo alrededor de 50, excepto el 28 de junio, en que se observaron 114 exhalaciones. Para el 29 y 30 de junio el número de exhalaciones decreció notablemente y se registraron en promedio 35 por día.

Durante los primeros días de julio ocurrieron en el volcán un promedio de 85 eventos de periodo largo al día. A partir del episodio de tremor y durante su desarrollo hasta el 11 de julio, el promedio de eventos de periodo largo decreció a 35 diarios. Antes del inicio del tremor se registraron algunos eventos explosivos, el más importante el día 3, a las 18:21 h, que dio inicio al desarrollo del tremor. A partir del 10 de julio y hasta el 20 los eventos explosivos aumentaron en número y amplitud. Los más importantes fueron los días 12, 14, 15, 17, 19 y 20 (Figura 14).



Figura 14 Imágenes de explosiones ocurridas del 12 al 19 de julio

Durante este periodo, en promedio se registraron 48 exhalaciones, con mínimos de 13 y 28 los días 20 y 21, respectivamente. A partir del 21 y hasta el 31, los eventos de periodo largo se incrementaron, alcanzando en promedio 65 al día, mientras que disminuyó la frecuencia e intensidad de los eventos explosivos, con eventos de pequeña magnitud el 22, 29 y 30 de julio.

Los cuatro primeros días del mes de agosto se presentaron más de 110 exhalaciones diarias. Además, se registraron seis explosiones, la mayor el 2 de agosto a las 09:34 h. La columna eruptiva alcanzó 3 km de altura sobre el nivel del cráter (Figura 15) y produjo caída de ceniza en

los municipios de Atlautla, Ozumba y Ecatezingo, Estado de México. Esta explosión marcó el inicio de un episodio de tremor de baja amplitud.



Figura 15 *Imágenes de las explosiones registradas durante los primeros días de agosto*

A partir del 5 de agosto el número de exhalaciones se redujo a menos de 40 diarias, aunque se presentaron también seis eventos explosivos. El día 11, el número de eventos de periodo largo se incrementó a 110, y posteriormente se redujo a menos de 50 exhalaciones del 12 al 18. El 19 de agosto se contabilizaron 192 eventos. Durante el resto del mes el número de registros se mantuvo fluctuante entre 30 y 50 eventos diarios.

Durante los primeros tres días de septiembre, el número máximo registrado de eventos de periodo largo fue de 10. El día 4 aumentó notablemente hasta 44 eventos. Al día siguiente se observaron 125. Los siguientes días el número de eventos de periodo largo se mantuvo fluctuando entre 20 y 80 por día. A partir del 14 y hasta el 21, el número de exhalaciones registradas descendió hasta un mínimo de 9 y máximo de 38.

El 22 de septiembre se registraron dos eventos explosivos, de los que no se tuvo registro visual debido a las condiciones climáticas. Entre el 22 y el 24 el número de eventos de periodo largo se mantuvo por debajo de 23 diarios. El 25 se registraron 126 eventos, en un episodio de tren de exhalaciones entre las 12:58 y las 15:00 h. Los días siguientes a este episodio, el número de eventos registrados se mantuvo por debajo de los 50 diarios. El 29 de septiembre se presentaron 70 eventos y el 30 de septiembre únicamente se registraron 30 exhalaciones (Figura 16).

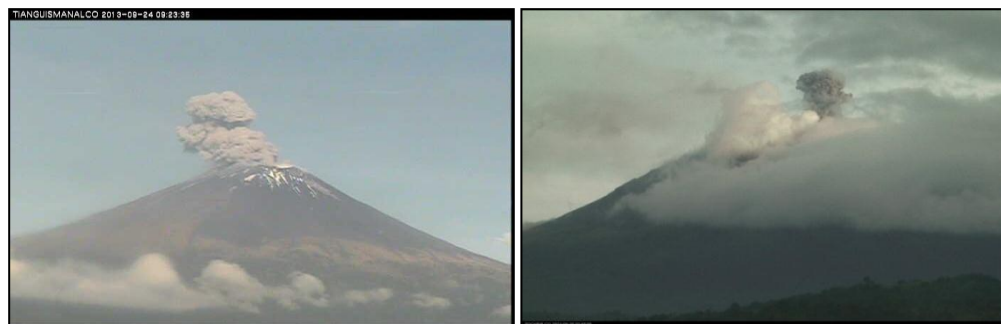


Figura 16 *Imágenes de las eventos de periodo largo más importantes registrados durante septiembre*

En la primera semana de octubre se presentaron en promedio 20 eventos de periodo largo por día. Entre el 8 y 9 hubo un incremento a 37 exhalaciones por día y dos eventos explosivos. Entre los días 10 y 12, las exhalaciones disminuyeron a 22, aumentando el 13 a 65 exhalaciones y dos eventos explosivos. El 14 se registraron 72 exhalaciones y 2 explosiones. Nuevamente del 15 al 27 el número de exhalaciones descendió, con máximo de 19 y mínimo de 5, y se registraron algunos eventos explosivos (Figura 17). El 30 y 31 se registraron 30 y 96 exhalaciones respectivamente.



Figura 17 *Imágenes de las eventos de periodo largo más importantes registrados durante octubre*

Durante los dos primeros días de noviembre se presentaron en el volcán 80 y 77 eventos de periodo largo, respectivamente; los días siguientes ocurrieron en promedio 37 eventos. El día 9 se presentó un notable incremento en el número de eventos, alcanzando 198. Además, se presentaron nueve explosiones. Este nivel elevado de actividad se mantuvo hasta el día siguiente, cuando se presentaron 95 exhalaciones y siete explosiones. Entre el 11 y el 14 el registro de eventos de periodo largo disminuyó y se mantuvo por debajo de 50 eventos al día. Entre los días 14 y 16 se registraron en el volcán 50 explosiones y 116 exhalaciones (Figura 18). Los eventos explosivos ocurridos durante estos días fueron de baja magnitud, no produjeron columnas de ceniza ni emitieron fragmentos incandescentes sobre las laderas.



Figura 18 *Imágenes de algunas explosiones en noviembre*

Después de las explosiones de los días 14 a 16, el número de eventos de periodo largo regresó a sus niveles bajos, ya que durante el resto del mes se registraron en promedio 16 exhalaciones, a excepción de los días 20 y 27, cuando el número de eventos de periodo largo fue de más de 50 por día. Además, del 25 al 27 se registraron 30 explosiones de baja magnitud.

Durante los tres primeros días de diciembre se presentaron, en el volcán, un promedio de 14 eventos de periodo largo al día. Los dos días siguientes el volcán entró en un episodio de calma y no se registraron eventos de periodo largo. Durante más de 48 horas, sólo se presentaron algunas señales asociadas a derrumbes y tres sismos volcanotectónicos. Entre los días 6 y 11 el volcán volvió a presentar un poco de actividad, aunque notablemente reducida con respecto a meses anteriores, pues se presentaron en promedio solo cinco eventos de periodo largo al día. Entre los días 12 y 14 el volcán entró en otro episodio de silencio sísmico, esta vez no se registraron eventos volcanotectónicos. Los días siguientes a este episodio, entre el 15 y el 19, el número de eventos de periodo largo aumentó considerablemente, pues en promedio se registraron 20 exhalaciones. Durante estos periodos fue común observar al volcán con una columna casi continua de vapor de agua y gas, que no dejaba registro sísmico (Figura 19). Del 20 al 31 de diciembre se redujo el número de eventos de periodo largo a solo 2 eventos por día, aunque hubo días en los que no se registró ni un solo evento, como el 21, 23 y 29 de diciembre.

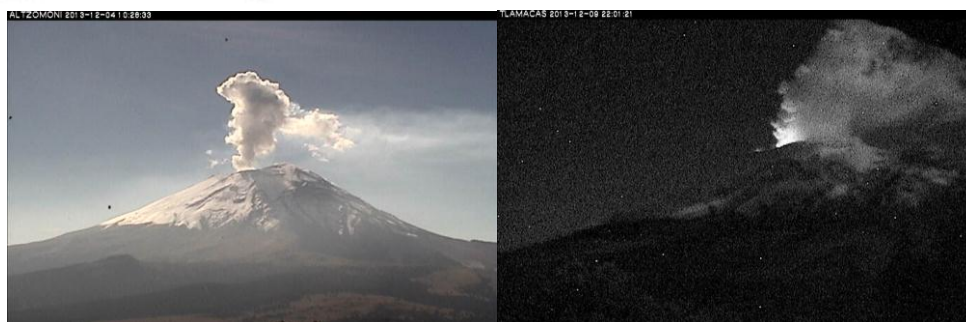


Figura 19 Imágenes de los principales eventos de periodo largo registrados en el Popocatepetl durante diciembre de 2013

TRENES DE EXHALACIONES

Durante el primer trimestre del año los principales trenes de exhalaciones se produjeron los días 10 de febrero, 7, 14 y 28 de marzo (Figura 20), y tuvieron varias horas de duración. También se produjeron los días 25, 26 y 28 de enero, 19 y 27 febrero, pero de menor amplitud y duración (de 5 a 30 minutos). El conjunto de estas secuencias de exhalaciones sumaron un total de 25.19 horas, 12 más que las registradas en el mismo período del año 2012.

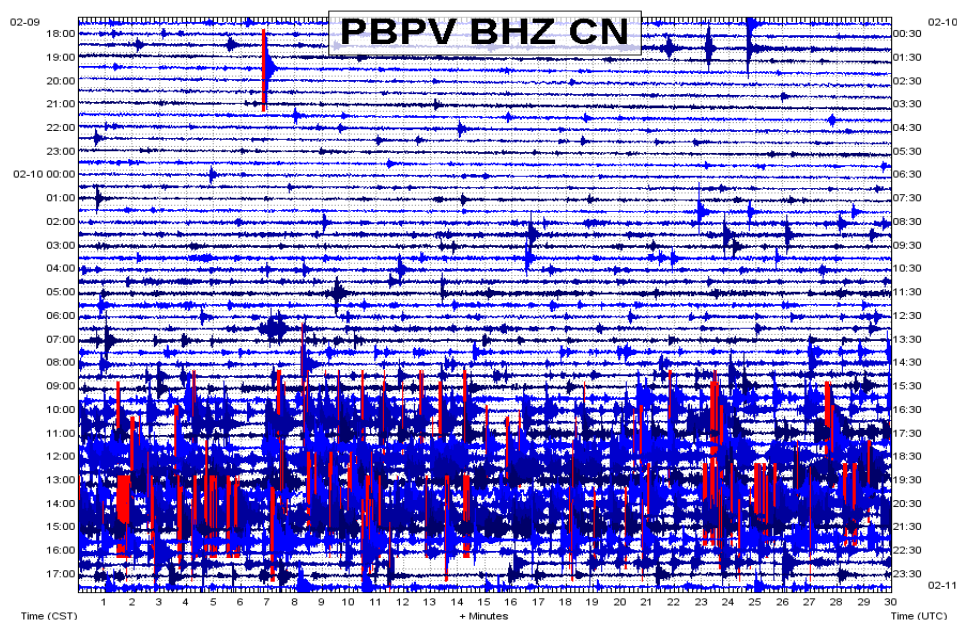


Figura 20 Registros sísmicos digitales de la componente vertical de la estación de banda ancha en Canario, del día 10 de febrero, con una duración de 7.3 horas

En el mes de abril se registraron 6.77 h de trenes de exhalaciones, representando una disminución importante con relación a los registrados durante febrero y marzo. Estos trenes se presentaron generalmente en segmentos cortos, de pocos minutos a media hora de duración, los días 1 y 14 a 19 de abril. Los trenes de exhalaciones más relevantes se registraron la tarde y noche del sábado 13, entre las 18:28 y las 20:24 h y entre las 22:06 y 00:44 h, con posterioridad al episodio de tremor de alta frecuencia más importante del mes (Figura 21).

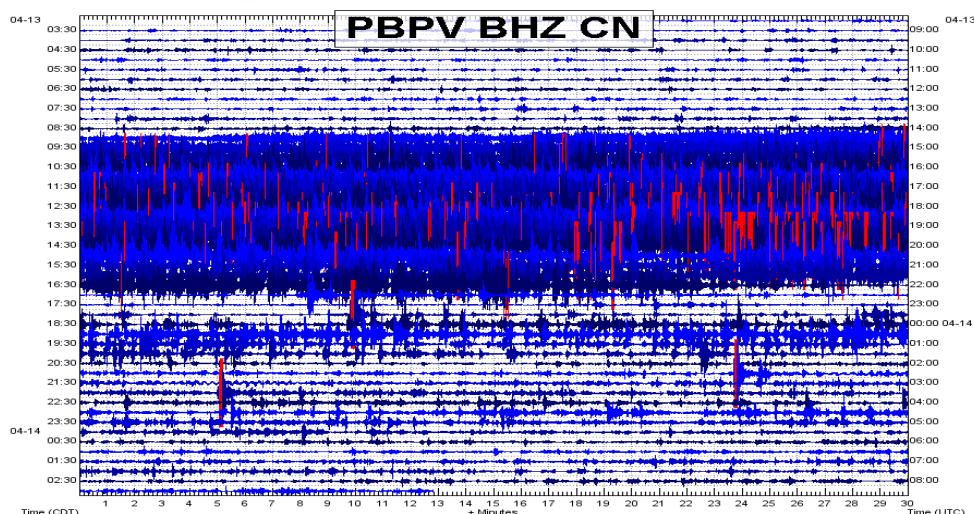


Figura 21 Registro sísmico digital de la componente vertical de la estación de banda ancha en Canario del tren de exhalaciones del día 13 de abril registrado entre las 23:28 y las 01:24 h GMT

El tren de exhalaciones de los días 18 y 19 de abril fue de menor duración. Fue seguido por algunos segmentos cortos de tremor armónico, un derrumbe, y la explosión de las 23:23 h local.

Durante el mes de mayo no se registraron episodios importantes de trenes de exhalaciones. Los días 10 y 11 se identificaron segmentos, de 40 y 20 minutos respectivamente, anteriores al inicio de los episodios de tremor armónico. El tren de exhalaciones más importante se registró la madrugada del 16, entre las 05:13 h y 05:47 h GMT y estuvo acompañado por la emisión continua de fragmentos incandescentes, que mayoritariamente se depositaron en el interior del cráter. Este tren se registró después del episodio de tremor de alta frecuencia del día 15 y de varios segmentos del mismo tipo de tremor pero con menor amplitud. Posteriormente, durante la madrugada del día 16 se registró un sismo volcánotectónico de magnitud 2.2 y una explosión a las 07:58 h GMT. En total, en el mes de mayo se registraron 1.4 h de trenes de exhalaciones.

TREMOR ARMÓNICO Y DE ALTA FRECUENCIA

Durante los meses de enero a marzo se registraron un total de 21.9 horas de tremor de tipo armónico y de alta frecuencia, de baja o muy baja amplitud, lo que representa un aproximado de 10 horas menos que el registrado durante el mismo período del año anterior. Cabe destacar que la baja amplitud de estas señales no las hace comparables con las registradas en el año 2012, ya que no supusieron incrementos significativos en la energía sísmica liberada.

En enero se registraron 6.26 horas de segmentos de tremor armónico y de alta frecuencia, de entre 1 y 20 minutos de duración, todos ellos de baja amplitud. El 95% de estas señales se presentaron los días 12, 13, 26 y 27 de enero, con duraciones totales de entre 1 y 2 horas.

En febrero solamente se registraron 30 minutos de tremor armónico, de baja amplitud, en segmentos cortos de 1 a 8 minutos de duración, los días 10 y 11 de febrero, asociado al tren de exhalaciones que se produjo durante esa misma jornada.

En marzo incrementó el registro de tremor, tanto en duración como en amplitud. Se registraron 15.15 horas de tremor armónico y de alta frecuencia, principalmente en los días 14 (armónico), del 17 al 19 (alta frecuencia), 23 y 29. El tremor registrado, asociado a los trenes de exhalaciones tuvo mediana amplitud, mientras que el tremor de los últimos días del mes fue de baja amplitud, similar al registrado durante el mes de febrero.

Durante el mes de abril se registraron un total de 41.50 horas de tremor, mayoritariamente de alta frecuencia (32.4 h). Durante la primera quincena, el tremor se registró en segmentos cortos, de 1 a 30 minutos de duración, y presentó baja o muy baja amplitud.

El episodio de tremor de alta frecuencia más importante se registró el día 13, con 8.5 h de duración, entre las 08:55 y las 19:22 h y tuvo gran amplitud. Con anterioridad a este tremor se había registrado, el día 12, un sismo volcánotectónico, de magnitud 1.9, a las 19:31 h (Figura 22). La frecuencia fundamental de este tremor se mantuvo entre 1.8 y 2 Hz, aunque en dos segmentos (a las 15:10-15:20 y a las 14:20-14:30 h) esta frecuencia bajó hasta 1.4 Hz (Figura 22).

La disminución en la frecuencia implica una longitud de onda mayor en cierto periodo de tiempo, lo que puede estar relacionado a una mayor libertad de movimiento del material, o bien, un conducto más “grande” o “limpio”. A razón de esto, resulta importante monitorear las variaciones de frecuencia que se pueden presentar dentro del tremor.

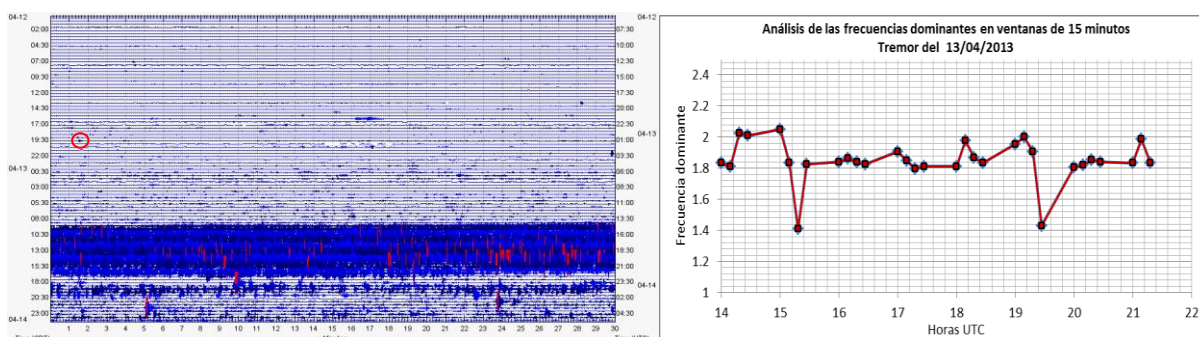


Figura 22 Sismograma digital de la estación de banda ancha en Canario, mostrando el registro de un sismo volcánotectónico la tarde del 12 y el episodio de tremor alta frecuencia el 13 de abril. A la derecha, se muestra la variación de frecuencias fundamentales de este episodio de tremor

El domingo 14 se registró otro importante episodio de tremor alta frecuencia, entre las 15:50 y las 19:00 h (hora local). El 15 se registran los primeros segmentos de tremor armónico de mediana amplitud, con una duración total de 1 hora. También se registraron segmentos de tremor armónico y otro episodio de tremor de alta frecuencia la tarde del 16 y la madrugada del 17, con 5 horas de duración total (Figura 23).

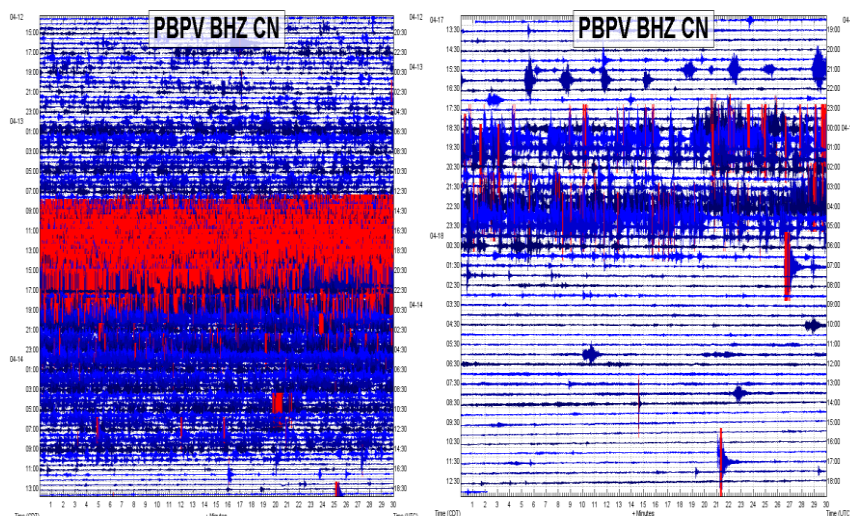


Figura 23 Registros sísmicos digitales de los episodios de tremor alta frecuencia y armónico entre el 13 y 17 y del 20 de abril

A partir del 19 de abril empezaron a registrarse eventos explosivos y se redujeron los episodios de tremor. Sin embargo, durante la madrugada del 20 y del 21 de abril se registraron segmentos de tremor de alta frecuencia con de baja amplitud, de hasta 5 horas de duración, los cuales estuvieron acompañados por la emisión de fragmentos incandescentes de forma intermitente pero frecuente.

El 28 de abril se registraron 2 h 20 minutos de segmentos de tremor armónico (Figura 24), después del enjambre de sismos volcanotectónicos de la mañana del 27 de abril y de un sismo volcanotectónico aislado, registrado a las 14:18 h (hora local) de magnitud 2.3. Este tremor presentó una frecuencia fundamental de 0.65 Hz en promedio, más baja que la de los segmentos de tremor armónico registrados el 15, 16 y 24 de abril.

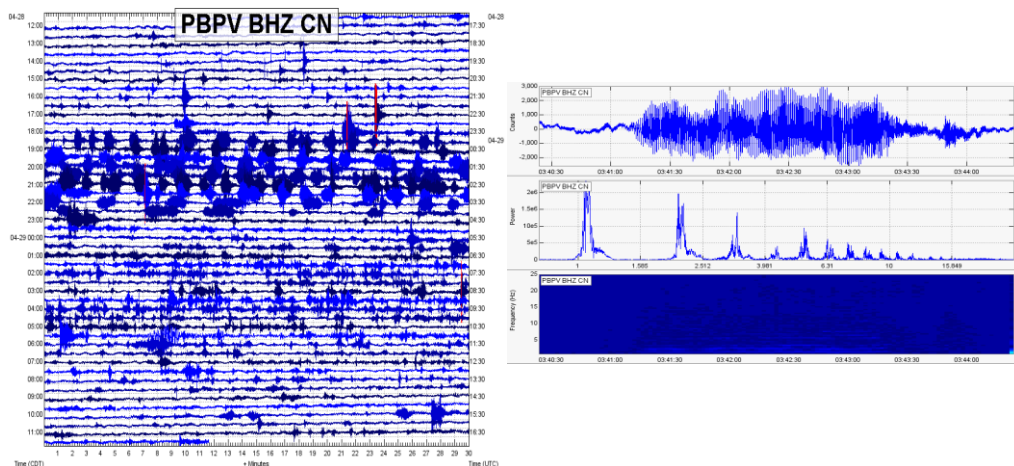


Figura 24 Registro sísmico digital de los segmentos de tremor armónico del 28 de abril y detalles del espectro y espectrograma, mostrando frecuencias fundamentales cercanas o inferiores a 1 Hz

Durante mayo fueron muy abundantes los episodios de tremor, los cuales sumaron un total de 99 horas. Se registraron 40 h de tremor de alta frecuencia, de mediana y gran amplitud, principalmente los días 8, 15, 19 y del 22 al 26 de mayo. Por otra parte, se registraron 42 horas de tremor armónico de mediana y gran amplitud, mayoritariamente entre los días 10 al 14 de mayo. Adicionalmente, se registraron 17 horas de tremor de alta frecuencia y baja amplitud, distribuidos en segmentos de 40 minutos hasta 3.5 horas, principalmente durante la segunda quincena del mes. Cabe señalar que a partir del 8 de mayo, prácticamente se registró algún segmento de tremor durante todos los días del mes.

El primer episodio importante de tremor alta frecuencia se registró 40 horas después del sismo volcanotectónico de magnitud 4.1, durante la tarde del día 7 y madrugada del día 8, con una duración total de 8 horas. Asociado a este evento se produjo la emisión de una columna de gases y cenizas, persistente, de 3.2 km de altura en dirección este-sureste y la emisión de fragmentos incandescentes a distancias máximas de 700 m, principalmente sobre las laderas norte y noreste.

Durante los días 10 a 14 de mayo se registraron diversos episodios de tremor armónico de mediana y gran amplitud, que fueron seguidos por otros cuatro días de actividad explosiva (14 al 17 de mayo). Los primeros segmentos de tremor armónico se registraron el 9 en la tarde y un poco antes de la medianoche del 10, y fueron de poca duración y mediana amplitud. Posteriormente, durante la tarde del viernes 10 se registraron 2 horas 10 minutos de este tipo de tremor (de las 17:31 h a 19:44 h GMT), con amplitud mayor. De igual forma se registraron 3 h 20 min de tremor armónico de gran amplitud, en segmentos cortos de uno a varios minutos, la

tarde del 11 (21:04 h a 00:28GMT). Sin embargo, los episodios más importantes de tremor se produjeron en la noche del 11 y madrugada del 12, entre las 03:10 y 09:58, con 6 h 40 min de duración total (Figura 25). Durante este episodio, el Semáforo de Alerta Volcánica se elevó de Amarillo Fase 2 a Amarillo Fase 3, por recomendación del Comité Científico Asesor del volcán Popocatepetl.

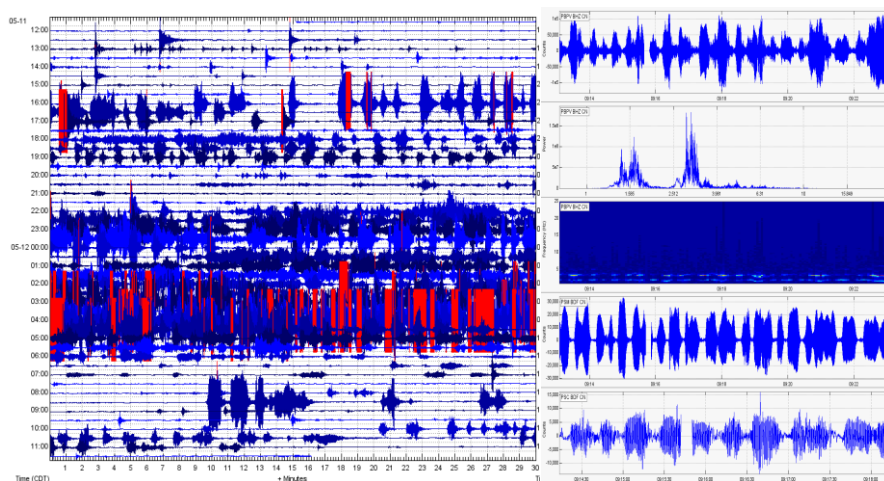


Figura 25 Registro sísmico, espectro y espectrograma de algunos tramos de tremor armónico registrados durante los días 11 y 12 de mayo

Después de 12 h de relativa calma sísmica, se reanudó el tremor armónico de gran amplitud durante la tarde y noche del 12 (3 h 50 minutos entre las 00:42 h a 05:28 h GMT) y la madrugada y mañana del 13 de mayo (5 h entre las 06:15h y 12:07 h y 1.5 h entre las 12:11h y las 15:15h GMT), sumando un total de 10 horas. Los últimos segmentos de tremor de este tipo se registraron la madrugada del 14, con una duración de 1 h 20 minutos (05:00h y 07:22 h GMT).

Después de poco más de siete horas se produjo la primera explosión, de la serie mencionada para el mes de mayo, el día 14 a las 14:56 h GMT. El día 15 en la madrugada se produjo la explosión más intensa de las registradas durante el año 2013, la cual fue seguida por un episodio de tremor de alta frecuencia de gran amplitud, que tuvo una duración total de 3.5 h. Horas más tarde se registró un nuevo episodio de tremor de alta frecuencia, de 1 h 10 minutos de duración, pero con la característica de presentar una única frecuencia dominante (monocromático). Finalmente, ya en la madrugada del día 16, se registró un tren de exhalaciones de corta duración (ver apartado anterior).

Los siguientes episodios importantes de tremor se produjeron los días 19, 22-23 y 25-26 de mayo, intercalándose con actividad explosiva y registro de sismos volcanotectónicos. El tremor durante estas jornadas fue de alta frecuencia y/o combinado. El día 19 se registraron 6 h 30 min de tremor de alta frecuencia de mediana y gran amplitud, en tres segmentos de 2 h de duración cada uno.

En la tarde-noche del martes 22 de mayo, después de 3 días con relativa ausencia de este tipo de señales, se reanudó el tremor de alta frecuencia, de mediana amplitud, en segmentos de 30 minutos a 1 hora de duración, hasta la madrugada del día 23. Esta actividad, se combinó con actividad explosiva y generó la emisión de una columna persistente de gases y cenizas, que se dirigió al oeste-noroeste y produjo caída de ceniza en los municipios del Estado de México cercanos al volcán.

Durante los días 24 y 25 continuaron registrándose segmentos de minutos a una hora de tremor alta frecuencia. En la noche del 25 de mayo, después de un enjambre de señales híbridas de volcanotectónicos, inició el último segmento importante de tremor de alta frecuencia y gran amplitud, que se prolongó por 4.5 h y tuvo también registro sónico.

A partir del 3 de junio empezaron a registrarse episodios de tremor armónico y de alta frecuencia, ambos de baja amplitud. El 9 de junio los episodios de tremor registrados se hicieron más largos, y a partir del 14 se acumularon cerca de 4 horas diarias, manteniendo ésta tendencia hasta el 17 (Figura 26). Posteriormente sólo se registraron episodios de tremor, de poca amplitud, los días 23, 25 y 26 de junio.

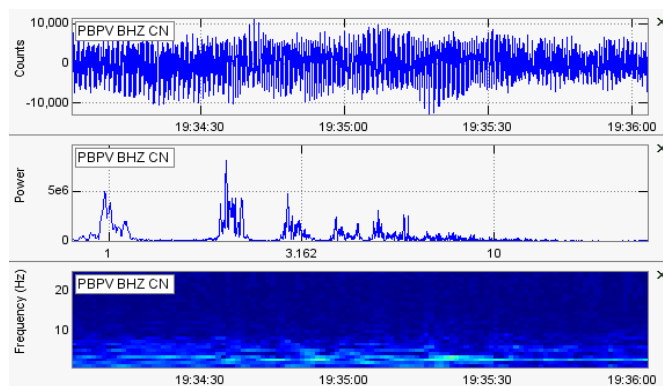


Figura 26 Registros sísmicos digitales de los episodios de tremor de los días 15 y 17 de junio de 2013. Traza, espectro y espectrograma de un segmento de este tremor

El 23 de junio se presentó un evento de tremor de alta frecuencia, que tuvo una duración de más de 10 horas y estuvo acompañado por emisión de ceniza (Figura 27).

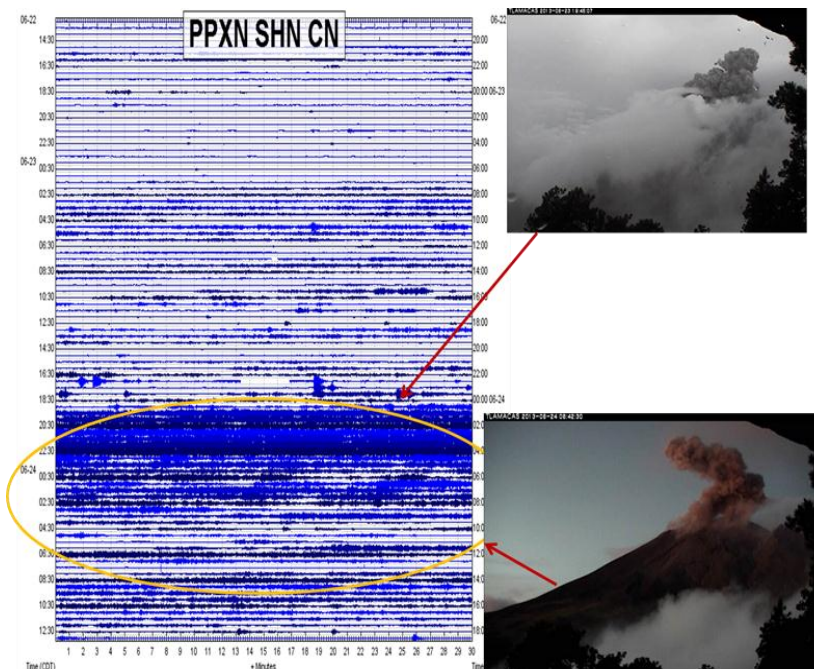


Figura 27 Registro sísmico digital de la componente vertical de la estación de banda ancha Canario del tren de exhalaciones del día 23 y 24 de junio registrado entre las 00:00 h

A partir del primero de julio, se registraron cortos episodios de tremor armónico y de alta frecuencia, con baja amplitud, que en los dos primeros días del mes sumaron poco más de tres horas de tremor. A partir del día 3, después de una explosión registrada a las 18:21 h, inició un episodio casi continuo de tremor armónico y de alta frecuencia, de gran amplitud (Figura 28). Este tremor en su fase inicial estuvo acompañado por la emisión persistente de una columna de gases y cenizas que alcanzó hasta 3.5 km de altura y se emitieron fragmentos incandescentes.

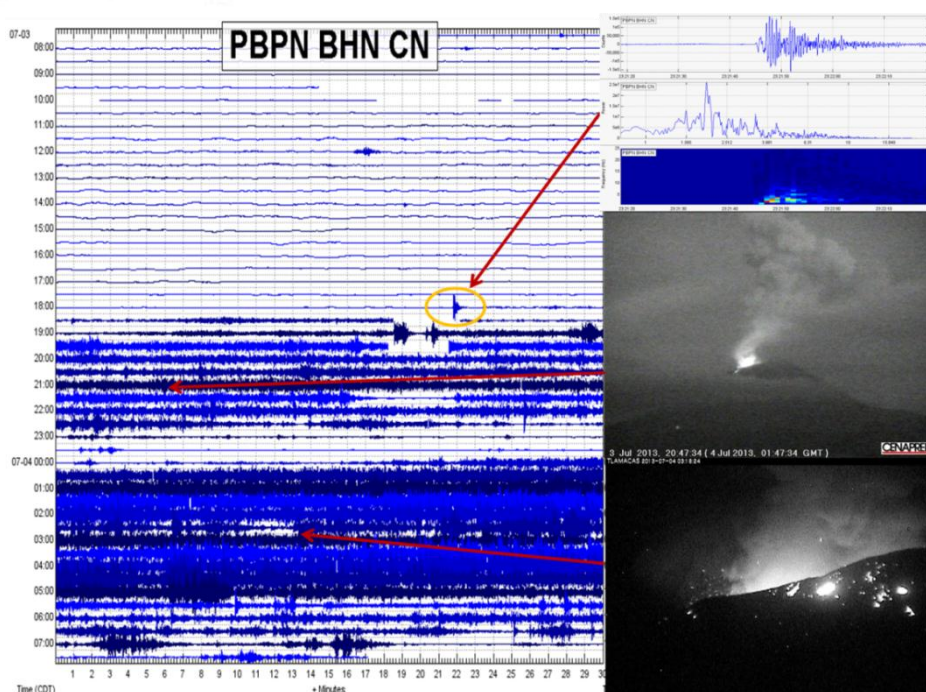


Figura 28 Registro sísmico digital de la estación Canario Banda Ancha (PBPB) del 3 y 4 de julio de 2013, donde puede observarse el registro del inicio del episodio de tremor

El episodio se prolongó hasta el 11 de julio, y en su fase intensa, los días 5 a 7 (Figura 29), se contabilizaron hasta 400 mil cuentas en la estación Canario vertical. También fue registrado por la estación sísmica Yautepec, del Servicio Sismológico Nacional, ubicada a 50 km del cráter. Durante este episodio se contabilizaron 111 horas de tremor de alta frecuencia y 83 horas de tremor armónico de gran amplitud.

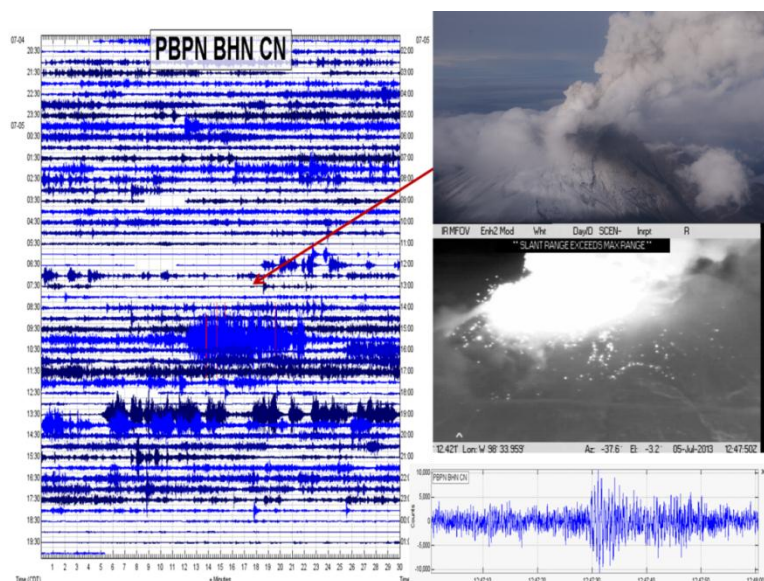


Figura 29 Registros sísmicos digitales del tremor que se presentó durante el 5 y 6 de julio de 2013

A partir del día 10, predominaron en el volcán las explosiones y sólo se presentaron segmentos aislados de tremor de baja y mediana amplitud los días 15, 17, 26 y 30 de julio, que sumaron 21 horas.

Después de las explosiones ocurridas el 2 y 3 de agosto, se registraron diversos episodios de tremor armónico y de alta frecuencia, ambos de baja amplitud, que sumaron cerca de seis horas. Del 4 al 17 se presentaron en promedio cinco horas de tremor diarias. El episodio de tremor registrado entre el 17 y el 18 tuvo casi 12 horas de duración.

A partir del 18 de agosto, los episodios de tremor se hicieron más largos aunque continuaron con baja amplitud, de tal manera que para el 20 de agosto se acumularon 30 horas. El día 21 no se presentó tremor, mientras que los días 22 y 23 los episodios duraron todo el día. El 24 hubo 11 horas de tremor de alta frecuencia (Figura 30). Del 25 al 31 los episodios de tremor de alta frecuencia promediaron tres horas al día, con excepción de los días 28 y 29, cuando se presentaron hasta 13 horas de tremor combinado cada día.

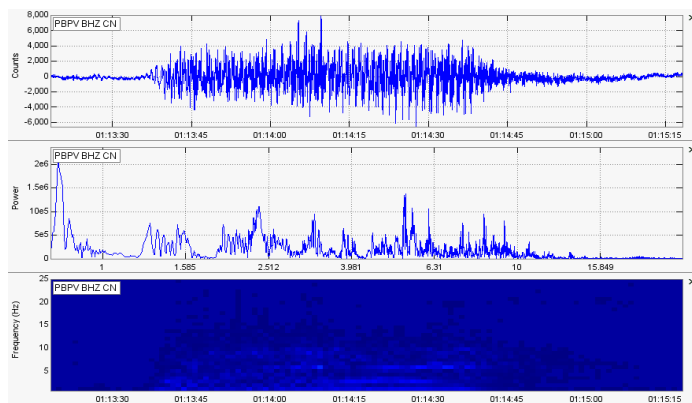


Figura 30 Registros sísmicos digitales del tremor que se presentó durante el 24 de agosto de 2013

El episodio de tremor del día 31 de agosto, que duró aproximadamente seis horas, estuvo acompañado por emisión de ceniza, que se depositó el primero de septiembre en las poblaciones de Tetela del Volcán y Ocuituco, estado de Morelos. Estos episodios disminuyeron en duración y amplitud en los primeros siete días de septiembre, en que se registraron, en promedio, solo cuatro horas de tremor de baja amplitud, acompañados por una persistente emisión de vapor de agua y gas (Figura 31). A partir del día 8 de septiembre, los episodios de tremor de baja amplitud sumaron menos de una hora al día, excepto el 14 que se sumaron 9 horas. Luego de estos eventos, los registros de tremor de baja amplitud fueron de menos de 15 minutos al día. A partir del 19 ya no se registraron episodios de tremor el resto del mes.



Figura 31 Imágenes de las emisiones de vapor de agua y gas registradas durante los episodios de tremor de septiembre

Durante octubre, únicamente hubo dos episodios de tremor de alta frecuencia y baja amplitud, los días 20 y 24 (Figura 32). Además, el día 27 se registraron 40 minutos de tremor armónico de baja amplitud.



Figura 32 Imágenes de las emisiones de vapor de agua y gas registradas durante los episodios de tremor de alta frecuencia de octubre

A lo largo de noviembre, el registro aumentó significativamente, ya que se presentaron más de 11 horas de tremor. Este tremor se presentó en episodios de corta duración durante las primeras tres semanas del mes. Entre el 1º y el 8 de noviembre hubo diversos episodios de tremor armónico de baja amplitud, que sumaron más de siete horas. Posteriormente, entre los días 9 y 11, únicamente se presentaron 10 minutos, mientras que entre el 12 y el 13 los episodios sumaron una hora y media. Del 14 al 17 predominaron en el volcán las exhalaciones y los eventos explosivos, por lo que no se originó tremor en el volcán. Finalmente, entre el 18 y el 24 de noviembre se produjeron únicamente dos horas de tremor, en episodios de corta duración. El más importante de ellos fue el ocurrido el día 20, que tuvo una duración de 80 minutos. En diciembre no se registró tremor.

MONITOREO DE LAS EMISIONES DE CENIZA ASOCIADAS A EVENTOS DE TREMOR Y EXPLOSIONES

El episodio de tremor del 13 de abril inició con una explosión a las 13:56 GMT, que generó una columna de gases y cenizas que se desplazó al N-NW, alcanzando pocos metros de altura debido a los fuertes vientos dominantes en la parte alta del volcán (Figura 33). Durante el episodio de tremor se registró, en diversas ocasiones, el lanzamiento de fragmentos incandescentes hasta distancias máximas de 500 m, sobre las laderas N y NE principalmente. De igual forma, los episodios de tremor de los días 14, 15 y 17 de abril estuvieron acompañados por emisión de fragmentos incandescentes y columnas persistentes de gases y cenizas, con alturas máximas de 1.5 km.



Figura 33 Emisión de la pluma de vapor de agua y gas del 13 de abril

Durante mayo se presentaron emisiones de ceniza la noche del 7 y madrugada del 8 de mayo (Figura 34) y la noche del 22 y madrugada del 23 de mayo. En el primer caso, la columna de gases y cenizas alcanzó un máximo de 3.2 km y se dirigió al este-sureste. Esta actividad provocó una intensa caída de cenizas en este sector, que cubrió un área mínima de 1,500 km² y depositó un volumen mínimo de 3×10^6 m³ de ceniza fina (Tabla 2, Figura 35). El aeropuerto de la ciudad de Puebla fue cerrado los días 8 y 9 de mayo. Para el 22 y 23 de mayo la columna de gases y

cenizas fue de menor altura, unos 1,300 m y se dirigió hacia el oeste-suroeste. La carga de cenizas fue mucho menor que durante el 8 de mayo, sin embargo se produjo caída de ceniza fina en Amecameca, Ozumba, Ecatzingo, estado de México y en Tetela del Volcán, en el estado de Morelos (Tabla 2, Figura 35).



Figura 34 Emisión de fragmentos incandescentes durante las primeras etapas del tremor alta frecuencia del 7 de mayo y parte basal de la columna de gases y cenizas persistente, la cual produjo una de las caídas de ceniza más importantes de los últimos años

El 23 de junio se presentó un evento de tremor de alta frecuencia que tuvo una duración de más de 10 horas y estuvo acompañado por emisión de ceniza (Figura 35). Producto de esta actividad, se registró caída de ceniza en diversos municipios del estado de México y en diversas delegaciones del Distrito Federal. Algunos aviones que provenían de Estados Unidos fueron desviados a aeropuertos cercanos, decisión que fue tomada por las aerolíneas y no por las autoridades del aeropuerto. Cerca de dos millones de personas estuvieron expuestas a estas cenizas (Figura 35). A partir del día 10, predominaron en el volcán las explosiones y sólo se presentaron segmentos aislados de tremor, de baja y mediana amplitud, los días 15, 17, 26 y 30 de julio, que sumaron 21 horas.

Las cenizas producidas durante estos eventos se dispersaron hacia el oeste, principalmente. El 4 de julio se presentó caída de ceniza en el D.F., mientras que el 9 los vientos cambiaron ligeramente y se presentó caída de ceniza en la parte norte del estado de Morelos (Figura 35). Durante estos eventos más de 13 millones de habitantes estuvieron expuestos a las cenizas.

Tabla 2 análisis de la caídas de ceniza de 2013 en el Sistema de Análisis y Visualización de Escenarios de Riesgo								
Cenizas/Fecha	23/05/13	24/06/13	4/07/13	9/07/13	3/08/13	13/08/13	14/08/13	18/08/13
Área km ²	155	1,600	2,230	1,140	210	50	220	800
Perímetro km	68	150	220	175	65	59	60	170
Volumen mínimo estimado m ³	300,000	3,000,000	3,500,000	1,700,000	316,000	85,500	32,700	1,119,000
Población expuesta								
Número de habitantes	60,000	6,600,000	13,149,247	725,599	59,111	40,760	57,460	828,357
Total de viviendas	7,560	-	-	14,250	12,427	8,804	12,141	212,751
Total de carreteras km	65	700	1,113	569	77	68	80	440

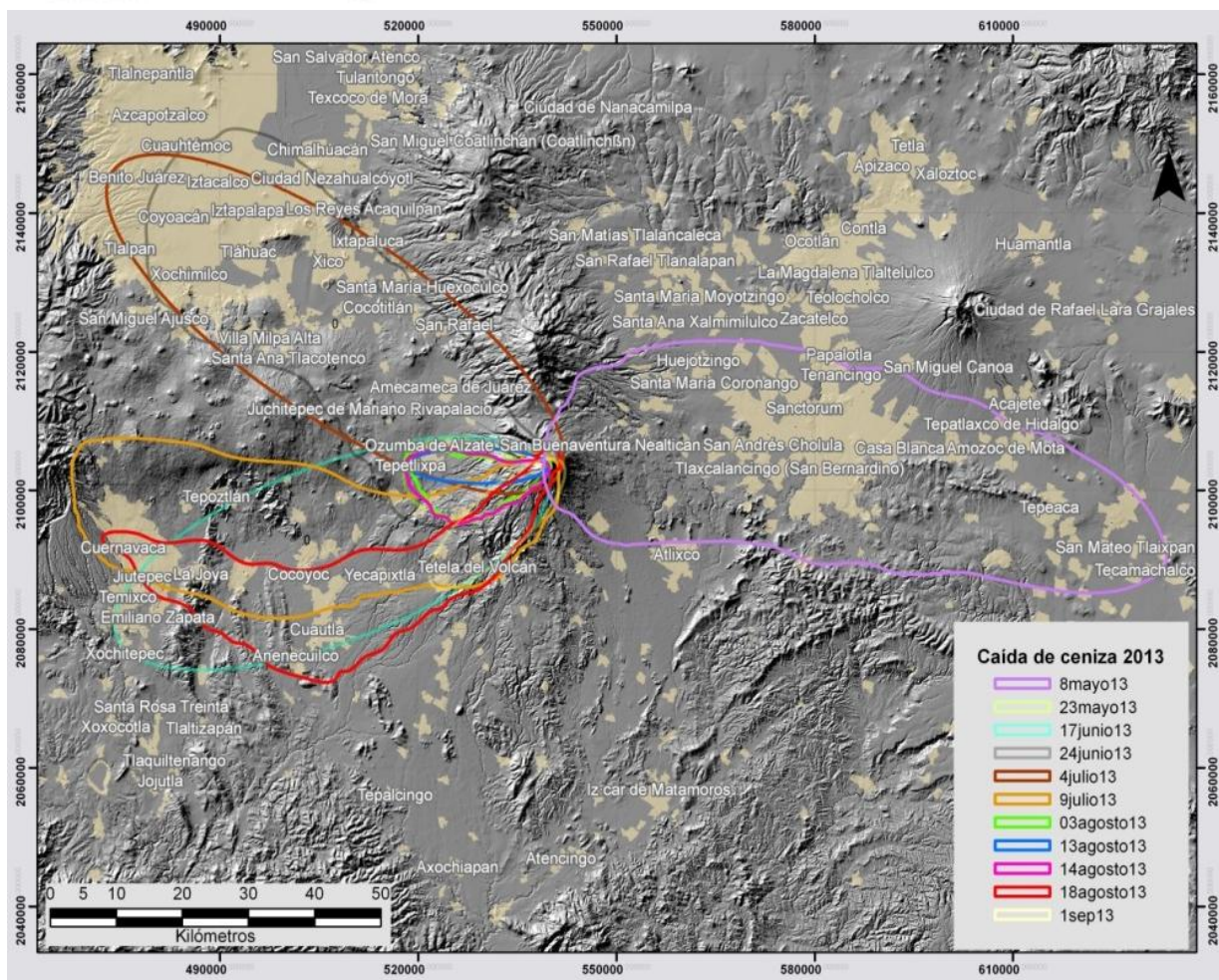


Figura 35 Distribución de los principales eventos de caída de ceniza de 2013

Los análisis de lixiviados realizados a estas cenizas mostraron un alto contenido de flúor, en especial las cenizas emitidas el 3 de julio (Tabla 3). Esto podría indicar un origen profundo del magma.

Muestra	mV	Δ	exp	Dilución	Conc. (ppm)
040713 Am 1	-6.9	2.4117	11.15	25	278.82
040713 Am 2	-7.1	2.4191	11.24	25	280.90
P030713 SP Nex 1	-22.9	3.0056	20.20	25	504.96
P030713 SP Nex 2	-22	2.9722	19.53	25	488.37
Cenapred 040713	-6	2.3783	10.79	25	270.41
Cenapred 040713	-6.1	2.3820	10.83	25	271.42

Tabla 3 Análisis de flúor de las cenizas emitidas en julio de 2013

Después de las explosiones de los días 2 y 3, se registraron diversos episodios de tremor armónico y de alta frecuencia, ambos de baja amplitud. Durante estos dos días, los episodios de tremor sumaron cerca de seis horas. Del 4 al 17 se presentaron en promedio cinco horas de tremor diarias. Fue especialmente importante el episodio registrado el 14, ya que estuvo acompañado por emisión de ceniza, que se depositó en las poblaciones de Ozumba, Tepetlixpa, Atlautla y Ecatingo, en el estado de México. El episodio de tremor registrado entre el 17 y el 18 tuvo casi 12 horas de duración; entre las 11:20 y las 13:30 h del 17, estuvo acompañado por una emisión de ceniza de hasta 1.5km de altura, con dirección al suroeste. Se recibieron reportes de

caída de ceniza en Tetela del Volcán, Ocuituco, Yecapixtla, Tlayacapan, Cuautla, Ayala y Cuernavaca (Figura 35). El episodio de tremor del 31 de agosto estuvo acompañado por la emisión de ceniza, que se depositó en las poblaciones de Tetela del Volcán y Ocuituco, Morelos.

SISMOS VOLCANOTECTÓNICOS

Durante 2013 se registraron, en el Popocatepetl, 337 sismos volcanotectónicos (Anexo 1). Este año fue especialmente relevante, pues el 6 de mayo se presentó el mayor sismo volcanotectónico registrado en la historia del volcán, con magnitud 4.1. Además, hacia finales de año se presentaron una serie de sismos que alcanzaron la profundidad record de cerca de 22 kilómetros, por lo que son los eventos más profundos registrados en el Popocatepetl.

El número de eventos volcanotectónicos registrado durante el primer trimestre de 2013 fue de 44 (8 en enero, 16 en febrero y 20 en marzo). Las magnitudes de los 44 sismos reportados variaron entre 1.5 y 2.8, aunque debe destacarse el sismo de magnitud 3.3 registrado el 17 de febrero a las 23:51 GMT. Por otra parte es importante señalar que el 12 de febrero se registró una secuencia de volcanotectónicos y de híbridos de volcanotectónicos en forma de enjambre.

En abril se registraron 29 sismos volcanotectónicos, la mayor parte de los cuales se presentó en dos enjambres, registrados los días 6 (8 eventos) y 27 de abril (10 eventos). El conjunto de volcanotectónicos identificados tuvieron magnitudes coda entre 1.4 y 2.8 y profundidades entre 10 y 2.8 km bajo el cráter. Los epicentros se localizaron con una orientación SE-NW, desde el cráter hasta la barranca de Nexpayantla. Cabe remarcar que el sismo volcanotectónico registrado el 7 de abril (02:33 h GMT del 8 de abril), de magnitud 2.9 y localizado a 5.7 km de profundidad con referencia al cráter, fue reportado como sentido en Tetela del Volcán.

El enjambre de sismos volcanotectónicos e híbridos de volcanotectónicos de la noche del 5 de abril (6 de abril GMT; Figura 36) se registró entre las 20:49 h y las 21:36 h (hora local). Se identificaron 8 sismos con magnitudes entre 1.7 y 2.8. Los más grandes fueron los registrados a las 03:20 h y 03:28 h GMT, con magnitudes 2.8 y 2.4 respectivamente. El primero de ellos es el sismo volcanotectónico de mayor magnitud del mes de abril. En este enjambre se registraron volcanotectónicos con una prefase de baja frecuencia (Figura 37).

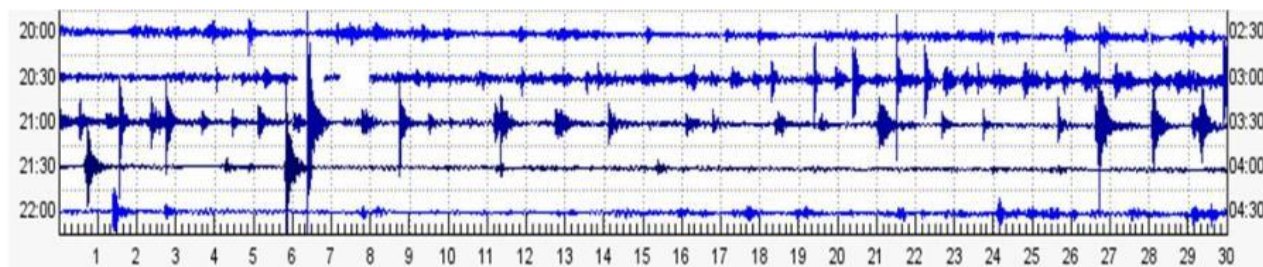


Figura 36 Enjambre de sismos volcanotectónicos registrado el 6 de abril de 2013

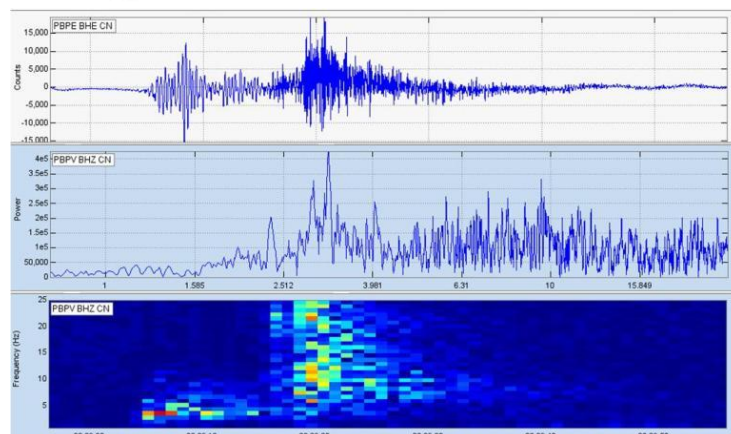
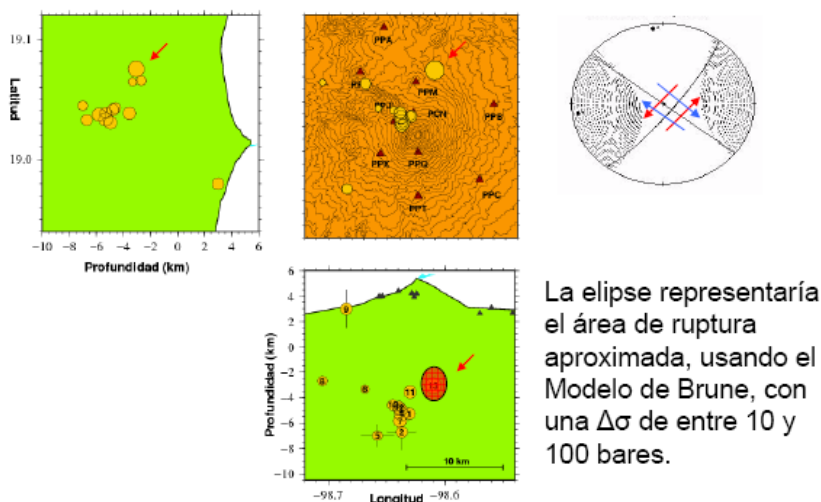


Figura 37 Traza, espectro y espectrograma del sismo volcanotectónico de las 03:29 h GMT, con una prefase de baja frecuencia, dentro del enjambre del 5 abril

El enjambre del 27 de abril ocurrió entre las 11:24 y 12:31 h (hora local) y se registraron 16 señales, entre sismos volcanotectónicos e híbridos de volcanotectónicos, de los cuales se calcularon y localizaron 10. Las magnitudes estuvieron en un rango entre 1.7 y 2.4, a una profundidad promedio de 6 km y con una orientación desde debajo del cráter hasta debajo del flanco noroeste del volcán. Este episodio fue interpretado por el Comité Científico Asesor como la intrusión de un dique en ese sector.

En mayo se registraron 41 sismos volcanotectónicos, de los cuales 20 pudieron ser localizados. Algunos de estos sismos se presentaron en enjambres los días 9, 11 y 18 de mayo. Las magnitudes oscilaron entre 1.4 y 2.8, con excepción del sismo del 6 de mayo de las 08:33 h GMT, de magnitud 4.1. Este sismo, el de mayor magnitud en la historia reciente del volcán, ocurrió a 6 km de profundidad bajo el flanco noreste del volcán. Fue registrado en todas las estaciones de la red de monitoreo del volcán Popocatepetl, así como en la red del volcán Pico de Orizaba y en varias estaciones del Servicio Sismológico Nacional. Esta institución calculó el mecanismo focal de este sismo, resultando ser los esfuerzos de tipo transcurrentes (Figura 38)



La elipse representaría el área de ruptura aproximada, usando el Modelo de Brune, con una $\Delta\sigma$ de entre 10 y 100 bares.

•	DATE	ORIGIN	LAT N	LONG W	DEPTH	MAG	NO	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ	
•	130506	833	28.20	19- 4.51	98-36.60	6.05	4.10	8	92	2.1	0.47	1.4	1.1

Figura 38 Localización y mecanismos focales del sismo de magnitud 4.1 del 6 de mayo (Servicio Sismológico Nacional)

Después de este sismo, los epicentros de los volcanotectónicos que se registraron durante todo el mes se concentraron en los alrededores del cráter, a profundidades entre 4 y 8 km.

Posteriormente hubo una migración de los hipocentros a posiciones debajo del cráter. Solamente el sismo del 23 de mayo de las 17:08 GMT fue más somero, y se localizó a una profundidad de 1.7 km de profundidad con relación al cráter del volcán. Finalmente, los dos sismos del 27 de mayo, de magnitudes 2.7 y 2.8, se localizaron a mayores profundidades, a 13 y 12 km respectivamente, pareciendo indicar el inicio de un nuevo proceso de intrusión, similar al ocurrido un mes antes, durante el enjambre del 27 de abril.

Cabe mencionar que durante varias jornadas del mes de mayo se registraron enjambres, de 30 minutos a 1 hora de duración, de señales de alta frecuencia, los cuales incluían algunos sismos volcanotectónicos y varias señales que se clasificaron como híbridos de volcanotectónicos. Estos enjambres se identificaron los días 16, 17, 19, 20, 21, 23 y 25 (Figura 39). Este último fue inmediatamente anterior al inicio del episodio de tremor alta frecuencia de la noche-madrugada del 26 de mayo, el último importante de este mes.

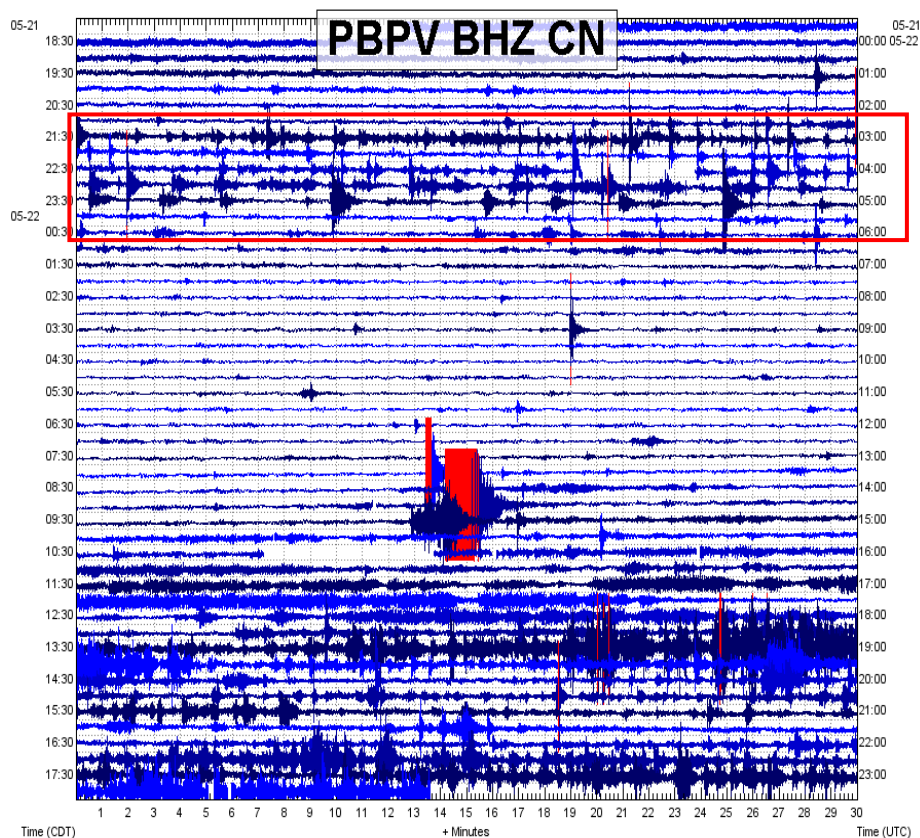


Figura 39 Enjambre de señales de alta frecuencia, con sismos volcanotectónicos e híbridos de volcanotectónicos, del día 21 de mayo, anterior al inicio de los episodios de tremor alta frecuencia

A lo largo de junio se presentaron 69 sismos volcanotectónicos, de los cuales sólo 37 pudieron ser localizados. En los tres primeros días de junio se registraron dos al día, de magnitud entre 1.7 y 2.5. El 5 de junio se presentó un sismo de magnitud 2.3. Posteriormente, la tarde del 6 se registraron, en menos de tres horas, tres volcanotectónicos de magnitud entre 2.4 y 2.8. En la madrugada del 7 se registró un nuevo sismo de magnitud 2.5. El número de sismos volcanotectónicos por día se incrementó los días 8 y 9, se presentaron 4 y 6 sismos volcanotectónicos respectivamente, de magnitudes entre 1.2 y 2.4. Además, a partir del 9 de junio se presentaron episodios de tremor armónico y de alta frecuencia, ambos de baja amplitud.

El 10 de junio ocurrió una explosión que generó una columna eruptiva de más de 2.5 kilómetros. Al día siguiente se registraron 7 sismos volcanotectónicos, de magnitud entre 1.7 y 2.5. Durante los siguientes tres días no se registraron eventos volcanotectónicos, hasta la madrugada del 14 cuando se registró un evento de magnitud 2.3.

El 15 de junio a las 13:55 h se registró un sismo volcanotectónico de magnitud 2.3 que se localizó a 3 km bajo el cráter. Tres horas después ocurrieron 2 explosiones con columnas eruptivas de hasta tres kilómetros de altura. Los siguientes tres días no se presentaron volcanotectónicos. El 18 ocurrieron dos eventos de magnitud 1.8 y 1.9. Los siguientes días continuaron presentándose al menos un volcanotectónico por día, de magnitud alrededor de dos, hasta la noche del 25, cuando se registró el evento más grande del mes. A las 23:56 se detectó un sismo volcanotectónico, de magnitud 3.6, situado al sureste del cráter (Figura 40) y a 2 km de profundidad, y que fue seguido por otros seis sismos de magnitudes alrededor de 2.0.

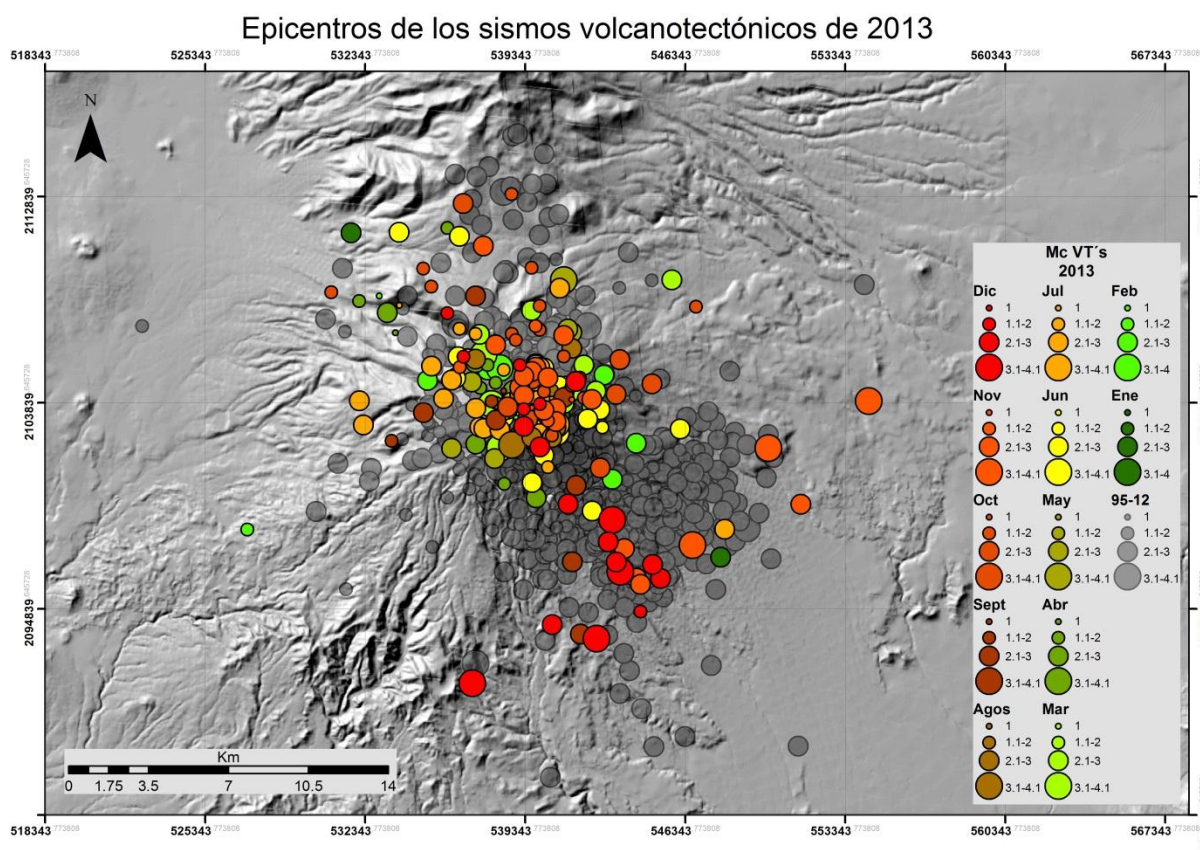


Figura 40 Epicentros de los eventos sísmicos ocurridos en 2013

Entre el 26 y el 28 de junio se registraron nueve eventos volcanotectónicos, de magnitudes alrededor de 2.5, el más grande se presentó el 27 a las 18:38, de magnitud 2.8. El 29 se registraron cuatro sismos volcanotectónicos de magnitud cercana a 2.0, mientras que el 30 hubo cinco eventos de magnitudes superiores a 2. Posterior a los dos sismos del 27 de mayo, de magnitudes 2.7 y 2.8, que se localizaron a profundidades de 13 y 12 km respectivamente, la sismicidad de junio se focalizó prácticamente al interior del cono volcánico.

Entre el primero y el 3 de julio se registraron 18 eventos volcanotectónicos de magnitudes 1.3 y 2.6. El 3 de julio, a partir de las 17:42 h, se registró un episodio de tremor acompañado por la emisión de cenizas. Durante los días siguientes, mientras persistió el episodio de tremor del cuatro al once de julio, sólo se presentaron seis volcanotectónicos, de magnitudes menores a 2.6.

La fase intensa del episodio de tremor concluyó el 11 de julio. A partir del 12, el número de sismos volcanotectónicos se incrementó; se registraron cuatro volcanotectónicos de magnitudes 2 a 2.5, el 14 de julio se registró uno de magnitud 2.5 y el día 15 seis, de magnitudes entre 1.7 y 2.3. Entre el 16 y el 21 se presentó un sismo volcanotectónico por día, con magnitud entre 1.8 y 3.1. El más importante fue el registrado el día 20 a las 19:57 h, de magnitud 3.1. Entre el 21 y el 27 no se registraron sismos volcanotectónicos. Durante los cuatro últimos días del mes se registraron ocho sismos volcanotectónicos, siendo especialmente importantes los registrados el día 28, de magnitud 3.4 y durante la noche del 29 y la tarde del 30, cuando se contabilizaron seis sismos de magnitudes entre 1.7 y 2.9.

Los primeros sismos registrados durante julio, se presentaron prácticamente debajo del cráter, a profundidades que oscilaron alrededor de 5 km. Hacia mediados del mes se localizaron algunos sismos más profundos, que alcanzaron hasta 7.4 km bajo la cima, como el ocurrido el 15 de junio de magnitud 2.2. Posteriormente, los sismos tendieron a ubicarse lejos del volcán, hasta a 4 kilómetros de la cima y a profundidades mayores a 8 km.

En total, en agosto se registraron 16 sismos volcanotectónicos, de los cuales se pudieron localizar 15. De especial relevancia fue el evento ocurrido el día 2 a las 16:16 h, de magnitud 3.0, siete horas después de que se presentó la explosión de las 09:34 h que alcanzó 3 km de altura sobre el nivel del cráter, y previo a los episodios de tremor que ocurrieron en días posteriores. Durante la parte más intensa de los episodios de tremor no se registró ningún volcanotectónico, aunque después de este evento, se registraron sismos los días 8, 13 y 16, de magnitud 2, 2.6 y 2.5, respectivamente. El día 25 se registró un VT de magnitud 2.8 y el día 26 uno de 3.1, que es el más importante registrado durante agosto. Los días 28, 30 y 31 se presentaron en total cuatro eventos volcanotectónicos de magnitudes entre 2.3 y 2.5.

Los sismos registrados durante agosto se presentaron prácticamente debajo del cráter, a profundidades que oscilaron entre 1 y 6 km. Hacia fines de mes se localizaron algunos sismos más profundos, hasta a 9.3 km bajo la cima, como el del 26, con magnitud 3.1. Posteriormente, los sismos tendieron a acercarse al cráter del volcán y ocurrieron sismos que se localizaron a menos de 2 kilómetros de la cima y a profundidades menores a 5km (Figuras 41 a y b).

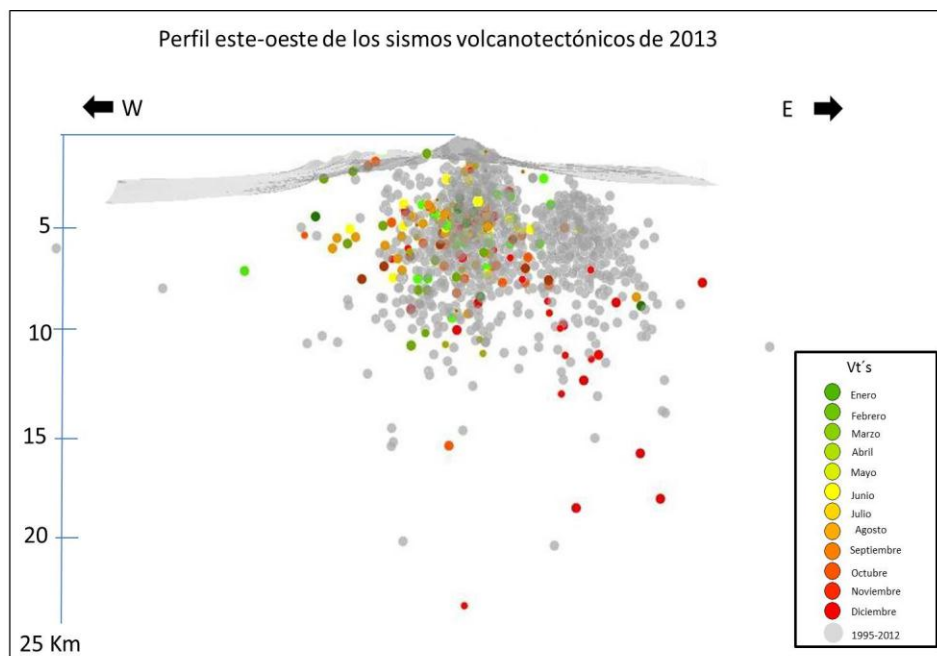


Figura 41a Perfil E-O, hipocentros de los sismos volcanotectónicos registrados durante 2013

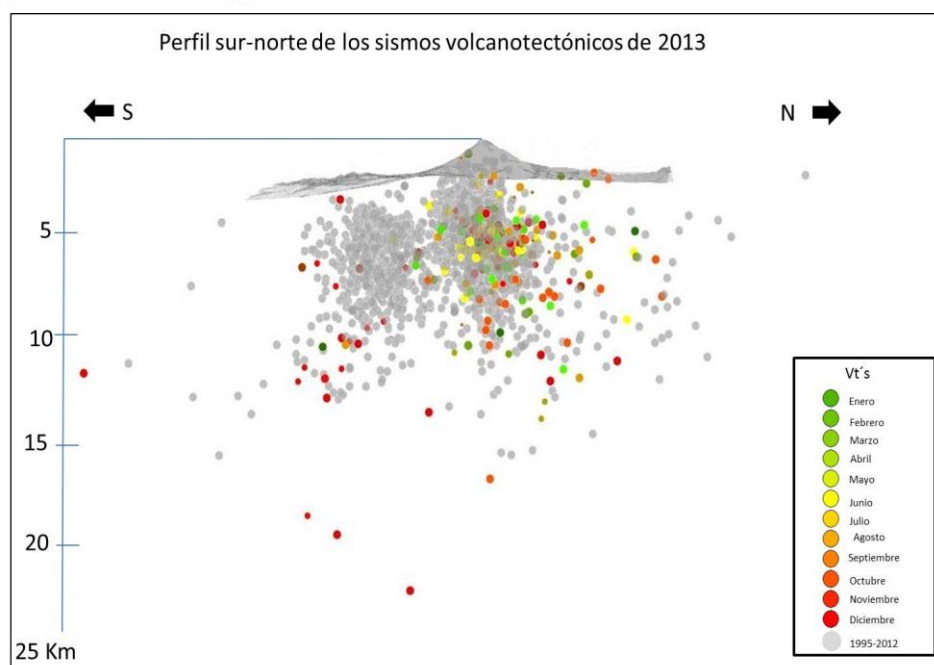


Figura 41b Perfil S-N, hipocentros de los sismos volcanotectónicos registrados durante 2013

En septiembre se registraron 28 sismos volcanotectónicos, de los cuales sólo se pudieron localizar 11. Durante los primeros dos días de septiembre, mientras se presentaba la fase más intensa de tremor ocurrido en este mes, no se registraron eventos volcanotectónicos. Los primeros volcanotectónicos del mes se presentaron el día 3 y tuvieron magnitudes menores a 2.2. El 5 se presentaron tres eventos, el más importante de magnitud 3, seguido de otro el día 11, de magnitud 1.9, y otro más el día 13, de magnitud 2.6. El 16 de septiembre se registró un evento de magnitud 3; junto con el del día 5, son los más importante registrados durante este mes. Posteriormente, entre el 20 y el 30 se presentaron 22 eventos volcanotectónicos, de magnitudes entre 1.6 y 2.9. Los sismos registrados durante septiembre se presentaron alejados del cráter, a distancias mayores a dos kilómetros y en algunos casos, como el día 6, hasta a 7 kilómetros al sureste del cráter (Figura 40). Durante septiembre, los sismos se localizaron entre 4 y 7 kilómetros de profundidad (Figura 41).

Durante la primera semana de octubre se presentaron seis sismos volcanotectónicos, con magnitudes entre 1.4 y 2.3. Del 10 al 14 se registraron solo cuatro eventos, de magnitudes entre 1.4 y 2.2. Entre el 17 y el 26 ocurrieron 12, de magnitudes entre 1.3 y 2.8; el más importante fue el del 22 de octubre, con magnitud de 2.8. Finalmente, el día 31 se registró un evento aislado de magnitud 2.1. Los sismos registrados durante octubre tuvieron epicentros cercanos al cráter, a distancias menores a dos kilómetros, y en algunos casos estuvieron más alejados, hasta a nueve kilómetros del cráter (Figura 40). Durante octubre los eventos volcanotectónicos se localizaron principalmente entre 2 y 9 kilómetros de profundidad. Sin embargo, el sismo del 25 de octubre, que se localizó a 17 kilómetros de profundidad (Figura 41), fue hasta ese momento el más profundo en la historia eruptiva reciente del volcán.

Durante la primera semana de noviembre se presentaron seis sismos volcanotectónicos, con magnitudes de 1.9 a 2.9, principalmente el día 6. Posteriormente, entre los días 7 y 9 no se presentaron eventos volcanotectónicos. Del 10 al 18 se registraron solamente ocho eventos, de magnitudes entre 1.4 y 2.7. El día 21 se presentaron cuatro eventos volcanotectónicos, los más importantes fueron los tres sismos ocurridos entre las 13:33 y las 14:29 h de magnitudes entre 3.1 y 3.5 (Figura 42).

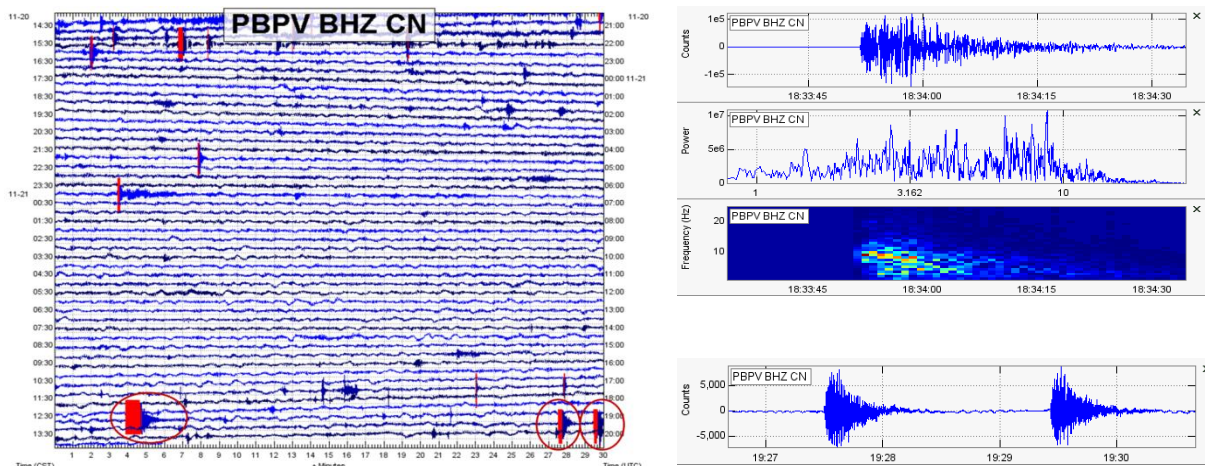


Figura 42 Registro sísmico de los eventos ocurridos el 21 de noviembre de 2013

Los sismos volcanotectónicos ocurridos al mediodía del 21 de noviembre se presentaron de manera secuencial. El primero de ellos ocurrió a las 12:33 h (18:33 GMT), se localizó 8 km al sureste del cráter (Figura 40) y tuvo una profundidad de 8.2 km (Figura 41). Después de este evento se presentaron dos sismos más, a las 13:27 (19:27 GMT) y 13:29 (19:29 GMT) de magnitud 3.1 y 3.2, respectivamente (Figura 42). El evento de las 13:27 h se localizó 10 km al este-sureste del cráter y tuvo una profundidad de 18 kilómetros, superando en profundidad al ocurrido el 25 de octubre. El sismo de las 13:29 se situó 13 kilómetros al este del cráter, a 8.7 km bajo la cima del volcán (Figuras 41 y 43).

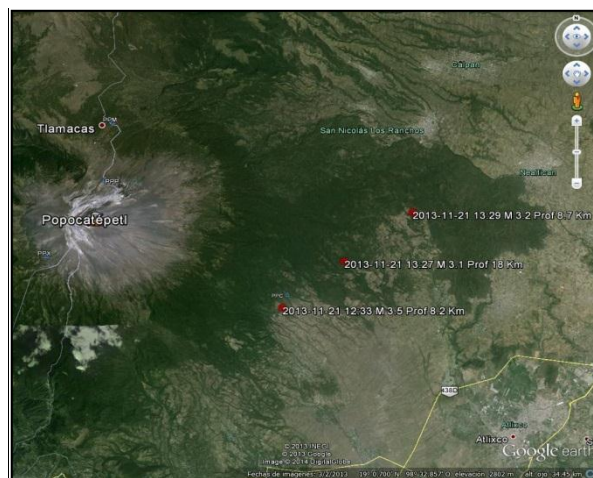


Figura 43 Epicentros de los sismos volcanotectónicos ocurridos el 21 de noviembre de 2013

Entre los días 22 y 29 de noviembre, se presentaron siete eventos volcanotectónicos con una periodicidad de casi uno al día. Éstos tuvieron magnitudes entre 2.1 y 2.9 y se localizaron cercanos al cráter, a distancias menores a 5 km (Figura 40).

Durante los primeros diez días de diciembre se presentaron en el Popocatepetl casi un evento volcanotectónico por día. Los más importantes fueron dos eventos que se presentaron el día nueve, ambos de magnitud 3.2. Durante los siguientes diez días no se registraron sismos volcanotectónicos. A partir del 19 nuevamente se registraron sismos volcanotectónicos, aunque de baja magnitud.

La tarde del día 24 (25 GMT) se registraron los dos eventos volcanotectónicos más importantes de este mes (Figura 44). Estos eventos ocurrieron a las 18:52 y 22:08 h, tuvieron

magnitudes de 3.4 y 3.2 respectivamente y se localizaron en la región sureste del volcán (Figura 40). Posteriormente a estos eventos, se presentaron los días 26 y 28 tres sismos volcanotectónicos de magnitudes entre 1.7 y 2.9.

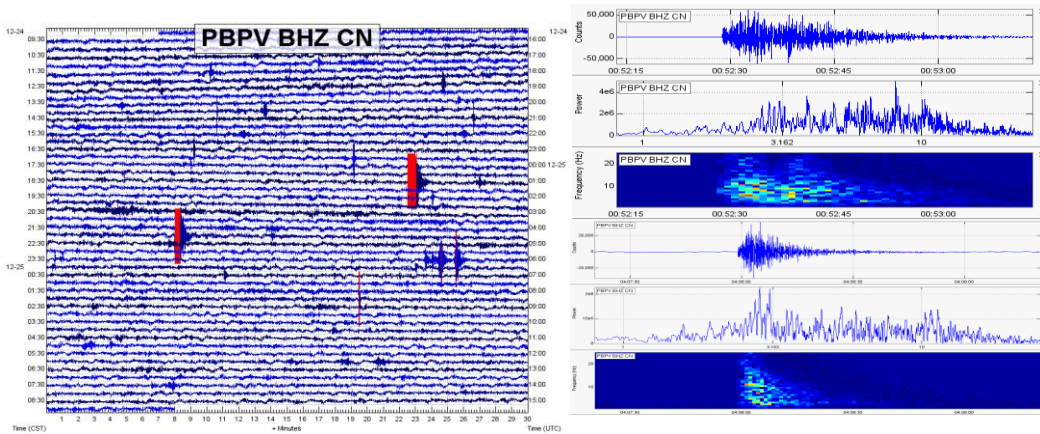


Figura 44 Registro sísmico de los eventos ocurridos el 24 de diciembre de 2013

La variación de las profundidades respecto al tiempo mostró, a lo largo del año, una periodicidad aproximadamente mensual, con sismos a profundidades alrededor de 12 kilómetros durante los primeros días de cada ciclo y los siguientes más someros, a profundidades entre 4 y 6 kilómetros. A finales de mayo hubo dos sismos volcanotectónicos que se localizaron a cerca de 14 kilómetros de profundidad. Posteriormente, durante junio y la crisis de julio los volcanotectónicos se localizaron en regiones más someras, a menos de 8 kilómetros de profundidad. A partir de agosto se observó una ligera tendencia de estos sismos a hacerse más profundos. Esta tendencia se agudizó en el último trimestre del año. El 25 de octubre se localizó un volcanotectónico a 17 km de profundidad, y los sismos ocurridos los días 5 y 21 de noviembre se localizaron a 18.6 y 18 km de profundidad, respectivamente. Finalmente, el 9 de diciembre se localizó un sismo a más de 20 kilómetros de profundidad. Este sismo de magnitud 3.2, es el más profundo localizado en la historia eruptiva reciente del volcán (Figura 45).

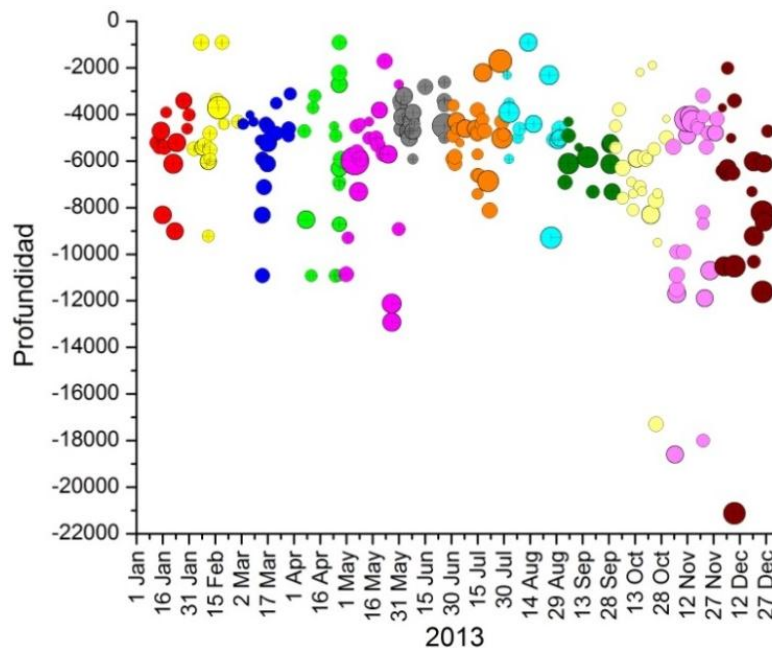


Figura 45 Variación de la profundidad y la magnitud de los sismos volcanotectónicos de 2013

ENERGÍA SÍSMICA ACUMULADA

El conjunto de la energía acumulada de los sismos volcanotectónicos que se han presentado durante 2013 es de 2.35×10^{11} J (Figura 46).

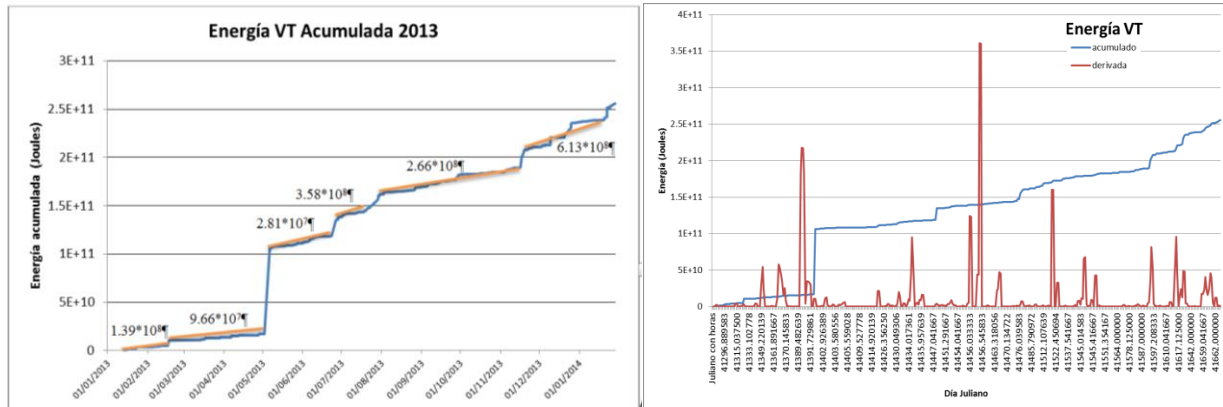


Figura 46 Izquierda, energía acumulada de los sismos volcanotectónicos durante 2013-2014, para cada segmento, las pendiente en Joules /día. Derecha, derivada del acumulado

La energía sísmica liberada (promediada cada 10 minutos, en la estación de periodo corto Chipiquixtle) durante todo el 2013 fue de 123,153 cuentas. Este valor representa el 33 % de la energía sísmica liberada, medida desde 1996 en esta misma estación, que es de 370,473. Es 7 % mayor que el evento eruptivo de 2000-2001, en el que se registraron 98,353 cuentas (Figura 47).

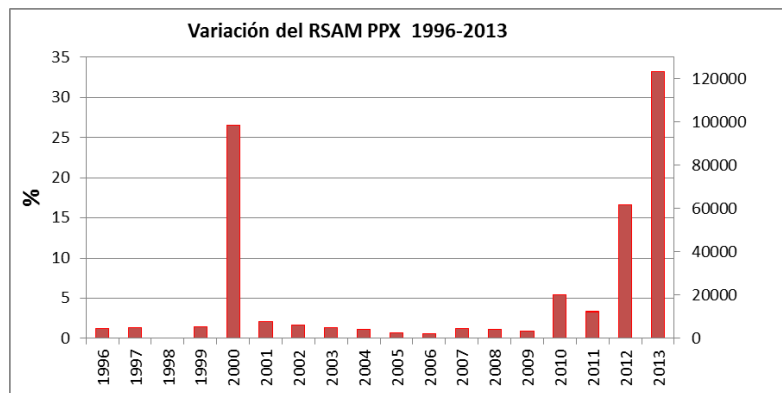


Figura 47 Energía sísmica liberada desde 1996 en la estación de periodo corto Chipiquixtle

La energía sísmica liberada durante el primer trimestre de 2013 se mantuvo en su línea base, con fluctuaciones al alza asociadas al registro de trenes de exhalaciones. Los promedios de 10 minutos de energía acumulada en la estación Chipiquixtle mostraron valores ligeramente superiores del RSAM para los días 18 y 19 de enero, 10 y 11 de febrero y 28 de marzo. Los incrementos más significativos se produjeron los días 7 y 14 de marzo, a consecuencia de los trenes de exhalaciones registrados estos días. El acumulado (B^2) de la energía sísmica liberada registrada en Chipiquixtle producida por la actividad sísmica de este trimestre fue de 5,616 cuentas (1,116 en enero, 420 en febrero y 4,076 en marzo), lo que representa el 4.5% de la energía sísmica liberada durante todo el año (Figura 48).

Durante abril la energía sísmica se mantuvo en su línea base la mayor parte de los días, con excepción del período comprendido entre el 13 y el 17 de abril, correspondiente a las jornadas con registro de episodios de tremor de alta frecuencia y armónico. Los promedios de 10 minutos de energía acumulada en Chipiquixtle muestran un valor máximo de energía liberada para el 13

de abril, con un valor de 1,240 cuentas. El acumulado (B^2) de la energía sísmica liberada en abril fue de 12,433 cuentas, 10 % de la energía liberada en todo el año.

En mayo esta energía presentó valores altos y muy altos entre el 7 y el 26 de mayo. Los episodios de tremor de alta frecuencia y armónico fueron los eventos sísmicos que tuvieron un mayor aporte en la energía sísmica acumulada. Durante estos días se registraron promedios de la energía sísmica acumulada muy por encima de la línea base (20 cuentas), con valores que superaron las 1000 cuentas durante los días 7, 12 y 13 de mayo, siendo el valor máximo 1,306 cuentas. El acumulado (B^2) de la energía sísmica liberada de mayo fue de 37,339 cuentas, 30 % de la energía anual.

Durante prácticamente todo el mes de junio el valor del RSAM se mantuvo por debajo de las 200 cuentas diarias, teniendo el pico máximo (360 cuentas) durante el evento de tremor de los días 23 y 24. La actividad sísmica de este mes representó el 2.4% de la energía liberada en 2013.

La energía sísmica liberada durante julio de 2013 presentó los valores más altos del año, especialmente durante el episodio de tremor que se presentó del 3 al 11. El acumulado (B^2) de la energía sísmica liberada de julio fue de 49,330 cuentas, 40 % de la energía sísmica liberada durante todo el año.

Durante el episodio de tremor que se presentó el 17 y 18 de agosto, el valor del RSAM alcanzó su valor máximo del mes, con poco más de 500 cuentas. El acumulado mensual de la energía sísmica liberada en agosto representó el 4.5% de la energía anual.

A lo largo de septiembre, el RSAM presentó valores bajos y muy bajos. Los volcanotectónicos fueron los eventos sísmicos que tuvieron un mayor aporte en la energía sísmica acumulada. Durante la ocurrencia de los 15 sismos volcanotectónicos registrados entre los días 29 y 30 el RSAM alcanzó su valor máximo de septiembre. El acumulado de la energía sísmica liberada durante septiembre fue el 1.1 % del total anual.

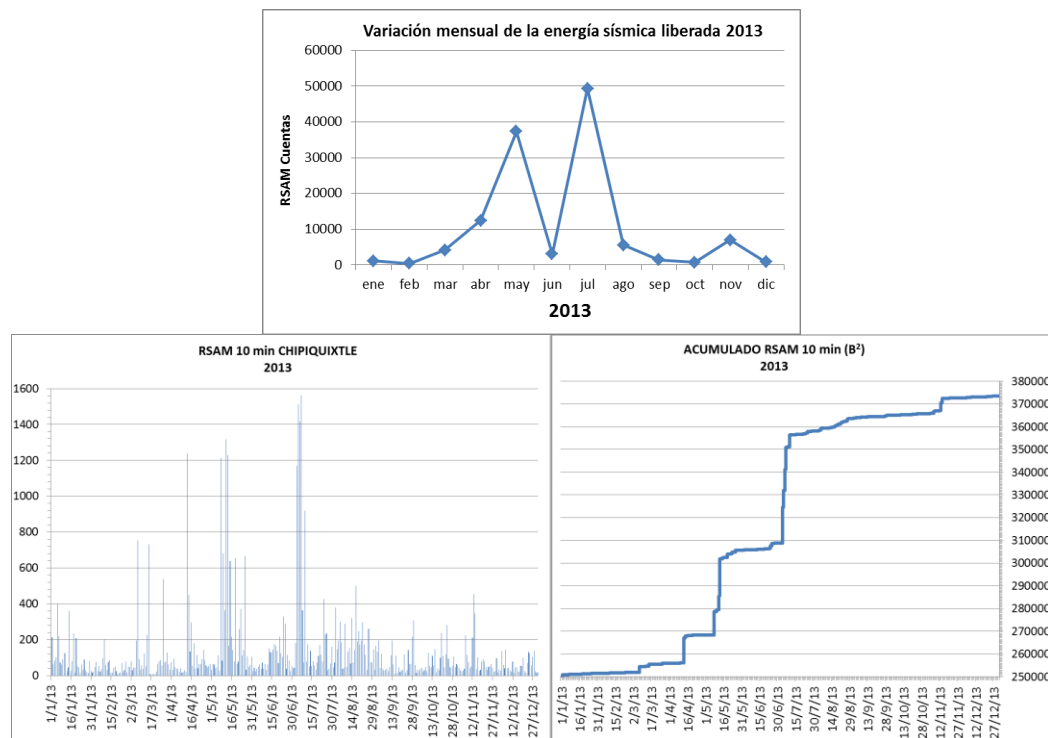


Figura 48 Variación de la energía sísmica liberada durante 2013 en la estación de periodo corto Chipiquixtle

A lo largo del último trimestre del 2013, la energía sísmica liberada presentó valores bajos y muy bajos. En octubre, durante la ocurrencia de los episodios de tremor de los días 20 y 23, el valor del RSAM alcanzó su valor máximo mensual, con poco más de 250 cuentas. En noviembre nuevamente el registro de pequeños episodios de tremor armónico fue el tipo de evento sísmico que tuvo un mayor aporte en la energía sísmica acumulada. Durante la ocurrencia de estos episodios, los días 7, 12 y 13, el valor del RSAM alcanzó su valor máximo del mes, con poco más de 450 cuentas. En diciembre el RSAM alcanzó su valor máximo el día 7, con poco menos de 150 cuentas. El acumulado de la energía sísmica liberada durante este trimestre fue de 8,418 cuentas el 6.7% de la energía liberada a lo largo del año (Figura 48).

FLUJOS DE AGUA Y LODO

El sistema de monitoreo del volcán Popocatepetl registró el paso de flujos de agua en la barranca Tenenepanco los días 23, 26, 28 y 29 de mayo, el 11, 13 y 22 de junio así como el 14 de julio (Figura 49). Estos eventos se registraron en la estación sísmica y en el sensor acústico de la estación Canario, situados en la posición más alta en el volcán.

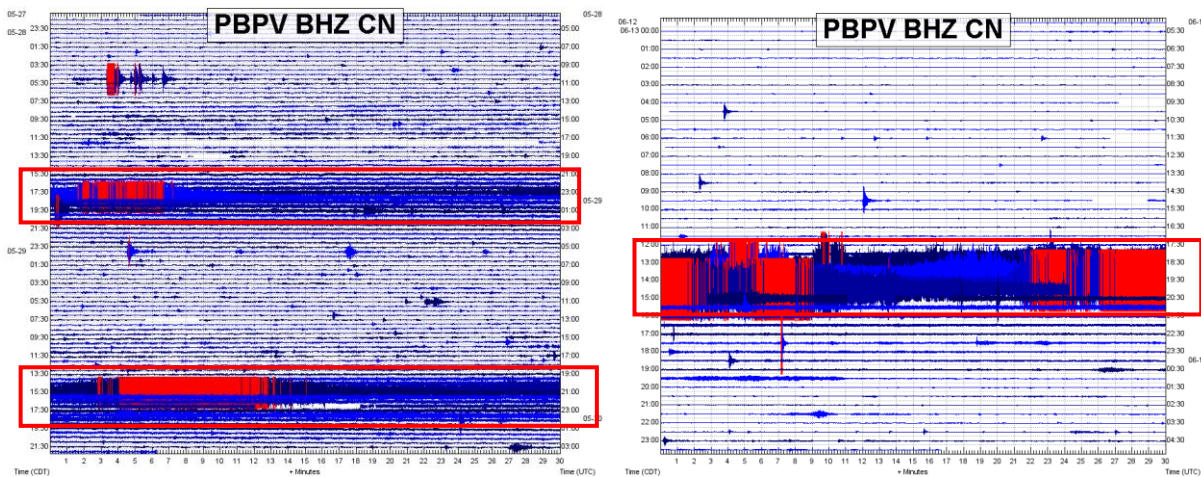


Figura 49 Registros sísmicos digitales del 28 y 29 de mayo y 13 de junio, donde se señalan las señales de flujos en recuadros rojos

Estas señales tuvieron duraciones, en su fase más intensa, de menos de 4 horas, y ninguno de estos flujos llegó a alcanzar la posición del sensor acústico Zorzal, situado en la confluencia de las barrancas Tenenepanco, Huiloac y Espinera.

ANOMALÍAS TÉRMICAS

El sistema MODVOLC (Wright *et al.*, 2002, 2004), de la Universidad de Hawaii, basado en el análisis de imágenes MODIS (resolución de 1 km), emitió alrededor de 60 datos de anomalías térmicas en el cráter del Popocatepetl durante el 2013

La intensidad de la anomalía térmica se valora a través del Índice Térmico Normalizado (NTI, por sus siglas en inglés), que se obtiene de normalizar la radiancia espectral obtenida en diferentes bandas de las imágenes MODIS. Las anomalías reportadas para el volcán Popocatepetl durante 2013 tuvieron una fluctuación del NTI entre -0.8 y 0.456.

Durante el primer trimestre del año las variaciones del NTI se mantuvieron dentro del rango de variación. Los valores más altos registrados fueron: el 15 de enero (-0.5), el 24 de febrero (-0.495) y el mayor el 7 de marzo (-0.376) coincidiendo con el registro del tren de exhalaciones.

En general, durante abril los valores de las anomalías térmicas fueron similares a las registradas de enero a marzo, con una ligera tendencia a la baja. A lo largo de mayo se mantuvieron en su mayoría con un NTI entre -0.8 y -0.6, con excepción de los días 12, 15 y 17 que fueron mayores a -0.5. Cabe resaltar las anomalías del día 15, con valores de -0.154 y -0.061, asociadas a la explosión de la madrugada de ese día, fueron las más grandes registradas hasta ese momento, solo por debajo de las identificadas el 18 de diciembre de 2002.

El 4 de julio se registró la anomalía térmica más alta registrada en el volcán desde 2000, cuando se empezaron a medir las anomalías térmicas. La anomalía reportada en el Popocatepetl, correspondiente al 4 julio, tuvo un NTI de 0.46, que es más alto que el valor registrado el 12 de diciembre de 2002, cuando se midió 0.35 (Figura 50).

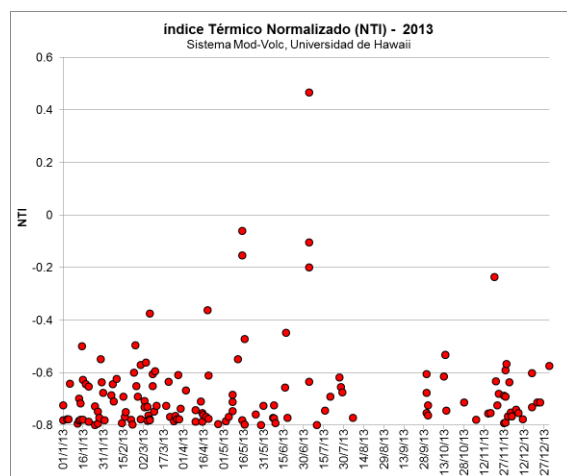


Figura 50 Índice Térmico Normalizado de las anomalías térmicas detectadas por el sistema MODVOLC durante 2013

Durante agosto y septiembre el sistema MODVOLC presentó algunas fallas y sólo se obtuvieron datos el 7 de agosto (-0.75), y el 29 de septiembre (-0.6), muy por debajo de los valores obtenidos en meses anteriores.

En el último trimestre del año el sistema MODVOLC emitió 24 reportes de anomalías térmicas en el cráter del Popocatepetl. Durante octubre se obtuvieron datos los días 15 y 29; el valor máximo obtenido fue -0.55, el 20 noviembre se obtuvo el valor máximo obtenido, que fue de -0.236, el sexto valor más alto registrado en el año. Finalmente, el 29 de diciembre se obtuvo un valor de -0.589, dentro del promedio anual.

MONITOREO DE LA EMISIÓN DE GASES (SO₂) DOAS-COSPEC, AURA/OMI (NASA)

La tasa de emisión de SO₂ del volcán Popocatepetl es medida, desde inicios de 2011, a través de la red de espectrómetros DOAS (Instituto de Geofísica UNAM), de forma continua y en tiempo casi-real. Además se realizan mediciones discretas con el equipo COSPEC y algunas veces MINIDOAS. A partir de la crisis registrada en julio de 2013, la Subdirección de Riesgos Volcánicos del CENAPRED analiza los reportes diarios emitidos por la NASA de la masa de SO₂ medida sobre el Popocatepetl, con el sensor OMI (Figura 51). Las variaciones medidas por la red DOAS-COSPEC y a través del sensor OMI tienen una alta correspondencia, por lo que las mediciones son comparables.

En general, durante el primer trimestre de 2013, aunque las mediciones presentaron fluctuaciones importantes, la tasa de emisión se mantuvo en valores promedio similares o ligeramente más altos que los registrados en el período de octubre a diciembre de 2012. En enero

el promedio fue de 5,000 t/día, mientras que en febrero y marzo el promedio fue menor a 2,400 t/día. Estos datos pueden ser subestimados, debido a la dirección de la pluma hacia el noreste, donde no se tienen equipos de medición. Los datos COSPEC para los meses de febrero y marzo fluctuaron entre las 6,000 y 8,500 t/día. Los valores máximos del período enero a marzo se registraron los días 24 y 25 de enero con 10,800 y 7,800 t/día, el 9 de febrero con 9,600 t/día y los días 15 y 16 de marzo con 9,400 y 8,400 t/día, respectivamente.

Durante el mes de abril la red de monitoreo de emisión de SO₂ del volcán Popocatepetl presentó fallas en varios de sus instrumentos, por lo que no se obtuvieron datos DOAS. Sin embargo, se obtuvieron datos de emisión de SO₂ de 3 mediciones discretas con COSPEC a través de transectos por tierra debajo de la pluma. Las mediciones se realizaron los días 9, 16 y 30 de abril, y se tuvieron valores de 6,700, 7,300 y 11,600 t/día respectivamente. Los datos obtenidos durante la primera quincena del mes estuvieron ligeramente por encima del rango de la línea base, mientras que el último dato, posterior al inicio de episodios de tremor (13 de abril) y de la serie de explosiones (18 de abril) supera las 10,000 t/día.

En mayo se obtuvieron datos de monitoreo de emisión de SO₂ de la red DOAS del volcán Popocatepetl. Sin embargo, esta red continuó presentando fallas, especialmente en el instrumento situado en Colibrí (sureste del volcán), por lo que hay que tomar con reserva los valores obtenidos, generalmente bajos (promedio de 2000 t/día). Por esta razón y debido al incremento de la actividad en el volcán Popocatepetl, se intensificaron las mediciones discretas de emisión de SO₂ con COSPEC, a través de 7 transectos por tierra debajo de la pluma. Adicionalmente, se realizaron mediciones con el equipo MOBIL-DOAS del Instituto de Geofísica de la UNAM. Los datos de COSPEC (Figura 51) mostraron una alta variabilidad. Los primeros datos del mes, de 6,500 y 5,700 t/día, representan una disminución en la tasa de emisión con relación a la última medición realizada el 30 abril, de 11,600 t/día. Posteriormente el 13 de mayo se obtuvo la medición más alta de este mes, con 17,200 t/día, coincidente con un valor alto (>20,000 t/día) medido con el MOBIL-DOAS. En los últimos días del mes las mediciones mostraron valores más bajos, entre 8,000 y 10,000 t/día, pero por encima de la línea base para el volcán (4,000 – 5,000 t/día).

En general, los datos obtenidos en el mes de mayo, mostraron una tendencia al alza de la tasa de emisión de SO₂ con relación a los valores registrados de enero a abril de 2013. La tendencia y rango de estos datos fue similar a la registrada durante la crisis del volcán Popocatepetl de abril-mayo de 2012.

A lo largo de junio se obtuvieron datos de monitoreo de emisión de SO₂ de la red DOAS del Popocatepetl. Sin embargo, esta red continuó presentando inconsistencias. Los primeros datos COSPEC de junio, 8,100 t/día, representaron una continuación en la tasa de emisión observada durante los últimos días de mayo, de 8,000/día en promedio. En los últimos días del mes las mediciones mostraron valores más bajos, entre 3,400 y 4,000 t/día, por debajo de la línea base.

Los primeros datos COSPEC de julio, 14,800 t/día, representaron un notable incremento en la tasa de emisión observada durante los últimos días de junio, 4,500 t/día en promedio. Esta tendencia a la alza se mantuvo durante los siguientes días. El 18 de julio se midió un valor más elevado, 20,200 t/día. Hacia los últimos días del mes las mediciones mostraron valores más bajos; el 29 se obtuvo un valor de 6,800 t/día.

En general, los datos COSPEC obtenidos en agosto, mostraron una tendencia a la alza durante la primer quincena, y posteriormente a la baja, después del máximo de 10,900 t/día registrado el 12. Los primeros días de septiembre los datos COSPEC y DOAS registraron valores altos, mayores a 10,000 t/día. El 5 de septiembre se obtuvo, con COSPEC, un valor de la tasa de emisión de 22,100 t/día. Hacia los últimos días del mes, las mediciones mostraron valores más bajos pero por encima del valor promedio.

Durante los primeros días de octubre los datos COSPEC y DOAS registraron valores altos de SO_2 , mayores a 6,000 t/día. El 22 de octubre se obtuvo, con COSPEC, un valor de la tasa de emisión de 10,400 t/día. Hacia los últimos días del mes, las mediciones mostraron valores más bajos, cercanos al valor promedio.

En noviembre los datos COSPEC y DOAS registraron en general valores de SO_2 menores a 5,000 t/día. Sin embargo, el 14 de noviembre se obtuvo, con DOAS, un valor de la tasa de emisión promedio de 12,700 t/día, con algunos valores mayores a 20,000 t/día. Hacia los últimos días del mes, las mediciones mostraron valores más bajos, muy por debajo del promedio. En general, los datos COSPEC y DOAS obtenidos en noviembre mostraron una tendencia a la baja durante todo el mes, con un valor mínimo hacia finales de mes, con COSPEC, de 1,400 t/día y con DOAS, de 400 t/día.

Durante diciembre únicamente se realizó una campaña de monitoreo de gases con COSPEC. Los datos DOAS registraron durante casi todo el mes valores de SO_2 menores a 5,000 t/día. Se observó una tendencia a la alza, con un valor mínimo hacia finales de mes con COSPEC de 4,100 t/día y con DOAS de 10,000 t/día.

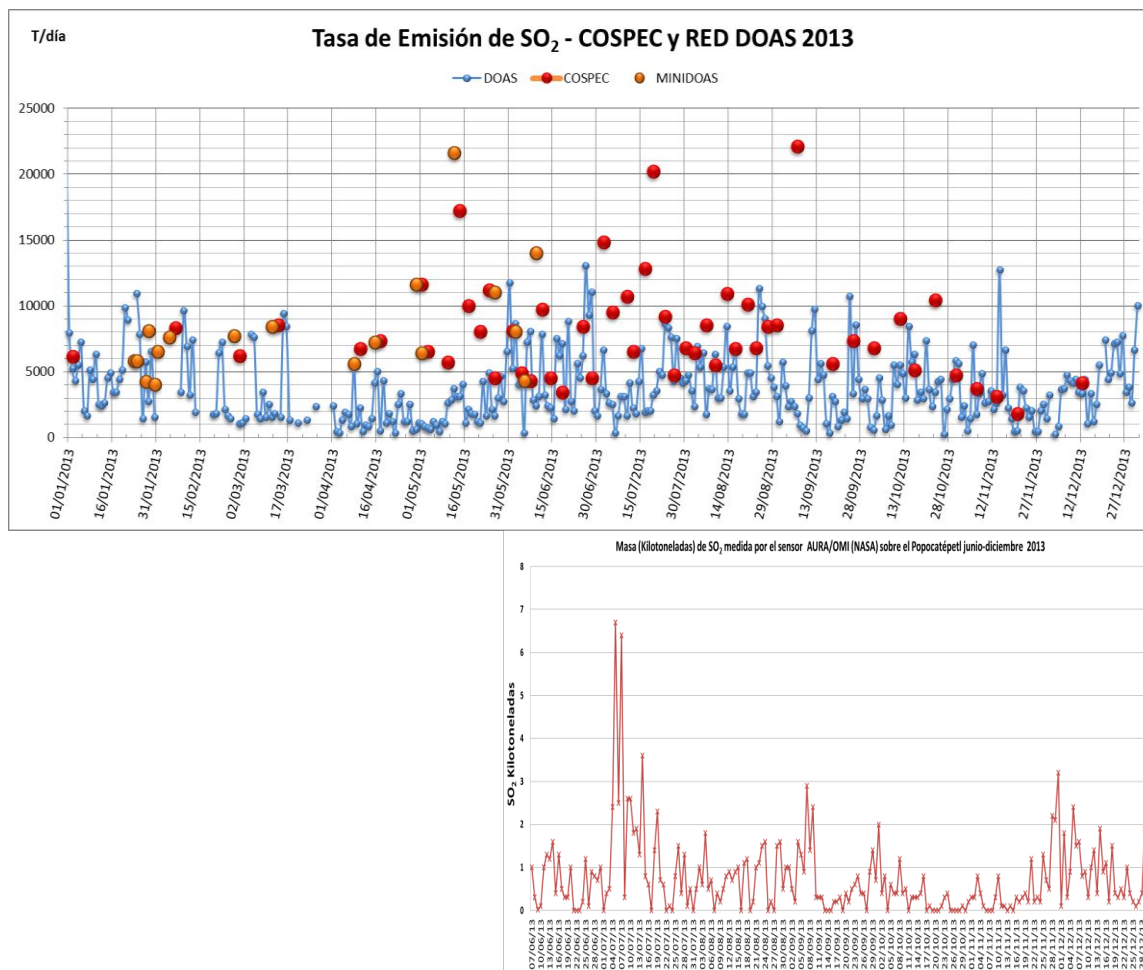


Figura 51 Mediciones obtenidas con la red DOAS-COSPEC del CENAPRED-UNAM y el sensor OMI de la NASA durante 2013

DEFORMACIÓN: INCLINOMETRÍA EN NEXPAYANTLA

Durante 2013, el inclinómetro analógico en Nexpayantla presentó, en ambos ejes, una variación que siguió una tendencia proporcional a la temperatura. En mayo de 2013 se inició el análisis en detalle de los datos proporcionados por el inclinómetro digital en Chipiquixtle. Este inclinómetro tiene una frecuencia de muestreo de 1 segundo. Sin embargo, al analizar los datos a la luz de la temperatura registrada se observa un comportamiento similar, por lo que se infiere que el inclinómetro digital de Chipiquixtle también presenta variaciones debidas a la temperatura. Por ello, la información de estos dos instrumentos deben tratarse con reserva (Figura 52).

Después de la explosión registrada el 28 de mayo, los datos en la componente radial del inclinómetro de Chipiquixtle mostraron una tendencia a la inflación, llegando a tener un cambio de más de 5 microradianes acumulados el 15 de junio. Este inclinómetro presentó variaciones significativas el 16 de junio, que se correlacionan bien con la actividad sísmica registrada. Durante ese día, se observó una súbita inflación que representó un cambio de cerca de 10 microradianes en un día. El 17 a las 18:23 se presentó una de las explosiones más grandes registradas en este año, con una columna eruptiva de 4.5 km de altura.

En diciembre el inclinómetro digital en Chipiquixtle presentó, a partir del día 15, una tendencia a la deflación de casi 1.5 microradianes, mientras que el inclinómetro analógico en Nexpayantla mostró a partir del día 23 una tendencia a la inflación de 0.2 microradianes. Esto sugiere que el estado de esfuerzos en el volcán se distribuyó desde la zona de Chipiquixtle al suroeste del volcán hacia la zona en Nexpayantla al noreste del volcán.

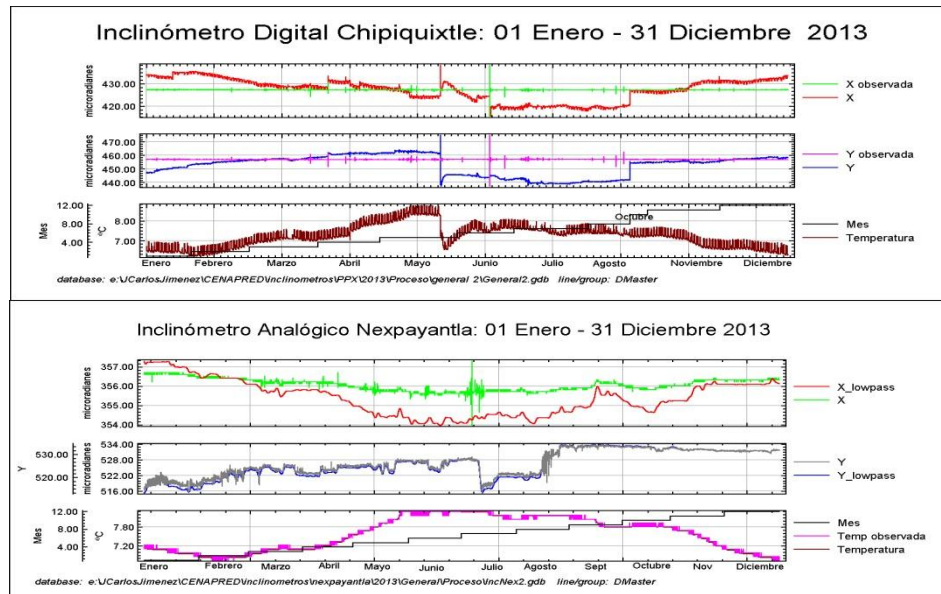


Figura 52. Componentes radial, tangencial y temperatura de Inclinómetros Chipiquixtle y Nexpayantla 2013.

Monitoreo geoquímico de aguas

A lo largo de 2013 se realizaron seis campañas de muestreo de aguas, en siete manantiales alrededor del volcán Popocatepetl , en enero, marzo, abril, mayo, julio y septiembre(Figura 53). Se midieron *in situ* temperatura, pH y conductividad (Tabla 4), parámetros para los cuales se tienen datos desde 2001 (Figura 54). Además, se tomaron muestras del agua para analizar iones en el laboratorio.

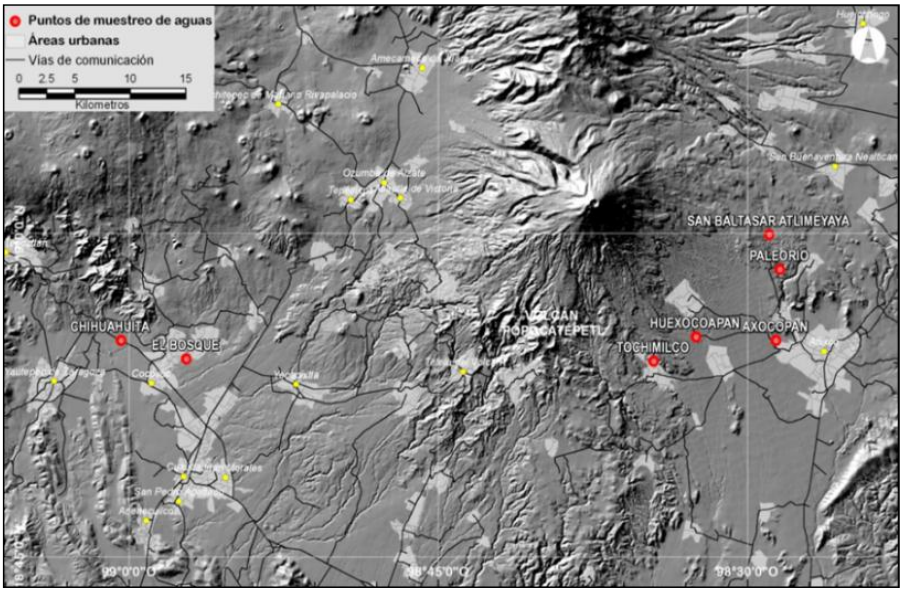


Figura 53 Ubicación de los manantiales que forman parte de la red de monitoreo hidrogeoquímico del Popocatepetl

Datos de temperatura, pH y conductividad de los manantiales del volcán Popocatepetl 2013				
PUNTO DE MUESTREO	FECHA	T °C	pH	CONDUCTIVIDAD (µS/cm)
CHIHUAHUITA	29/01/2013	17.9	6.3	237
	25/03/2013	19.3	6.23	206
	23/04/2013	19.5	6.24	290
	22/05/2013	22	6.35	270
	31/07/2013	19.6	6.51	280
	18/09/2013	19.9	6.31	275
EL BOSQUE	29/01/2013	17.7	5.76	302
	25/03/2013	18.7	5.25	202
	23/04/2013	18.1	5.45	203
	22/05/2013	18.2	5.5	252
	31/07/2013	18.3	6.42	265
	18/09/2013	17.7	6.52	255
TOCHIMILCO	29/01/2013	12.9	6.03	367
	25/03/2013	15	6.53	175
	23/04/2013	15.2	6.41	210
	22/05/2013	16	6.71	183
	31/07/2013	13.8	6.32	195
	18/09/2013	13	6.16	185
HUEXOCOAPAN	29/01/2013	7.7	6.4	441
	25/03/2013	17.5	6.21	180
	23/04/2013	17.5	6.14	209
	22/05/2013	19.3	6.03	220
	30/07/2013	18.1	6.61	205
	18/09/2013	15.8	6.52	200
AXOCOPAN	30/01/2013	18.3	5.82	1208
	25/03/2013	18.3	5.22	650
	23/04/2013	19.6	5.38	720
	22/05/2013	18.5	5.35	780
	30/07/2013	19.3	5.95	840
	17/09/2013	18.3	6	820
PALEORIO	30/01/2013	13.2	6.6	233
	26/03/2013	15.1	7.03	195
	24/04/2013	14.5	6.76	250
	30/07/2013	14.8	7.23	195
	17/09/2013	13.7	7.1	187
	30/01/2013	13.2	5.63	183.4
SAN BALTASAR ATLIMEYAYA	26/03/2013	12.9	6.39	160.5
	23/04/2013	16.1	6.1	190
	22/05/2013	15.5	6.25	190
	30/07/2013	15.9	6.21	183
	17/09/2013	12.6	6.3	190

Tabla 3 Datos de temperatura, pH y conductividad de los manantiales del Popocatepetl en 2013

Las muestras de aguas fueron entregadas al Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica de la UNAM y al Laboratorio de Muestras Ambientales del CENAPRED, para su análisis.

Las mediciones realizadas en campo durante enero se encontraron dentro del rango de variación propio de los datos históricos con los que se cuenta. Sin embargo, en el manantial Axocopan se observó un ligero incremento en la conductividad medida en el agua, que se aleja un poco del rango normal del manantial. En el muestreo de marzo, no se presentaron cambios significativos en los parámetros medidos para la mayor parte de los manantiales, con excepción del descenso del pH en los manantiales El Bosque (5.25) y Axocopan (5.22). El descenso es de alrededor de 0.5 para ambos manantiales. Cabe señalar que al ser este parámetro un logaritmo, la variación observada es considerable. No se observaron cambios significativos en los iones mayores durante los dos muestreos, con excepción de un incremento en el magnesio (alrededor del 20%) durante marzo en 3 de los sitios, y de sílice en Huexocopan. Sin embargo, tanto en enero como en marzo continuó la presencia de boro en Axocopan. En enero las concentraciones fueron aproximadamente 30% inferiores a las medidas en noviembre de 2012 y en marzo un 20% superiores a las medidas en enero. También se detectó boro en Huexocopan en enero, un poco arriba del límite de detección y en marzo se detectó en Paleorío, con similar concentración. Cabe señalar que en Huexocopan no se había presentado este elemento desde junio de 2010.

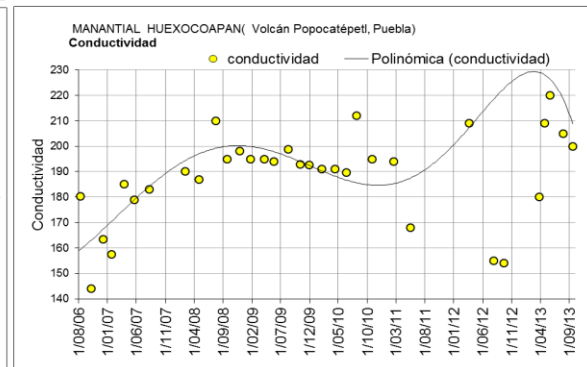
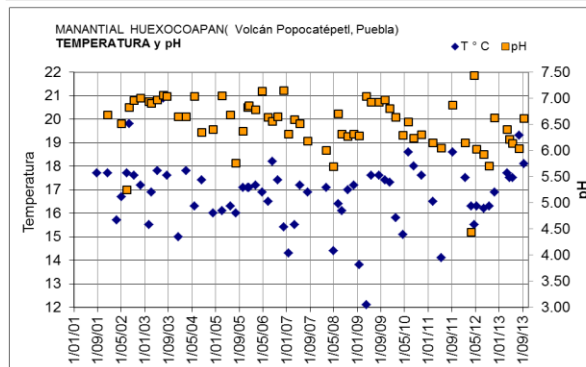
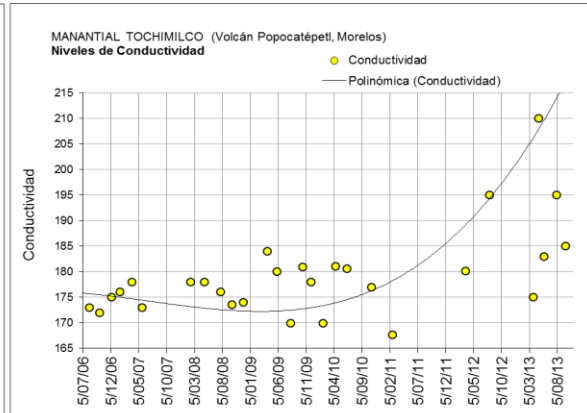
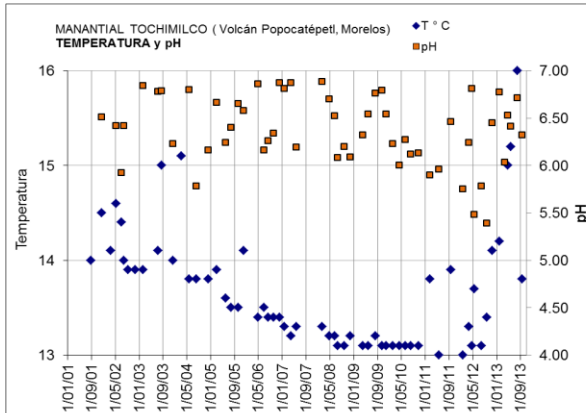
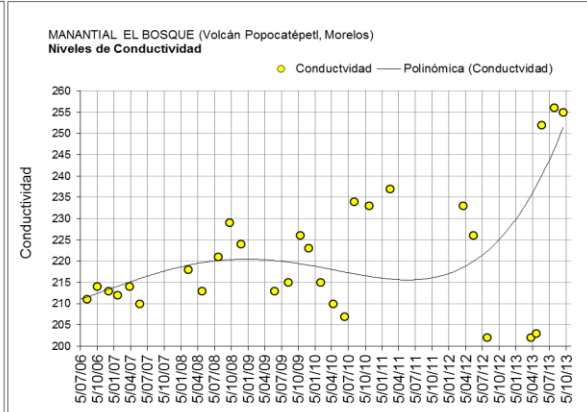
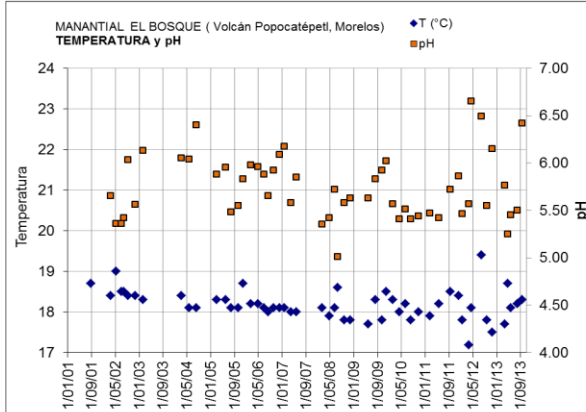
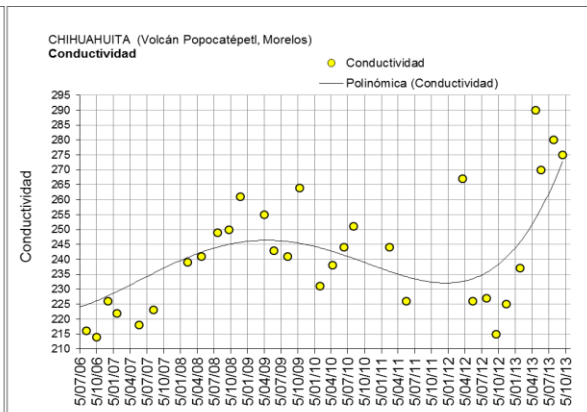
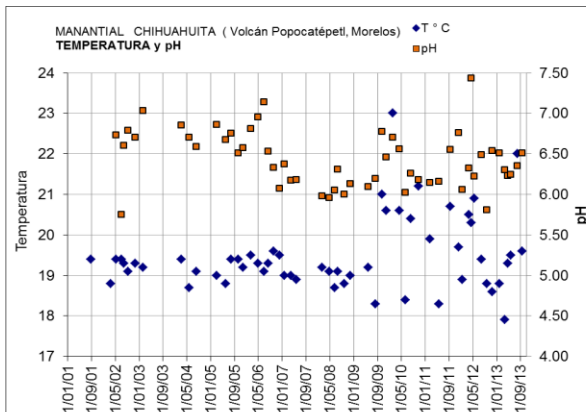
Las concentraciones calculadas de CO_2 disuelto, a partir de las mediciones de campo y de laboratorio, mostraron cambios entre noviembre del 2012 y enero del 2013. Los manantiales Axocopan y Chihuahuita, presentaron en enero un aumento en los contenidos de CO_2 , aproximadamente del 20% el primero y 70% el segundo respecto a noviembre de 2012. En el muestreo de marzo se confirmó esta tendencia en Axocopan, cuyas concentraciones de CO_2 disuelto tuvieron un aumento grande de aproximadamente 300% (debido principalmente al bajo valor de pH medido en campo).

Estas observaciones indicaron un incremento importante en la disolución de gases volcánicos en el agua subterránea por lo que se sugirió aumentar la frecuencia del monitoreo.

Durante la campaña de monitoreo hidrogeoquímico llevada a cabo en abril no se registraron cambios significativos en la temperatura y el pH de los manantiales, con excepción del aumento de la temperatura y la disminución de pH en San Baltasar Atlimeyaya. El pH en el manantial Axocopan incrementó ligeramente respecto a la medición de marzo. Sin embargo, continuó presentando valores bajos de pH en comparación con los datos históricos desde 2001.

Las concentraciones de iones mayores, obtenidas en los dos laboratorios, no presentaron variaciones significativas con relación a las analizadas en los muestreos de marzo y enero de 2013, con excepción de un ligero incremento de sílice en todos los manantiales.

El Laboratorio de Química Analítica de la UNAM reportó la presencia de Boro únicamente en el manantial Axocopan, por encima del nivel de detección, en cantidad similar a la identificada en marzo de este año. El Laboratorio del CENAPRED no identificó Boro en ninguna de las muestras. Las concentraciones calculadas de CO_2 disuelto, a partir de las mediciones de campo y de laboratorio, mostraron una disminución en Axocopan, aunque continuaron siendo altas siguiendo la tendencia de enero y marzo de 2013. Estas observaciones indicaron la disolución de gases volcánicos en el agua subterránea.



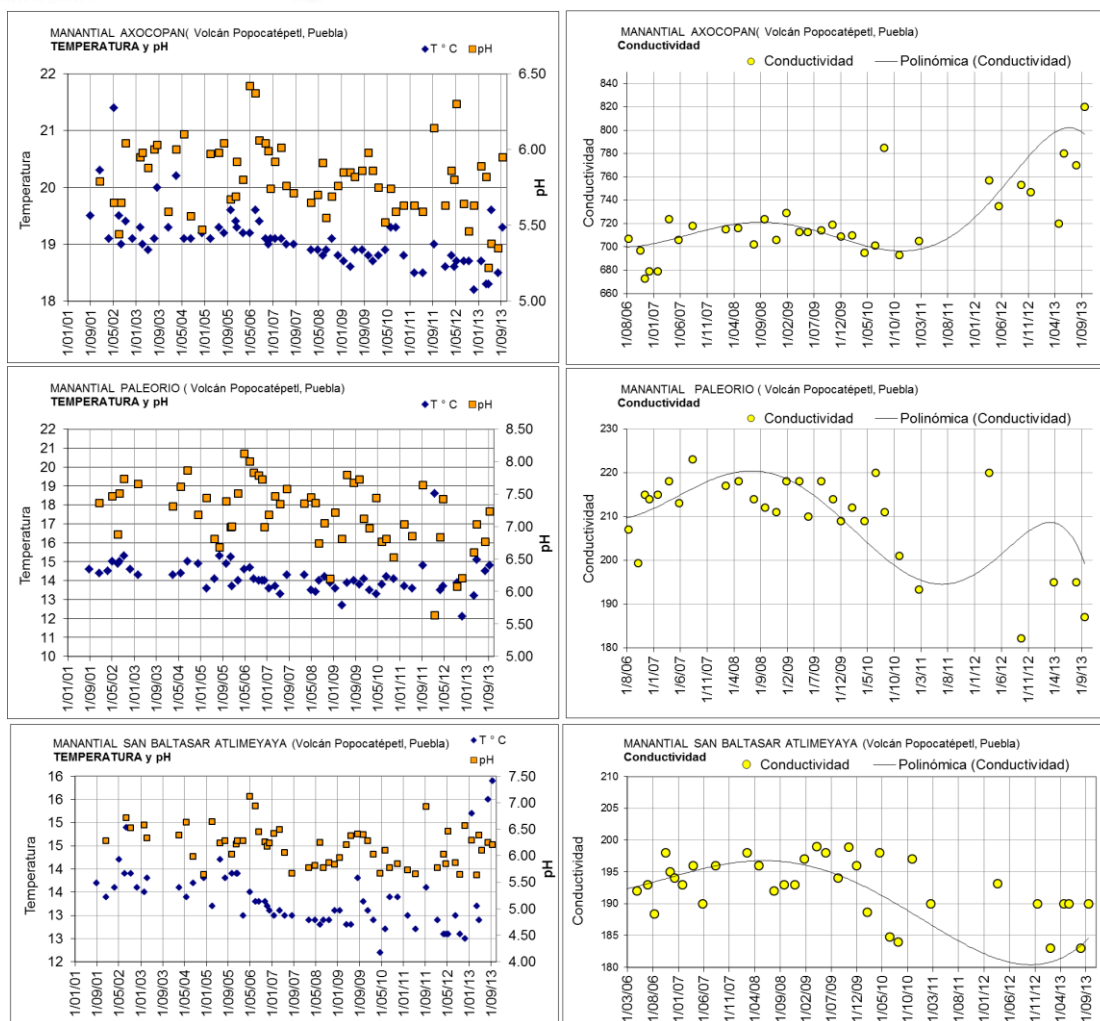


Figura 54 Datos de temperatura, pH y conductividad, desde 2001 a septiembre de 2013 medidos en siete manantiales alrededor del Popocatepetl

En mayo no se registraron cambios significativos en la temperatura y el pH de los manantiales, con excepción del aumento de la temperatura en Chihuahuita y Huexocoapan. El pH en el manantial Axocopan presentó valores similares a la medición del mes anterior, sin embargo continuó presentando valores bajos de pH en comparación con los datos históricos que se registran desde 2001. Las concentraciones de iones mayores no presentaron variaciones significativas con relación a las analizadas en los muestreos de enero, marzo y abril, con excepción de un ligero incremento en los sulfatos de 4 de los manantiales. En Huexocoapan la concentración de sulfuros disminuyó con relación a la determinada en abril y no se identificó la presencia de Boro en ninguna de las muestras. Las concentraciones calculadas de CO₂ disuelto, a partir de las mediciones de campo y de laboratorio, mostraron una disminución importante en San Baltasar Atlimeyaya, del 68%, mientras que en Axocopan, y Huexocoapan incrementaron en el 6% y 40% respectivamente.

El julio no se registraron cambios significativos en la temperatura y el pH de los manantiales, con excepción del aumento del pH en los manantiales El Bosque y Axocopan respecto a la medición de los meses anteriores; sin embargo, en comparación con los datos históricos que se registran desde 2001 estos valores se mantienen dentro del rango normal de variación.

Las concentraciones de iones mayores no presentaron variaciones significativas con relación a

las analizadas en mayo de 2013. Sin embargo, en este muestreo, a diferencia del anterior, sí se detectó la presencia de boro en el manantial Axocopan. Además, la concentración de sulfuros se incrementó aproximadamente en un 60% respecto a mayo en Huexocoapan. Las concentraciones calculadas de CO_2 disuelto decrecieron en más del 60% en tres de los manantiales y se incrementó ligeramente (aproximadamente 6%) en Atlimeyaya.

Durante la campaña de monitoreo realizada en septiembre no se registraron cambios significativos en la temperatura y el pH de los manantiales, con excepción del aumento del pH en Axocopan respecto a la medición de los meses anteriores.

Las concentraciones de iones solamente presentaron variaciones en el manantial Huexocoapan; se observó un ligero incremento (alrededor del 20%) en todos los iones analizados, en relación al muestreo anterior. Se detectó presencia de boro en el manantial Axocopan en concentraciones menores a las medidas en julio. Los contenidos de sulfuros fueron inferiores al límite de detección en todas las muestras. Las concentraciones calculadas de CO_2 disuelto decrecieron aproximadamente 17% en dos de los manantiales y se incrementaron en Huexocoapan y Chihuahuita (37 y 66% respectivamente) respecto al muestreo del mes de julio.

Las determinaciones realizadas indicaron la persistencia, durante septiembre, del aporte de gases volcánicos al acuífero.

OBSERVACIÓN DEL DOMO

La última observación del interior del cráter en 2012 se realizó el 26 de octubre. Las imágenes mostraron la formación de un nuevo domo (No. 41), anidado en el interior de los restos del domo anterior (No. 40) (Fig. 54). El domo 40 habría alcanzado dimensiones máximas de 220 m de diámetro y alrededor de 20 m de espesor, para un volumen aproximado de 760,000 m^3 ; sin embargo, no habría sobrepasado los límites del cráter generado en la erupción de 2009, que ha controlado el emplazamiento de todos los domos subsecuentes. El domo 41, fotografiado por la SCT, alcanzaba dimensiones de 170 m de diámetro y unos 15 de espesor, con un volumen estimado en 340,000 m^3 .



Figura 54 Imagen vertical del cráter del volcán Popocatepetl, con el domo 41 anidado en y sobre el domo 40. Destacan por su color más oscuro las huellas dejadas por los fragmentos balísticos sobre las laderas de los flancos sur, sureste y noreste, y el mínimo desnivel que existe entre el nivel del relleno del cráter y el labio inferior del mismo en el borde noreste (S.C.T., 2012)

En las imágenes pudo observarse también que la actividad de 2012 generó un anillo de fragmentos sueltos que rodeaba y cubría parcialmente los restos del domo 40, y aumentó el nivel de relleno del cráter, hasta unos 30-50 m bajo el nivel del labio inferior del cráter principal.

Desde finales de diciembre y durante el primer trimestre del 2013 se registraron una gran cantidad de señales sísmicas de alta frecuencia, que se asocian a derrumbes en el interior y paredes del domo. Por otra parte, los trenes de exhalaciones del 10 de febrero y de los días 7, 14 y 28 de marzo, durante los cuales se observó el lanzamiento de fragmentos incandescentes, se asociaron al crecimiento de domos. En resumen, se ha tenido una actividad cíclica en el emplazamiento de nuevo material en el domo y sucesivas subsidencias o hundimientos del mismo (Figura 55).



Figura 55 A la izquierda imagen del 27 de abril de 2012, y a la derecha imagen del 4 de marzo de 2013. A pesar de toda la actividad del 2012 e inicios de 2013, la morfología del cráter no varió, puesto que casi todo el material aportado no construyó un domo masivo, sino que se ha fragmentado. Sin embargo, la acumulación de esta tefra poco a poco ha ido elevando el nivel del piso del cráter.

A principios de marzo, el fondo del cráter se encontraba esencialmente cubierto por una capa de tefra, resultado de las erupciones del 2012, con restos de los domos formados y destruidos en esa actividad. El piso se encontraba unos 30-50 m bajo el nivel del labio inferior del cráter y en el centro del cráter se observaron los remanentes del domo núm. 43 (Figura 56). En las semanas siguientes, los trenes de exhalaciones del 7, 14 y 28 de marzo, durante los cuales se observó el lanzamiento de fragmentos incandescentes, se asociaron al crecimiento y destrucción y/o hundimiento sucesivo de este domo. El volumen del material emplazado durante estos eventos se estimó en 300,000 m³.



Figura 56 Imagen del 4 de marzo de 2013. Se observa una capa de tefra resultado de las erupciones del 2012, la cual se encontraba unos 30-50 m bajo el nivel del labio inferior del cráter y con restos de los domos formados y destruidos en esa actividad

Para el 16 de abril se había emplazado un domo de lava (44) en forma de torta, con un diámetro de 250 m y un espesor de 20, con un volumen aproximado de 980,000 m³. Este volumen fue emplazado en gran parte durante el evento de tremor de alta frecuencia registrado el 13 de abril. En las imágenes obtenidas puede observarse que el desnivel entre el borde del domo y el labio inferior del cráter es de unos 30-40 m (Figura 57).



Figura 57 Imagen del 16 de abril 2013, se observa un domo de lava (núm. 44) en forma de torta con un diámetro de 250 m y un espesor de 20, con un volumen aproximado de 980,000 m³

Para el 30 de abril, las explosiones registradas durante las dos semanas previas (entre el 19 y el 25 de abril) habían destruido una buena parte del domo, que había perdido al menos 295,000 m³ (considerando un volumen semielipsoidal de 175 m de diámetro y 25 de profundidad; Figura 58).



Figura 58 Imagen del 30 de abril 2013, se observa la destrucción parcial del domo 44, debido a las explosiones ocurridas entre el 19 y el 25 de abril

A inicios de mayo, las explosiones registradas durante las dos semanas anteriores (entre el 19 y el 25 de abril) habían destruido una buena parte del domo 44, que había perdido al menos 295,000 m³ (considerando un volumen semielipsoidal de 175 m de diámetro y 25 de profundidad; Figura 59).

Los episodios de tremor de alta frecuencia y armónico, de varias horas de duración, ocurridos durante la primera mitad de mayo, especialmente los días 7, 8 y del 10 al 14, acompañaron el emplazamiento de un nuevo domo de lava, el 45 del actual periodo eruptivo, que alcanzó para el 14 de mayo un volumen de 4.2 millones de m³, considerando un radio de 225 m y un espesor de al menos 20 m.

Las explosiones ocurridas a partir del 14, y en particular la ocurrida el 15 de mayo a las 06:45 (GMT) destruyeron el domo 45, generando sobre su superficie un cráter de unos 200 m de diámetro (Figura 59).



Figura 59 Derecha, cráter del Popocatepetl el 18 de mayo 2013, puede verse el cráter interno de unos 200 m de diámetro. Izquierda, explosión del 15 mayo 2013 a las 06:45 (GMT), Foto de Arturo Andrade

Las sucesivas explosiones que continuaron ocurriendo hasta el 28 de mayo ampliaron este cráter interno, que alcanzó para fin de mes un diámetro de 210 m y una profundidad de 50 m, con lo que el domo perdió en total un volumen de 2.3 millones de m³ (Figura 60).

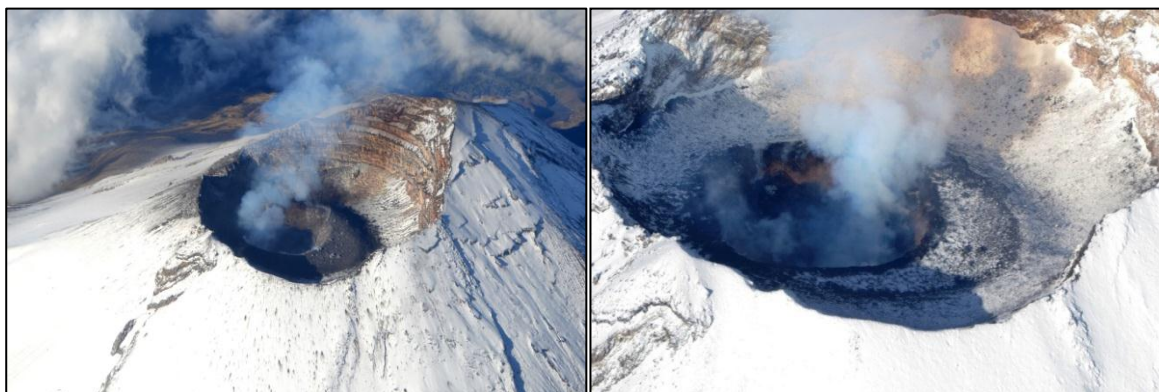


Figura 60 Izquierda, cráter del Popocatepetl el 28 mayo 2013, puede verse claramente el domo 45, formado durante la primera mitad de junio, y el cráter interno formado en la superficie del domo durante las explosiones de la segunda mitad del mes. Derecha, acercamiento al cráter el 4 de junio

Durante el mes de junio se realizaron tres sobrevuelos de reconocimiento del estado del cráter del volcán, los días 4, 18 y 25. El vuelo del 18 fue específicamente para ver los resultados de la explosión ocurrida el 17 de junio a las 13:24, la cual generó una posible oleada piroclástica asociada a la onda expansiva de la explosión (Figura 61). Sin embargo, las condiciones de nubosidad no permitieron observarlo. Los depósitos, parcialmente removilizados por las lluvias, se pudieron observar en el sobrevuelo del 25.



Figura 61 *Secuencia de imágenes de la explosión del 17 de junio 2013*

Durante el sobrevuelo del 25 de junio se pudo determinar que el cráter interno había incrementado sus dimensiones, alcanzando un diámetro de 250 m y una profundidad de 60 m. Esto implica que la explosión del 17 de junio removi6 1.6 millones de m³, y que el hueco qued6 con un volumen de 3.9 millones de m³.

Durante el vuelo del 25 de junio se obtuvieron imágenes térmicas con una cámara FLIR, instalada en el avión de la Marina con el que se realizan los vuelos. Estas imágenes permitieron definir claramente los límites del cráter interno, así como detectar zonas calientes tanto en el interior del cráter principal, en la parte externa del domo, como en las laderas externas del lado sur y sureste (Figura 62).

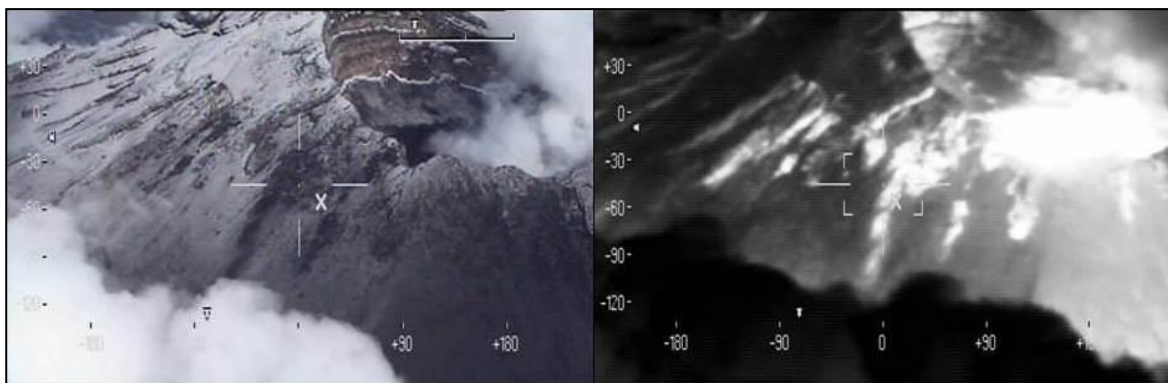


Figura 62 *Imágenes visible e infrarroja del borde sur del cráter. Se pueden observar puntos calientes en la imagen infrarroja, que corresponden a fumarolas externas*

Durante julio se realizaron en total seis sobrevuelos de reconocimiento del cráter del Popocatepetl, los días 5, 6, 7, 10, 15 y 23. Sin embargo, en la mayoría de ellos las condiciones de nubosidad y la intensa desgasificación del volcán, que emitía gruesas columnas de vapor de agua, gases y cenizas, no permitió hacer observaciones muy detalladas del cráter.

A principios de julio el cráter interno había alcanzado un diámetro de 250 m y una profundidad de 60 m. A partir del 2 de julio se inició el emplazamiento del domo 46, que para el día 10 había alcanzado un diámetro de 250 m, unos 20 m de altura sobre el piso del cráter principal, y un volumen aproximado de 2.6×10^6 m³ (Figura 63). El emplazamiento de este domo debe haber ocurrido durante los episodios de tremor que se reportaron esa semana.



Figura 63 Detalle del cráter el 10 de julio 2013

Mediante la cámara infrarroja térmica con que cuenta el avión de la SEMAR se pudo también corroborar la presencia y dimensiones de este domo (Figura 64). Adicionalmente se pudo ver que, debido a la poca profundidad del cráter, incluso eventos que no dejan una traza sísmica importante lanzan fragmentos incandescentes por encima del Labio Inferior, que se depositan sobre las laderas externas del volcán (Figura 65).



Figura 64 Acercamientos al frente norte del domo de lava por sobre el Labio Inferior del cráter, a la izquierda imagen infrarroja térmica y a la derecha imagen visible. Pueden distinguirse numerosos puntos y grietas calientes en la superficie del domo (imagen izquierda) que coinciden con las fumarolas de la imagen derecha. Imágenes obtenidas el 10 de julio 2013



Figura 65 Imágenes infrarroja térmica (izquierda) y visible (derecha) de la zona del Labio Inferior. En la imagen izquierda pueden verse fragmentos incandescentes volando sobre el borde del cráter, y en la de la derecha las huellas de numerosos impactos sobre la nieve. Imágenes obtenidas el 10 de julio 2013

Durante el vuelo del 15 de julio pudo observarse el interior del cráter (Figura 66), lo que permitió determinar que el domo 46 fue parcialmente destruido con las explosiones ocurridas durante la semana anterior, en particular los días 12 a 14 de julio.



Figura 66 Detalle del nuevo cráter interno, de unos 250 m de diámetro y 60 a 70 m de profundidad, enmarcado por las fumarolas que se emiten por el perímetro del domo 46

Sobre el cuerpo del domo 46 se formó un cráter interno de unos 250 m de diámetro y 60 a 70 m de profundidad (Figuras 67) con un volumen faltante de 3.3×10^6 m³. Buena parte de ese volumen no fue expulsado en forma de fragmentos balísticos hacia los flancos externos del cráter por el lado oriental, sino que se acumuló formando un relleno de tefra entre el borde del domo y las paredes orientales del cráter principal, alcanzando apenas unas decenas de metros bajo el Labio Inferior (Figura 68)



Figura 67 Cráter interno formado por la destrucción del domo 46, obtenidas el 15 de julio 2013



Figura 68 Acumulación de tefra en las pendientes que suben hacia la Cumbre Oriental

Con las imágenes de la cámara FLIR se pudieron también observar varias fumarolas y puntos calientes en la ladera externa sur del volcán (Figura 69), así como definir con precisión los límites del domo recién destruido (Figura 70).

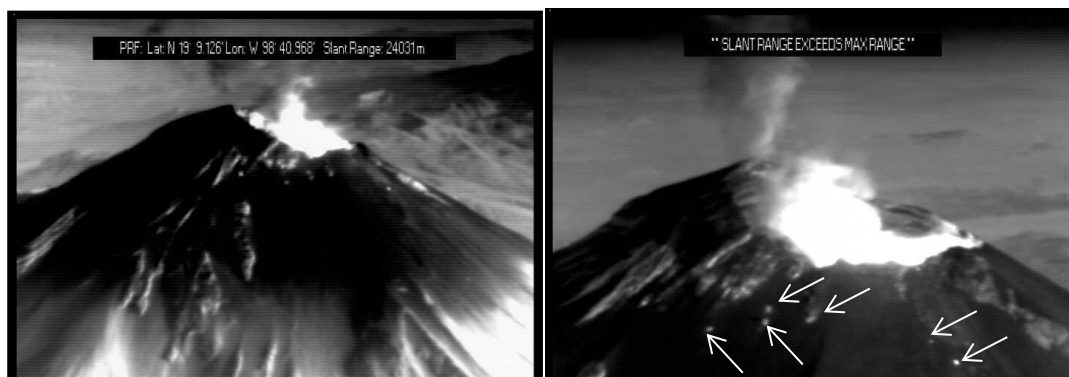


Figura 69 Imágenes térmicas del flanco sur del volcán, obtenidas el 15 de julio, en las que se pueden observar puntos calientes que indican la presencia de fumarolas externas al cráter, marcadas por flechas en la imagen derecha



Figura 70 Imagen térmica del cráter del Popocatepetl obtenida el 15 de julio, en que se puede percibir el límite externo del domo 46

Durante el vuelo del 23 de julio pudo observarse claramente el interior del cráter (Figura 71), lo que permitió determinar que la destrucción del domo 46 continuó, y que el cráter interno alcanzó unos 300 m de diámetro y 70 m de profundidad (Figuras 72 y 73).



Figura 71 Vista general del cráter del Popocatepetl obtenida el 23 de julio, en que puede apreciarse el cráter interno, de unos 300 m de diámetro y 70 de profundidad



Figura 72 Imagen visible del cráter interno formado por la destrucción del domo 46, obtenidas el 23 de julio 2013

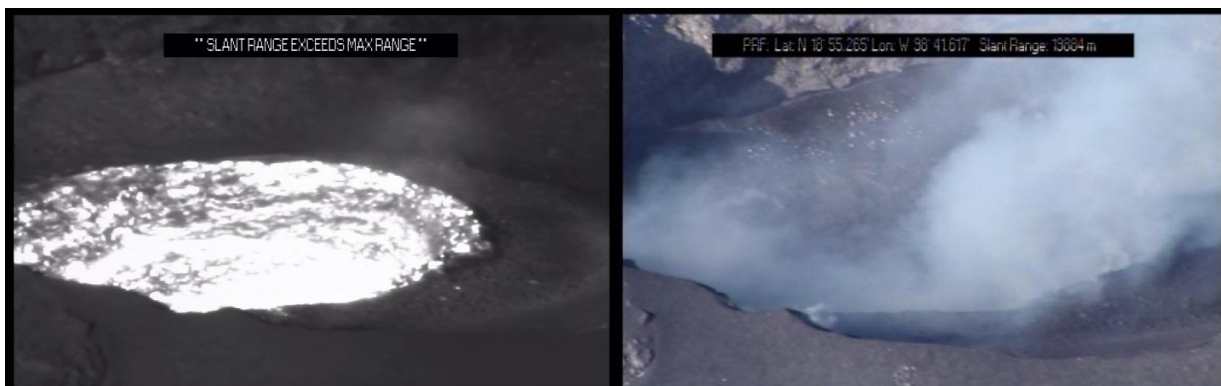
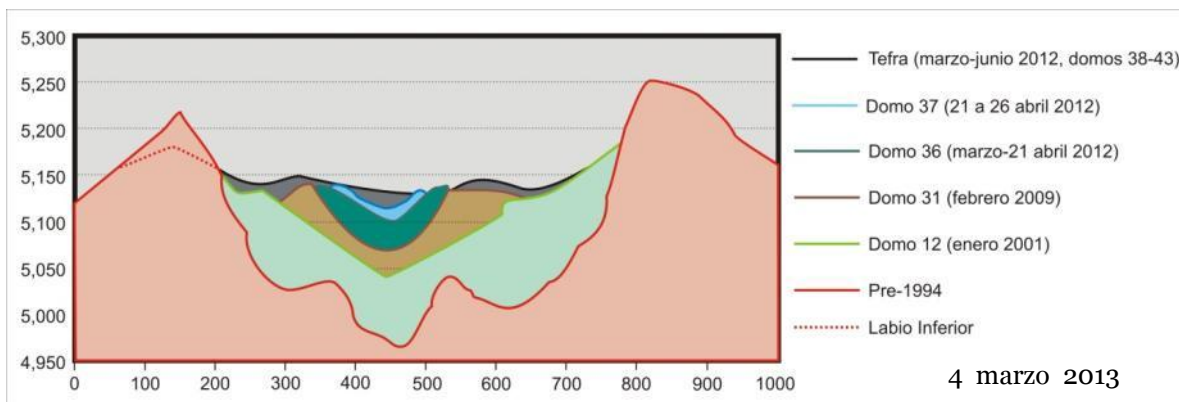
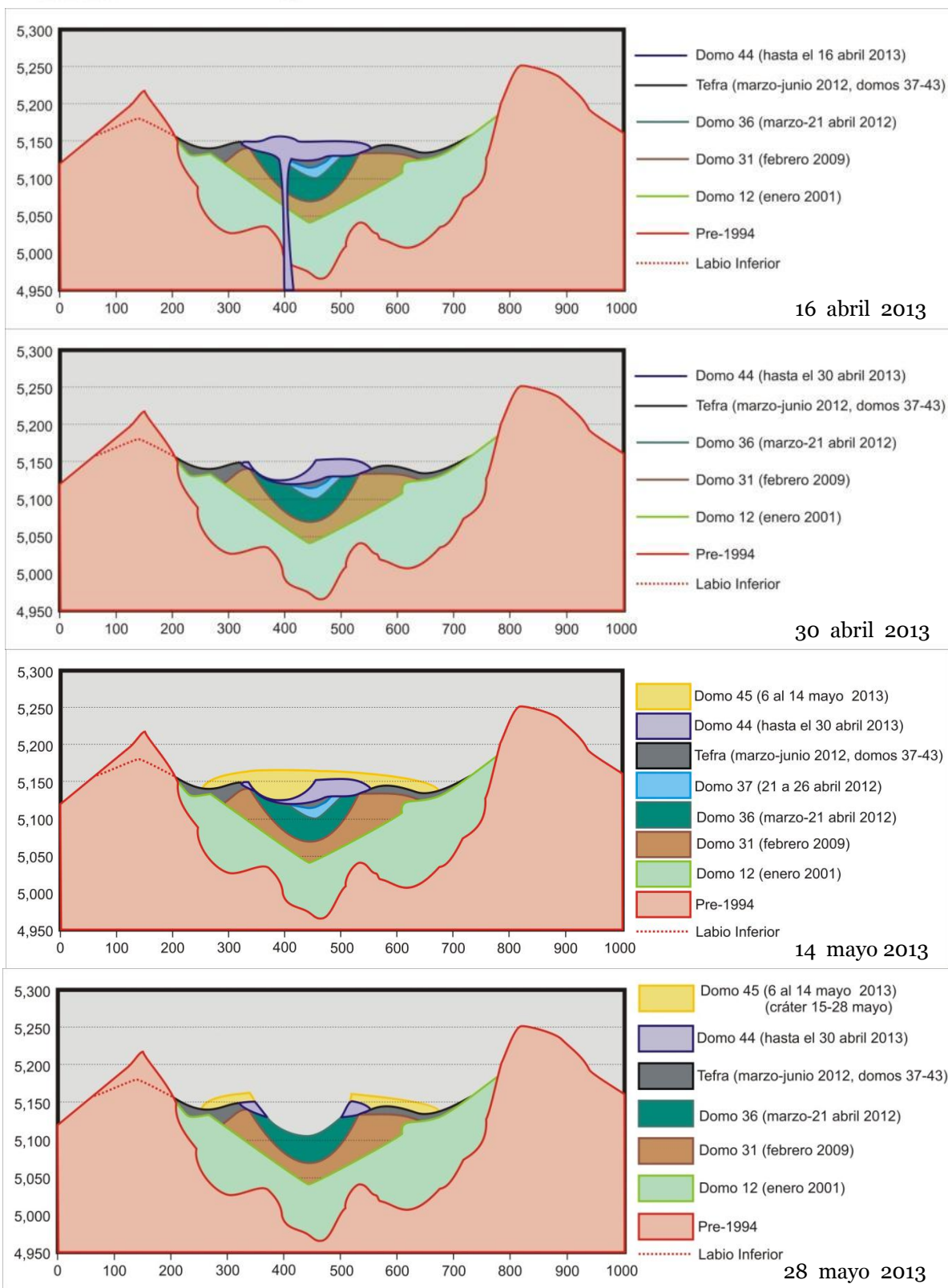


Figura 73 Imágenes térmica y visible del cráter interno del Popocatepetl obtenidas el 23 de julio, en que se puede ver que toda la depresión muestra una elevada temperatura respecto al resto del piso del cráter principal

Información proporcionada por el United States Geological Survey (USGS) permitió determinar que entre el 26 y el 29 de julio se inició el emplazamiento del domo 47, de lava oscura en bloques, que para el 29 alcanzó unos 50 m de diámetro y un volumen de 13,000 m³ (Figura 74)





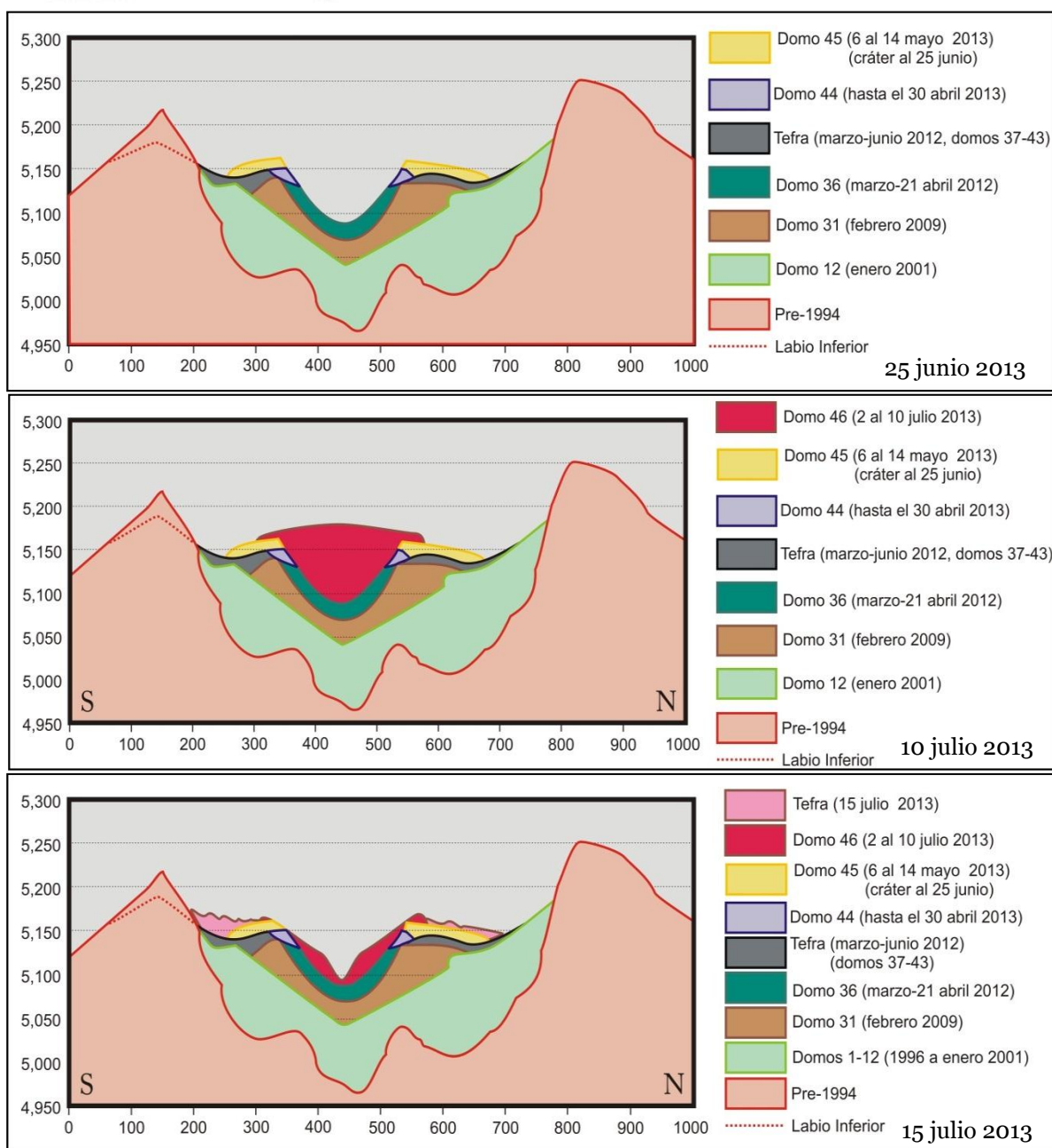


Figura 74 Esquemas de evolución del crecimiento y destrucción de domos correlacionadas con las imágenes obtenidas a través de vuelos: marzo a julio de 2013.

El 2 de agosto se registró un sismo volcanotectónico de magnitud 3.0 y el inicio de diversos segmentos de tremor armónico y de alta frecuencia, por lo que el 5 y 7 de agosto se realizaron sobrevuelos para evaluar las condiciones del interior del cráter. En el primero de ellos las condiciones de nubosidad no permitieron hacer observaciones del cráter. Durante el vuelo del 7 de agosto pudo observarse claramente el interior del cráter (Figura 75), lo que permitió confirmar la presencia del domo 47. Este nuevo domo, que se vio incandescente a simple vista, tuvo en ese momento aproximadamente 50 m de diámetro, 10 m de altura y se encontró dentro del cráter interno que se formó en el mes de julio.

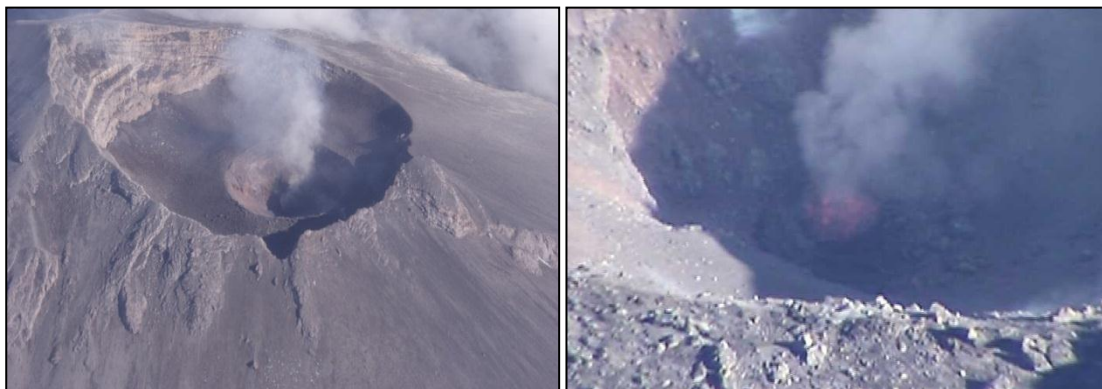


Figura 75 Vista general del cráter del Popocatepetl, en la que puede apreciarse el cráter interno, de unos 300 m de diámetro y 70 de profundidad, producto de las explosiones ocurridas del 12 al 14 de julio. Detalle del nuevo domo, de unos 50 m de diámetro y 10 m de altura, que crece dentro del cráter interno

Durante el vuelo del 28 de agosto pudo observarse que el domo número 47 (Figura 76) había crecido lentamente, rellendo parcialmente el cráter interno. Nuevamente se percibió incandescencia a simple vista.

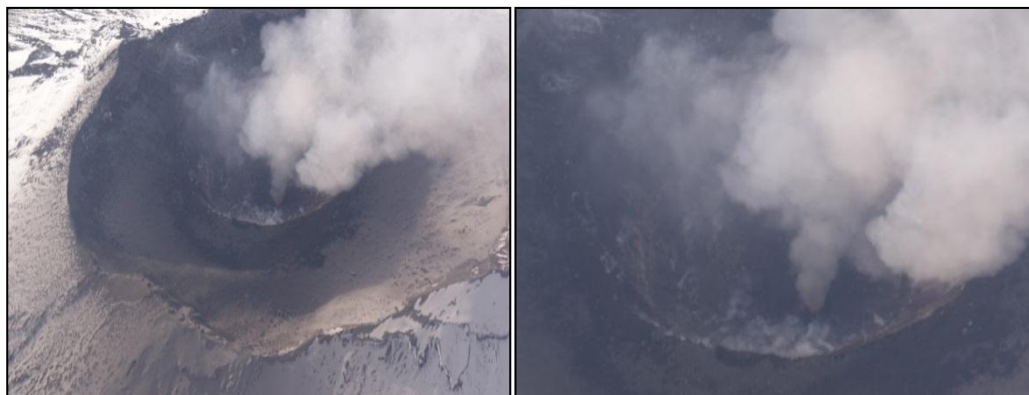


Figura 76 Detalle del cráter interno, de unos 300 m de diámetro y 30 m de profundidad, donde crece el domo 47

Un cálculo aproximado del cambio de volumen del domo durante este mes (más específicamente, del 29 de julio al 28 de agosto) indicó $1.19 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, emplazados en 30 días, durante los cuales se contabilizaron 84 h de tremor. Si se considera que el crecimiento del domo ocurre únicamente mientras hay tremor, se emplazó a una tasa de $3.94 \text{ m}^3/\text{s}$.

Durante el mes de septiembre únicamente se realizó un sobrevuelo, el día 6, y pudo observarse el interior del cráter a pesar de la intensa desgasificación que presentaba el volcán, lo que permitió confirmar que el domo 47 continuó rellendo parcialmente el cráter interno (Figura 77). Con la cámara infrarroja se pudo observar el lanzamiento de fragmentos incandescentes del domo (Figura 78).



Figura 77 Detalle del cráter interno, de unos 300 m de diámetro y 70 m de profundidad, donde creció el domo 47

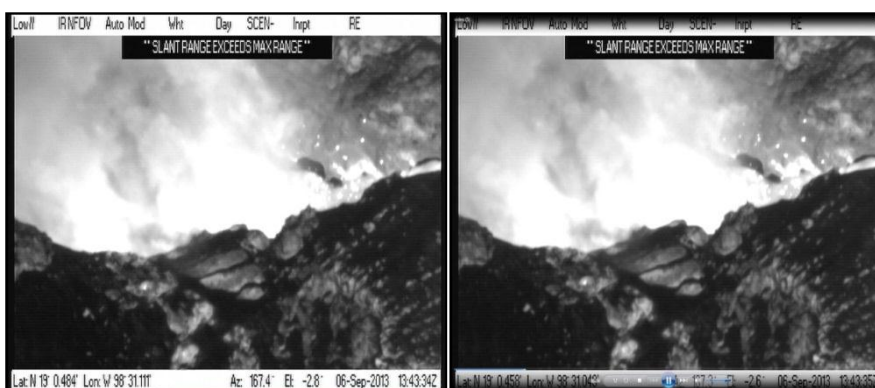


Figura 78 Imágenes infrarrojas, en las que pueden verse fragmentos incandescentes (lado derecho de las imágenes) que son lanzados al aire en trayectorias balísticas y vuelven a caer al interior del cráter principal

El crecimiento del domo de lava estuvo acompañado por tremor armónico y de alta frecuencia, aunque su tasa de crecimiento fue lenta. Entre el 28 de agosto y el 6 de septiembre se acumularon 119 horas de tremor, y se alcanzó un volumen total de $1.72 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, es decir, se emplazó un volumen de $5.3 \cdot 10^5 \text{ m}^3$, a una tasa de efusión de $1.24 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para el 8 de octubre se realizó un vuelo, que permitió confirmar que un nuevo domo (número 48, Figura 79) estaba creciendo sobre los restos del domo 47 y había rellenado parcialmente el cráter interno.

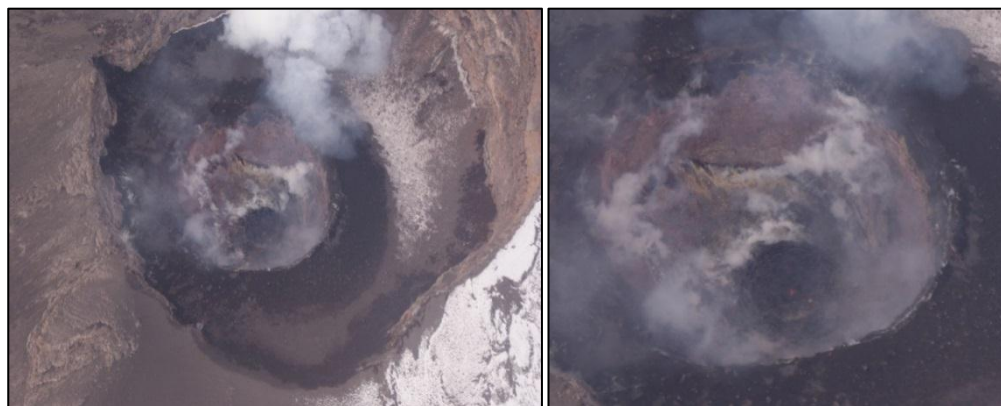


Figura 79 Detalle del cráter interno, donde crecía el domo 48, de unos 60 m de diámetro y 30 m de espesor

Los días 10, 11, 14, 17 y 28 se presentaron, acompañando el crecimiento del domo, pequeñas explosiones que emitieron nubes de ceniza y en algunos casos fragmentos balísticos, que cayeron en las laderas externas hasta algunos cientos de metros del cráter (Figura 80).



Figura 80 Explosiones del 10 y 28 de octubre 2013

Para el 22 de noviembre el domo 48 había ya alcanzado un diámetro de unos 150 m y un grosor de alrededor de 20. Este domo, que a simple vista se vio incandescente, se encuentra confinado dentro del cráter interno que se formó en julio, y a unos 50 metros por debajo del nivel promedio del piso del cráter principal (Figura 81).



Figura 81 Detalle del cráter interno, donde creció el domo 48, que había alcanzado ya unos 150 m de diámetro

Adicionalmente, en las paredes del cráter interno se pudieron ver depósitos de azufre, sublimados a partir de las numerosas fumarolas que aparecen frecuentemente en las paredes del cráter (Figura 82). Esto podría indicar un descenso en la temperatura de estas fumarolas. Asimismo, se pudo confirmar la incandescencia en la parte central del domo (Figura 83).

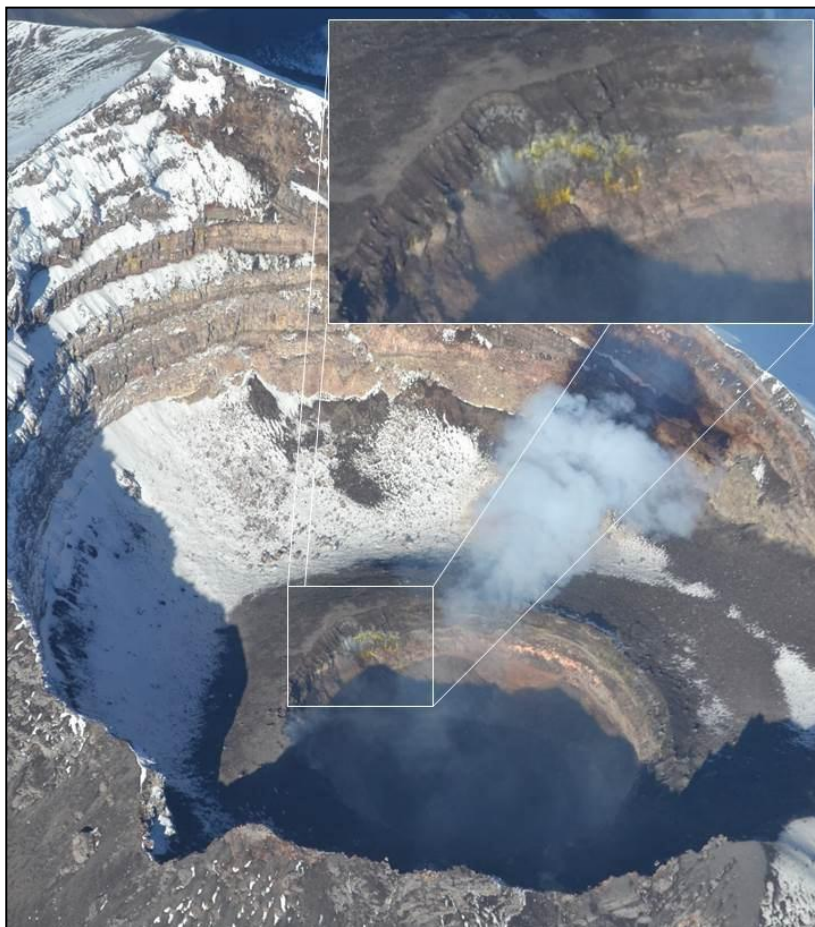


Figura 82 Sublimados de azufre en las paredes del cráter interno.



Figura 83 Imagen de detalle del domo del Popocatepetl, mostrando incandescencia en la porción central

ANÁLISIS

La actividad del volcán Popocatepetl durante el primer trimestre del 2013 se mantuvo baja, aunque presentó una tendencia al alza que se confirmó en marzo por el registro de trenes de exhalaciones, numerosos sismos volcanotectónicos y una mayor actividad explosiva. Siguiendo la tendencia del último trimestre de 2012, esta actividad mostró que no se regresó a los niveles previos a la crisis iniciada en abril de aquel año. Durante el primer trimestre de 2013 se registraron diversos períodos de mayor actividad sísmica, que propiciaron cambios significativos en los niveles de energía acumulada.

La tendencia al alza observada durante marzo se confirmó principalmente durante la segunda quincena de abril, por el registro de casi una treintena de sismos volcanotectónicos, algunos de ellos en enjambres, los episodios de tremor de alta frecuencia y armónico de mediana y gran amplitud entre el 13 y el 17 de abril y el incremento de la actividad explosiva, mayoritariamente entre el 18 y el 25 de abril.

También en la segunda quincena de abril, las mediciones de la tasa de emisión de SO_2 presentaron un incremento con respecto a los datos de los últimos meses. Por otra parte, las anomalías térmicas también fueron relevantes para algunos de los eventos explosivos de la última quincena del mes.

Este incremento de la actividad fue confirmado también por la observación de una mayor tasa de emplazamiento de material en el cráter. En especial, la observación del domo el 16 de abril, con un aspecto similar al domo de 1997, pero de menor tamaño, pareció indicar una mayor fluidez y temperatura del material emplazado, respecto a la observación de los domos en los meses anteriores. La presencia abundante de señales tipo híbrido coincidió con períodos de enfriamiento del domo.

En las imágenes del domo del 16 de abril se observó también diferente coloración de los gases: grises-pardos en la zona central y gases azulados en el perímetro del domo. La coloración azulada indicó hidratación y acidificación de los gases, con una mayor presencia de partículas de sílice. Estas observaciones confirmaron que el volcán no tiene un sistema hidrotermal bien desarrollado que permita la transformación del dióxido de azufre (SO_2) a gases más ácidos, por lo que esta transformación ocurre en zonas someras por contacto de los gases con humedad atmosférica o agua de lluvia. Es por ello que, en general, las cantidades de SO_2 que emite este volcán son muy altas.

El episodio de tremor de alta frecuencia del 13 de abril es el que dio lugar al emplazamiento del domo observado el martes 16. Este material pudo haber migrado a zonas someras a raíz del enjambre de sismos volcanotectónicos del 6 de abril. Algunos de los sismos volcanotectónicos registrados presentaron prefases de baja frecuencia, lo que podría indicar que fueron sismos de rotura de la capa de sello de una acumulación de magma.

La ceniza emitida durante este episodio de tremor presentó granulometrías muy finas, abundantes componentes líticos y en general material poco vesiculado. Las características de esta ceniza, emitida durante las primeras horas del episodio de tremor, indicaban que procedía de la limpieza del conducto, y consistía en material ya previamente solidificado en la parte central del cráter.

El enjambre de sismos volcanotectónicos del día 27 se localizó a profundidades alrededor de 8-6 km debajo del nivel del cráter, lo que se interpretó como la respuesta a una nueva intrusión de magma a través de un dique de dirección SE-NW, con una longitud de unos 3 – 4 km.

Cabe mencionar también que, en el análisis realizado a muestras obtenidas durante los últimos días de abril, persistió la presencia de Boro en el manantial Axocopan, lo que sugería que persistía la disolución de gases volcánicos en las aguas que circulan por el edificio volcánico.

En mayo, la actividad en el volcán consistió esencialmente en el emplazamiento y posterior destrucción del domo 45. Se caracterizó por iniciar con un sismo volcanotectónico de magnitud 4.1 el 6 de mayo, el mayor registrado hasta ahora en el volcán, y fue seguido por episodios de tremor armónico y trenes de exhalaciones, que generaron importantes emisiones de ceniza que alcanzaron hasta casi 4 km de altura sobre el cráter. Antes de su destrucción, este domo alcanzó 450 metros de diámetro y un volumen calculado en 4.2 millones de m³.

Desde el 14 de mayo y hasta fin de mes la dinámica eruptiva se modificó, presentando numerosas explosiones de magnitud variable que destruyeron parcialmente el domo 45, produciendo sobre su superficie un cráter que alcanzó un diámetro de 210 m y 50 m de profundidad, lo que implicó una pérdida de volumen de casi 2.3 millones de m³. En particular la explosión ocurrida en la madrugada del 15 fue una de las más energéticas que se habían registrado en el volcán, y fue la que excavó la mayor parte del cráter interno. El proceso de destrucción del domo 45 culminó con un evento explosivo el 17 de junio.

A partir del 23 de junio se presentó un episodio de tremor armónico y de alta frecuencia, con emisión de ceniza, y desde el día 25 se observó un ligero incremento en la cantidad y magnitud de sismos volcanotectónicos, lo que sugirió el inicio de un nuevo episodio eruptivo.

A principios de junio el cráter interno del Popocatepetl presentaba un diámetro de 210 m y una profundidad de 50 m, lo que implicaba un hueco de 2.3 millones de m³. A finales de junio, luego de la explosión del 17, se pudo determinar que el cráter interno había incrementado sus dimensiones, alcanzando un diámetro de 250 m y una profundidad de 60 m, lo que implica que el cráter interno quedo con un hueco de 3.9 millones de m³.

Los análisis realizados a la ceniza emitida durante los días 12 y 17 de junio encontraron granulometrías muy finas, abundantes componentes líticos y en general material poco vesiculado. La composición química de las cenizas mostró menor cantidad de sílice y mayor cantidad de magnesio que las muestras del 7 de mayo. Todas estas evidencias indicaron que, durante junio, se presentó un nuevo aporte profundo de magma hacia el edificio volcánico.

La actividad del volcán Popocatepetl presentó un claro incremento los primeros días de julio, caracterizado por un episodio continuo de tremor armónico de gran amplitud. Este episodio se prolongó durante los primeros 11 días del mes y tuvo una fase culminante, caracterizada por la ocurrencia de diversos eventos explosivos de mediana intensidad del 10 al 20 de julio. A lo largo del mes se registraron 50 sismos volcanotectónicos, de los que el más relevante fue el ocurrido el 28 de julio, de magnitud 3.4. El aporte de energía sísmica acumulada durante julio correspondió a un 45 % del total acumulado durante 2013.

La anomalía térmica reportada en el Popocatepetl el 4 julio tuvo un NTI de 0.46, más alto que el valor máximo hasta entonces registrado, el 12 de diciembre de 2002, cuando se midió 0.35.

El 18 de julio se midió el valor más elevado de emisión de SO₂, 20,200 t/día. Hacia los últimos días del mes las mediciones mostraron valores más bajos, el 29 se obtuvo un valor de 6,800 t/día, por encima de la línea base para este volcán (4,000 – 5,000 t/día).

A principios de julio el cráter interno tenía un diámetro de 250 m y una profundidad de 60 m. A partir del 2 de julio se inició el emplazamiento del domo 46, que para el día 10 había alcanzado un volumen aproximado de 2.6*10⁶ m³. El domo 46 fue parcialmente destruido con las explosiones ocurridas los días 10 a 20 de julio. Sobre el cuerpo del domo 46 se formó un cráter interno de unos 300 m de diámetro y 70 m de profundidad, con un volumen faltante de 3.3*10⁶ m³. Entre el 26 y el 29 de julio se inició el emplazamiento del domo 47, de lava oscura en

bloques, que para el 29 alcanzó unos 50 m de diámetro y un volumen de 13,000 m³.

Los análisis realizados a la ceniza emitida durante los días 5 y 13 de julio presentaron granulometrías muy finas. La composición química de los gases lixiviados presentes en las cenizas mostró una alta concentración de flúor, en particular las cenizas emitidas durante el día 3, lo que indicó que durante este episodio se presentó un aporte de magma profundo.

A principios de agosto se presentó una serie de explosiones que terminaron de darle forma al cráter interno generado desde junio. En general, durante el resto del mes se presentó un proceso de crecimiento del domo 47 muy lento, acompañado por episodios de tremor armónico y de alta frecuencia, que a partir del 9 de agosto se hicieron más frecuentes y de mayor amplitud.

Entre el 28 de agosto y el 6 de septiembre se acumularon 119 horas de tremor, y se alcanzó un volumen total del domo de 1.72*10⁶m³, es decir, se emplazó un volumen de 5.3*10⁵m³, a una tasa de efusión de 1.24 m³/s.

En general, a partir de septiembre, la tendencia en todos los parámetros de monitoreo se mostró a la baja. Sin embargo, no se llegó al nivel base de actividad y siguió habiendo un lento aporte de magma hacia el domo ubicado en el interior del cráter interno.

En octubre se contabilizaron únicamente 40 minutos de tremor, el día 27. Se registraron 718 exhalaciones, principalmente los días 20 y 23, cuando se registraron dos episodios cortos de trenes de exhalaciones. Además, se registraron 11 eventos explosivos, principalmente entre el 9 y el 14. También se registraron 24 sismos volcanotectónicos, el más relevante el día 25, de magnitud 2.2, a una profundidad de más de 17 kilómetros.

Durante el último trimestre del año la actividad más relevante del volcán fue el emplazamiento, de forma bastante lenta, de un nuevo domo de lava (el no. 48) que poco a poco cubrió al domo anterior. Sin embargo, sólo ocupó aproximadamente la mitad del volumen del cráter interno, y la superficie del domo se encontraba aún cerca de 50 m bajo el nivel del piso del cráter principal. Adicionalmente, el 21 de noviembre se detectaron tres sismos en el sector sureste del volcán, que pudieran estar asociados a movimientos en un sistema de fallas tectónicas profundas.

La tendencia en casi todos los parámetros de monitoreo se mostró a la baja, de especial importancia resultan la ausencia de tremor y los episodios de silencio sísmico de los días 4 al 5, 12, 21, 23 y 29 de diciembre, en los que no se presentaron eventos de ningún tipo.

Los sismos volcanotectónicos mostraron, desde octubre, una tendencia a hacerse más profundos, éstos podrían estar asociados a movimientos en un sistema de fallas tectónicas de mayor profundidad, debidas a un relajamiento del sistema volcánico.

Los sismos tectónicos profundos probablemente indican una despresurización a profundidad, por lo que es posible que se observe un abatimiento en la energía liberada por la sismicidad propia del volcán, lo que implicará un relajamiento del sistema volcánico. En este escenario, se puede esperar que se mantenga la calma por un periodo de meses, aunque eventualmente se podría observar actividad externa similar a la de meses anteriores.

NOTAS

El contenido de este informe se elaboró con datos proporcionados por los sistemas de monitoreo del CENAPRED, y la red DOAS-COSPEC del Instituto de Geofísica de la UNAM. Las imágenes del interior del cráter fueron obtenidas mediante vuelos facilitados por la Secretaría de Marina.

Este informe ha sido elaborado como herramienta para la discusión interna del estado de actividad del volcán Popocatepetl, entre los miembros del Comité Científico Asesor y el equipo del CENAPRED. La información y datos contenidos en el mismo no pueden ser reproducidos sin previa autorización de los especialistas que elaboraron y colaboraron en este informe.

Elaboraron: Amiel Nieto, Ramón Espinasa, Dolors Ferres, Moises Contreras y Lucio Cárdenas

Colaboraron: Comité Científico Asesor, Secretaría de Marina – Armada de México, Policía Federal.

ANEXO 1 Sismos volcanotectónicos localizados durante 2013

Fecha	Lat	Long	Prof crater	Prof masm	Mag	RMS
13/01/2013	19.0202	-98.6183	-5220	280	0.02	2.3
14/01/2013	19.0240	-98.6233	-5420	80	0.01	2
15/01/2013	19.0222	-98.6117	-4720	780	0.05	2.6
16/01/2013	18.9657	-98.5450	-8320	-2820	0.02	2.6
17/01/2013	18.9867	-261.9333	-5420	80	0.04	2.2
18/01/2013	19.0197	-98.6283	-3920	1580	0.06	1.7
22/01/2013	18.9937	-261.9333	-6120	-620	0.05	2.8
23/01/2013	19.0328	-98.6133	-9020	-3520	0.06	2.5
24/01/2013	19.0940	-98.6083	-5220	280	0.12	2.7
28/01/2013	19.0342	-98.6267	-3420	2080	0.1	2.4
30/01/2013	19.0150	-98.6250	-4620	880	0.03	1.7
31/01/2013	19.0137	-98.6217	-4020	1480	0.02	1.9
03/02/2013	19.0398	-98.6417	-8020.0	-2520.0	2.8	0.66
07/02/2013	19.0690	-98.6867	-920.0	4580.0	1	0.02
08/02/2013	19.0293	-98.6250	-5420.0	80.0	2.4	0.14
09/02/2013	19.0415	-98.6217	-5320.0	180.0	2.5	0.05
10/02/2013	19.0348	-98.6267	-6120.0	-620.0	1.7	0.02
11/02/2013	19.0340	-98.6217	-6020.0	-520.0	2.4	0.01
12/02/2013	19.0377	-98.5933	-4820.0	680.0	2.1	0.06
12/02/2013	18.9965	-98.5900	-5520.0	-20.0	2.1	0.04
12/02/2013	18.9770	-98.7417	-5920.0	-420.0	1.8	0.2
16/02/2013	19.0253	-98.5983	-3420.0	2080.0	2.5	0.06
17/02/2013	19.0107	-98.5800	-3720.0	1780.0	2.8	0.21
19/02/2013	19.0357	-98.6667	-920.0	4580.0	2.1	0.04
20/02/2013	19.0405	-98.6367	-4420.0	1080.0	3.5	2.3
28/02/2013	19.0252	-98.6283	-4320.0	1180.0	3.4	0.02
03/03/2013	19.0248	-98.6167	-4420.0	1080.0	3.5	0.04
07/03/2013	19.0458	-98.6433	-4020.0	1480.0	3.1	0.02
09/03/2013	19.0263	-98.6400	-4320.0	1180.0	3.4	0.04
13/03/2013	19.0340	-98.6300	-5120.0	380.0	1.7	0.06
14/03/2013	19.0632	-98.6233	-10920.0	-5420.0	2.2	0.04
14/03/2013	19.0265	-98.6100	-5920.0	-420.0	2.1	0.07
14/03/2013	19.0538	-98.6430	-8320.0	-2820.0	2.4	0.03
15/03/2013	19.0180	-98.6133	-7120.0	1620.0	2.3	0.02
16/03/2013	19.0320	-98.6083	-4420.0	1080.0	3.5	0.17
17/03/2013	19.0287	-98.6233	-5220.0	280.0	2.7	0.13
17/03/2013	19.0313	-98.5967	-6120.0	-620.0	2.4	0.01
17/03/2013	19.0257	-98.6250	-4520.0	980.0	3.6	0.05
22/03/2013	19.0422	-98.6217	-4820.0	680.0	2.1	0.06
22/03/2013	19.0417	-98.6017	-3520.0	1980.0	2.6	0.03
29/03/2013	19.0990	-98.6367	-4620.0	880.0	3.7	0.09
29/03/2013	19.0248	-98.6233	-4920.0	580.0	1.9	0.05
30/03/2013	19.0752	-98.5650	-3120.0	2380.0	2.2	0.17
07/04/2013	19.0210	-98.6150	-4720.0	780.0	3.8	0.08
08/04/2013	18.9803	-98.6217	-3720.0	-228.0	2.9	0.02
11/04/2013	19.0327	-98.6447	-10920.0	-5420.0	1.8	0.753
12/04/2013	19.0190	-98.6183	-3720.0	1780.0	2.8	0.07
13/04/2013	19.0288	-98.6162	-3210.0	2290.0	2.29	0.316
24/04/2013	19.0307	-98.6300	-4520.0	980.0	3.6	0.01
25/04/2013	19.0240	-98.6150	-4920.0	580.0	1.9	0.05
25/04/2013	19.0088	-98.6567	-10920.0	-5420.0	2	0.407
27/04/2013	19.0347	-98.6383	-6920.0	-1420.0	2	0.04
27/04/2013	19.0105	-98.6467	-920.0	4580.0	2.2	0.02
27/04/2013	19.0427	-98.6467	-8720.0	-3220.0	2.2	0.02
27/04/2013	19.0670	-98.6950	-2720.0	2780.0	1.8	0.04
27/04/2013	19.0088	-98.6567	-10920.0	-5420.0	2.4	0.341
27/04/2013	19.0548	-98.6133	-15520.0	-15520.0	1.7	0.21
27/04/2013	19.0417	-98.6417	-8720.0	-3220.0	1.6	0.06
27/04/2013	19.0545	-98.6800	-2220.0	3280.0	1.3	0.02
27/04/2013	19.0625	-98.6833	-6320.0	-820.0	2.1	0.02
28/04/2013	19.0958	-98.6583	-5920.0	-420.0	2	0.05
01/05/2013	19.0848	-98.6388	-10860.0	-5360.0	2.2	0.344
06/05/2013	19.0752	-98.6100	-6080.0	-508.0	0.47	0.07
07/05/2013	19.0350	-98.6483	-5620.0	-120.0	2.2	0.09
07/05/2013	19.0227	-98.6167	-4520.0	980.0	3.6	0.03
08/05/2013	19.0265	-98.6250	-7320.0	-1820.0	1.9	0.1
09/05/2013	19.0088	-98.6567	-5900.0	-400.0	2.3	0.22
09/05/2013	19.0277	-98.6183	-4420.0	1080.0	3.5	0.05
14/05/2013	19.0295	-98.6250	-4320.0	1180.0	3.4	0.05
14/05/2013	19.0293	-98.6300	-5020.0	480.0	1.9	0.06
18/05/2013	19.0242	-98.6250	-5020.0	480.0	2.1	0.07
19/05/2013	19.0217	-98.6217	-5320.0	180.0	2.2	0.07
20/05/2013	19.0262	-98.6300	-3820.0	1680.0	2.9	0.06
23/05/2013	19.0223	-98.6183	-1720.0	3780.0	2.3	0.09
25/05/2013	19.0275	-98.6300	-5720.0	-220.0	2.6	0.07
27/05/2013	19.0545	-98.6067	-12920.0	-7420.0	2.7	0.02
27/05/2013	19.0558	-98.6083	-12120.0	-6620.0	2.8	0.02
01/06/2013	19.0450	-98.6540	-5150	350.0	2.3	0.03
01/06/2013	19.0170	-98.5940	-5150	350.0	2	0.02
02/06/2013	19.0333	-98.6120	-5150	350.0	2.4	0.02
02/06/2013	19.0340	-98.5950	-5150	350.0	2.5	0.02
03/06/2013	19.0190	-98.6140	-5150	350.0	1.7	0.02
03/06/2013	19.0140	-98.6170	-5150	350.0	2.5	0.02
05/06/2013	19.0195	-98.6167	-5150	350.0	2.3	0.02
06/06/2013	19.0405	-98.6183	-5150	350.0	2.8	0.02
06/06/2013	19.0360	-98.6175	-5150	350.0	2.8	0.02
06/06/2013	19.0417	-98.6217	-5150	350.0	2.4	0.02
07/06/2013	19.0323	-98.6267	-5150	350.0	1.9	0.02
07/06/2013	19.0237	-98.6167	-5150	350.0	2.5	0.02
08/06/2013	19.0265	-98.6317	-5150	350.0	2.4	0.02
08/06/2013	19.0315	-98.6233	-5150	350.0	2.4	0.02
08/06/2013	19.0278	-98.6333	-5150	350.0	1.8	0.02
09/06/2013	19.0237	-98.6183	-5150	350.0	1.7	0.02
14/06/2013	19.0187	-98.6233	-5150	350.0	2.3	0.02
15/06/2013	19.0305	-98.6200	-2620	2880.0	1.9	0.02
22/06/2013	19.0163	-98.5617	-5150	350.0	2.8	0.02
26/06/2013	19.0152	-98.6133	-7420	-1920.0	3.7	0.02
26/06/2013	19.0203	-98.6002	-4520	980.0	2.6	0.02
26/06/2013	19.0060	-98.6183	-3420	2080.0	2.2	0.02
26/06/2013	19.0125	-98.6133	-5020	480.0	1	0.02
26/06/2013	19.0060	-98.6183	-3420	2080.0	2.2	0.02
27/06/2013	18.9840	-98.5983	-4520	980.0	2.4	0.02
27/06/2013	18.9953	-98.6233	-3220	2280.0	2.2	0.02
28/06/2013	19.0245	-98.6150	-5420	80.0	3.2	0.02
28/06/2013	19.0280	-98.6133	-4220	1280.0	1.9	0.02
29/06/2013	19.0232	-98.6133	-4120	1380.0	1.6	0.02
29/06/2013	19.0257	-98.6300	-4320	1180.0	2.1	0.02
30/06/2013	19.0925	-98.6533	-9020	-3520.0	2.9	0.02
30/06/2013	19.0942	-98.6783	-6020	-520.0	2.4	0.02
30/06/2013	19.0175	-98.6350	-2320	3180.0	2.4	0.02
30/06/2013	19.0365	-98.6550	-3820	1680.0	2.3	0.02
30/06/2013	19.0298	-98.6250	-5220	280.0	2.4	0.02
30/06/2013	19.0212	-98.6350	-4920	580.0	2.5	0.02
01/07/2013	19.0172	-98.6450	-3620	1880.0	2.6	0.02
01/07/2013	19.0243	-98.6333	-4120	1380.0	2.6	0.02
02/07/2013	19.0260	-98.6167	-4920	580.0	2.1	0.02
02/07/2013	19.0277	-98.6950	-5920	-420.0	2.2	0.02
03/07/2013	19.0413	-98.6650	-6120	-620.0	2.6	0.02
03/07/2013	19.0385	-98.6217	-5820	-320.0	1.7	0.02
03/07/2013	19.0210	-98.6133	-4320	1180.0	2.6	0.02
04/07/2013	19.0213	-98.6367	-4620	880.0	1.7	0.02
08/07/2013	19.0288	-98.6250	-5220	280.0	2.6	0.02
11/07/2013	19.0457	-98.6500	-4620	880.0	1.7	0.02

Fecha	Lat	Long	Prof crater	Prof masm	Mag	RMS
15/07/2013	19.0013	-98.6167	-4620	880.0	1.7	0.02
15/07/2013	19.0540	-98.6467	-4820	680.0	1.7	0.02
15/07/2013	19.0358	-98.6567	-7420	-1920.0	2.2	0.02
15/07/2013	19.0292	-98.6217	-5720	-220.0	1.9	0.02
15/07/2013	19.0167	-98.6433	-3820	1680.0	2.1	0.02
16/07/2013	19.0398	-98.6350	-4820	680.0	2	0.02
17/07/2013	19.0310	-98.6083	-6620	-1120.0	1.8	0.02
18/07/2013	19.0285	-98.6600	-6620	-1120.0	2.7	0.02
18/07/2013	19.0260	-98.6133	-4420	1080.0	1.9	0.02
19/07/2013	19.0407	-98.6200	-2220	3280.0	2.2	0.02
21/07/2013	19.0182	-98.6183	-4220	1280.0	3.1	0.02
22/07/2013	19.0247	-98.6467	-4720	780.0	2.3	0.02
24/07/2013	19.0162	-98.6367	-4120	1380.0	2.3	0.02
25/07/2013	19.0182	-98.6933	-5220	280.0	2.9	0.02
25/07/2013	19.0222	-98.6350	-5220	280.0	1.9	0.02
28/07/2013	19.0560	-98.6533	-5920	-420.0	1.9	0.02
28/07/2013	19.0720	-98.6117	-10950	-5450.0	2.7	0.02
28/07/2013	19.0147	-98.6200	-6870	-1370.0	2.9	0.02
29/07/2013	18.9767	-98.5433	-8120	-2620.0	3	0.02
29/07/2013	19.0222	-98.6150	-5020	480.0	3	0.02
29/07/2013	19.0280	-98.6200	-1720	3780.0	2.2	0.02
30/07/2013	19.0353	-98.6217	-4320	1180.0	2.3	0.02
30/07/2013	19.0285	-98.6083	-4880	620.0	1.8	0.02
30/07/2013	19.0653	-98.6783	-6020	-520.0	1.5	0.02
30/07/2013	19.0270	-98.6317	-4870	630.0	2.9	0.02
30/07/2013	19.0227	-98.6233	-5000	2180.0	2.4	0.02
02/08/2013	19.0317	-98.6150	-5870	-400.0	1.4	0.09
02/08/2013	19.0268	-98.6383	-3520	1980.0	1.6	0.1
02/08/2013	19.0170	-98.6133	-3900	1600.0	3	0.3
07/08/2013	19.0272	-98.6300	-5000	500.0	1.7	0.7
08/08/2013	19.0230	-98.6167	-4600	900.0	2	0.94
10/08/2013	19.0130	-98.6300	-4600	4600.0	2.5	0.6
16/08/2013	19.0227	-98.6233	-4400	1100.0	2.5	0.06
25/08/2013	19.0482	-98.6067	-2300	3200.0	2.8	0.06
26/08/2013	19.0102	-98.6317	-9200	-3700.0	3.1	0.03
28/08/2013	19.0297	-98.6283	-5000	500.0	2.3	0.05
30/08/2013	19.0440	-98.6467	-5100	400.0	2.5	0.05
31/08/2013	19.0215	-98.6167	-4600	900.0	2.3	0.06
01/09/2013	19.0132	-98.6300	-4600	4600.0	2.5	0.06
03/09/2013	19.0230	-98.6683	-6900	-1400.0	2.2	0.03
05/09/2013	19.0288	-98.6100	-4900	600.0	2.1	0.05
05/09/2013	19.0640	-98.6067	-6100	-600.0	3	0.05
05/09/2013	19.0273	-98.6400	-4300	1200.0	1.5	0.04
11/09/2013	19.0315	-98.6350	-5400	100.0	1.3	0.08
16/09/2013	19.0508	-98.6383	-5800	-300.0	3	0.05
19/09/2013	19.0118	-98.6083	-7300	-1800.0	2.2	0.02
19/09/2013	19.9355	-98.6033	-6100	-600.0	2.8	0.17
29/09/2013	19.9942	-98.6050	-5200	300.0	2.6	0.03
29/09/2013	19.0212	-98.6150	-5200	300.0	2.4	0.02
30/09/2013	19.0690	-98.6467	-7300	-1800.0	2.4	0.11
02/10/2013	19.0540	-98.6317	-5400	100.0	1.3	0.21
02/10/2013	19.0520	-98.6100	-4400	1000.0	1.7	0.04
03/10/2013	19.0705	-98.7007	-5000	-1800.0	2.4	0.43
04/10/2013	19.0130	-98.6150	-3800	1700.0	2	0.1
06/10/2013	19.0010	-98.5950	-6300	-800.0	2.3	0.24
06/10/2013	19.0515	-98.6300	-7600	-2100.0	1.8	0.29
10/10/2013	19.0342	-98.5733	-8600	-3100.0	2.2	0.03
11/10/2013	19.0800	-98.6233	-6900	-1400.0	1.5	0.94
12/10/2013	19.0287	-98.6283	-5000	-270.0	1.6	0.06
12/10/2013	19.0367	-98.6033	-7400	-1900.0	1.4	0.06
14/10/2013	19.0437	-98.5867	-5900	-400.0	2.5	0.1
16/10/2013	19.0555	-98.6200	-7100	-1600.0	1.8	0.08
16/10/2013	19.0798	-98.6683	-2200	3300.0	1.2	0.05
17/10/2013	19.1092	-98.6317	-7300	-1800.0	1.4	0.13
19/10/2013	19.1055	-98.6517	-5900	-400.0	2.3	0.03
20/10/2013	19.0645	-98.5550	-5900	-400.0	1.6	0.14
22/10/2013	19.0300	-98.5883	-8300	-2800.0	2.8	0.08
23/10/2013	19.0727	-98.6650	-1900	3600.0	1.3	0.62
24/10/2013	19.0312	-98.6183	-5500	0.0	2	0.27
25/10/2013	19.0252	-98.6333	-17300	-11800.0	2.2	0.06
25/10/2013	19.0203	-98.6250	-7700	-2200.0	2.3	0.05
25/10/2013	19.0335	-98.6067	-6000	-1900.0	1.7	0.05
26/10/2013	19.0650	-98.6200	-9500	-4000.0	1.3	0.24
31/10/2013	19.0362	-98.6233	-5000	500.0	2.1	0.13
31/10/2013	19.0248	-98.6233	-4300	1200.0	1.1	0.07
04/11/2013	19.0328	-98.6283	-5400	100.0	2.5	0.1
05/11/2013	19.9575	-98.5800	-18600	-13100.0	2.7	0.06
06/11/2013	19.9550	-98.5783	-11700	-6200.0	2.9	0.12
06/11/2013	19.9570	-98.5800	-11700	-6200.0	2.9	0.12
06/11/2013	19.9533	-98.6100	-19000	-14000.0	2.1	0.19
06/11/2013	19.0887	-98.6433	-10900	-5400.0	2.3	0.1
10/11/2013	19.9692	-98.5850	-9200	-3700.0	2.7	0.1
11/11/2013	19.0245	-98.6133	-4400	1100.0	2.3	0.1
12/11/2013	19.0408	-98.6217	-4900	600.0	2.5	0.04
12/11/2013	19.0193	-98.6133	-4200	1300.0	2.1	0.04
14/11/2013	19.0392	-98.6233	-4400	1400.0	2.4	0.1
15/11/2013	19.0408	-98.6533	-4300	1200.0	1.9	0.04
18/11/2013	19.0280	-98.6067	-4500	1000.0	1.4	0.94
18/11/2013	19.0297	-98.6267	-4600	900.0	2.5	0.05
21/11/2013	19.0280	-98.5983	-3200	2300.0	2.5	0.08
21/11/2013	19.9705	-98.5567	-8200	-2700.0	3.5	0.08
21/11/2013	19.9887	-98.5250	-11200	-1250.0	3.2	0.08
21/11/2013	19.0272	-98.4833	-4700	-3200.0	3.2	0.06
21/11/2013	19.0197	-98.6167	-4100	1400.0	1.6	0.1
22/11/2013	19.8152	-98.5950	-11900	-6400.0	2.9	0.07
23/11/2013	19.0372	-98.6267	-5400	100.0	2.2	0.07
24/11/2013	19.0238	-98.6183	-4800	700.0	2.1	0.08
24/11/2013	19.0238	-98.6183	-4800	700.0	2.1	0.08
28/11/2013	19.9805	-98.5117	-7200	-3900.0	2.7	0.08
28/11/2013	19.0367	-98.6167	-4800	700.0	2.4	0.08
29/11/2013	19.0497	-98.6383	-4200	1300.0	2.2	0.08
02/12/2013	19.0450	-98.6517	-6400	-900.0	2	0.11
02/12/2013	19.0100	-98.6183	-3700	1800.0	1.3	0.07
03/12/2013	19.9573	-98.5700	-10500	-5600.0	2.8	0.11
04/12/2013	19.0175	-98.6267	-6500	-1000.0	2.3	0.13
05/12/2013	19.0563	-98.6200	-4500	3500.0	1.9	0.2
05/12/2013	19.9628	-98.5733	-6300	-1800.0	2.6	0.04
07/12/2013	19.0243	-98.6267	-5000	500.0	1.5	0.04
08/12/2013	19.0352	-98.6050	-6500	-1000.0	2.2	0.05
09/12/2013	19.0093	-98.6200	-3400	2100.0	2.1	0.09
09/12/2013	19.9600	-98.5867	-10500	-5000.0	3.2	0.09
09/12/2013	19.9162	-98.6483	-21100	-15600.0	3.2	0.07
10/12/2013	19.0622	-98.5867	-7200	-1800.0	2.7	0.08
20/12/2013	19.9443	-98.5783	-10300	-4800.0	2	0.02
20/12/2013	19.9868	-98.6083	-6800	-500.0	2.8	0.4
20/12/2013	19.9638	-98.5883	-9200	-3700.0	2.8	0.15
25/12/2013	19.9805	-98.5900	-8200	-2700.0	3.4	0.15
25/12/2013	19.9337	-98.5967	-11600	-6100.0	3.2	0.08
26/12/2013	19.9718	-98.5983	-11600	-6100.0	3.2	0.08
26/12/2013	19.9392	-98.6150	-6100	-600.0	2.5	0.12
28/12/2013	19.0417	-98.6283	-4700	800.0	1.9	0.04