

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

**ACTIVIDAD DEL VOLCÁN POPOCATÉPETL**

**2015**

Subdirección de Riesgos Volcánicos  
Dirección de Investigación

**CONTENIDO**

Resumen

Actividad sísmica

Eventos de periodo largo (exhalaciones, trenes de exhalaciones y explosiones)

Tremor armónico y de alta frecuencia

Sismos volcanotectónicos

Energía sísmica y energía sísmica acumulada

Anomalías térmicas

Monitoreo de la emisión de gases (SO<sub>2</sub>) DOAS-COSPEC, Aura/Omi (Nasa)

Monitoreo geoquímico de aguas

Monitoreo visual

Diagnóstico

**RESUMEN**

En general, la actividad del volcán durante 2015 fue mayor que en 2014. En total se registraron 12,252 exhalaciones, 11,767 *pulgas*, 1,708 explosiones, 199 VTs y 173 horas de tremor. Se detectaron siete domos, así como 34 episodios de actividad estromboliana. Durante los meses de septiembre, noviembre y diciembre se registraron trenes de LPs, que se asociaron con el movimiento de fluidos dentro del edificio volcánico. La anomalía térmica con el valor más alto se registró el 11 de marzo, con un valor NTI de -0.189, registrada con el sistema MODVOLC. En el monitoreo de gases, a través del sistema OMI el pico máximo fue de 5,000 toneladas el 9 de marzo, el sistema DOAS presentó un pico máximo, de 19,300 t/día el 16 de marzo y finalmente el COSPEC registró el 13 de marzo su valor máximo de 10,800 t/día.

## ACTIVIDAD SÍSMICA

De acuerdo con el monitoreo sísmico, el 2015 se caracterizó principalmente por la ocurrencia de señales sísmicas asociadas con el movimiento de fluidos de fuente no destructiva, persistente y transitoria (LPs y tremor), así como por el registro de eventos asociados al fracturamiento de roca (sismos volcanotectónicos, VT). Durante 2015 se observó un incremento en el registro de eventos sísmicos respecto del año anterior (Figura 1, Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de la sismicidad del volcán Popocatepetl durante 2015

Mes	LPs			VTs	Tremor (horas)
	Exhalaciones	Pulgas	Explosiones		
Enero	1290	1557	43	8	10.73
Febrero	1745	1539	319	19	17.87
Marzo	1423	1374	195	14	21.1
Abril	1116	995	165	37	19.55
Mayo	1242	1371	67	2	14.33
Junio	916	1000	105	14	9.75
Julio	677	778	56	28	9.63
Agosto	468	494	43	12	12.27
Septiembre	589	614	103	34	22.04
Octubre	1143	754	182	21	5.76
Noviembre	1136	928	242	5	18.03
Diciembre	507	363	188	5	11.96
<b>Total</b>	<b>12252</b>	<b>11767</b>	<b>1708</b>	<b>199</b>	<b>173.02</b>

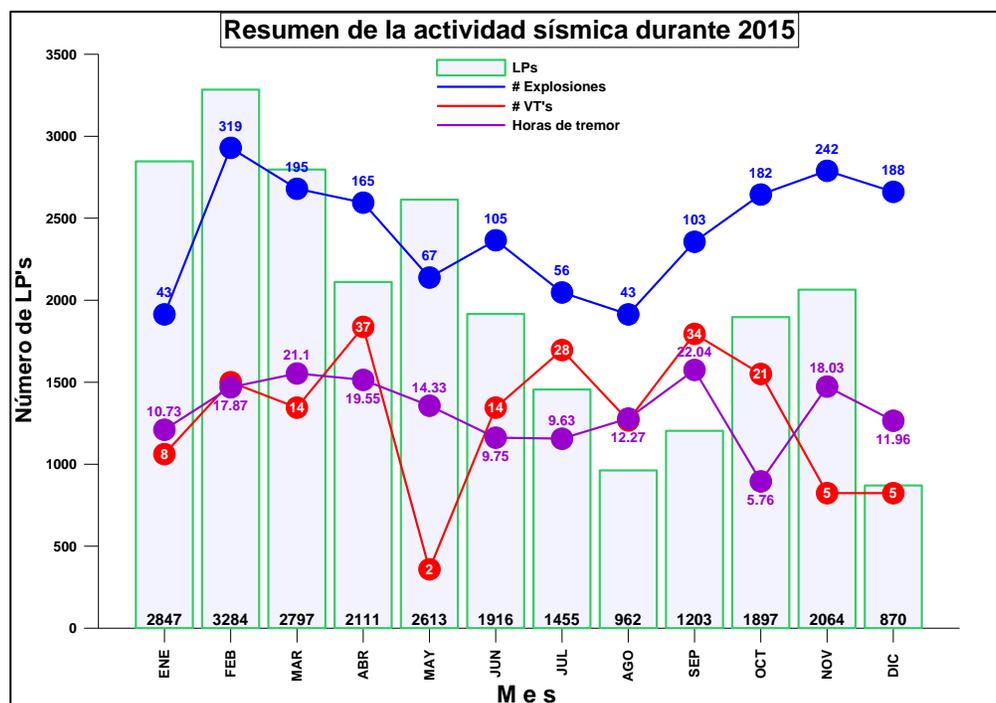
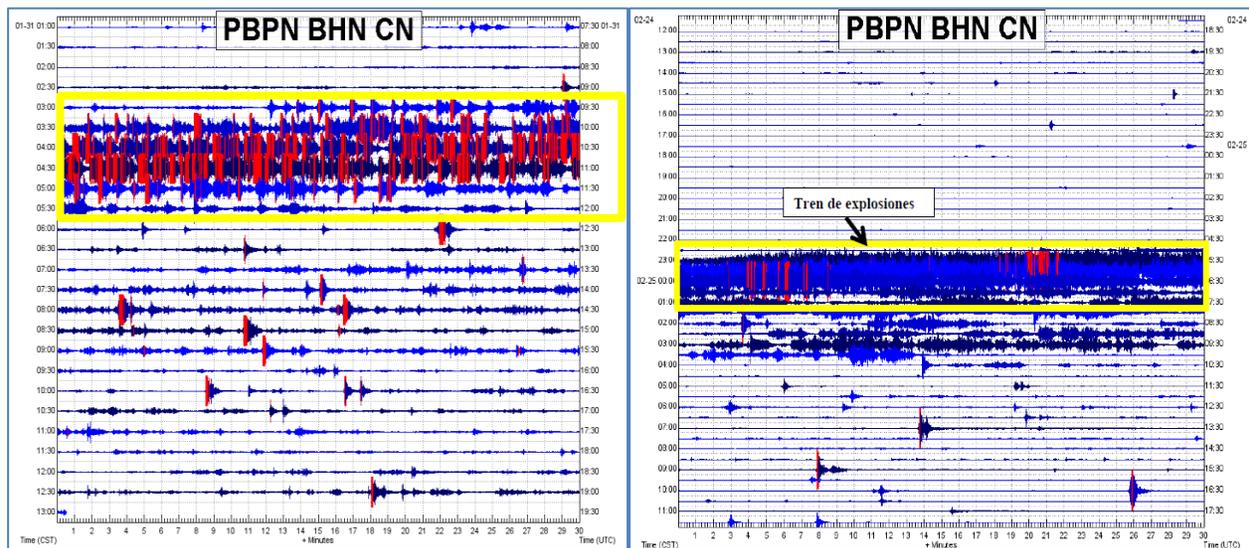


Figura 1 Resumen anual de la actividad sísmica registrada en el volcán Popocatepetl durante 2015

## EVENTOS DE PERIODO LARGO (EXHALACIONES, TRENES DE EXHALACIONES Y EXPLOSIONES)

Durante el primer trimestre del año se contabilizaron 9,485 eventos de periodo largo (LPs), de los cuales 9,828 son considerados como exhalaciones y *pulgas*, los 557 eventos restantes se clasificaron como explosiones. Además de estos eventos sísmicos predominaron, a lo largo de este trimestre, los episodios de actividad estromboliana, esto es trenes de LPs (explosiones) con una mezcla de tremor armónico. En total se registraron 18 episodios de este tipo con duraciones desde una hasta cuatro horas.

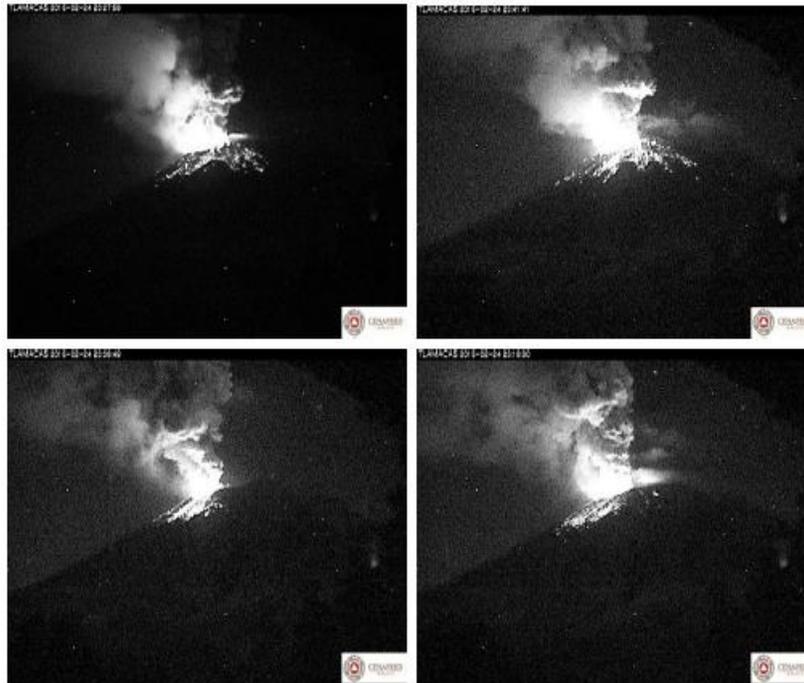
Con base en el monitoreo visual se determinaron características similares para estos eventos, como emisión continua de gases volcánicos y cenizas, con alturas de columna que van desde 1 hasta 3 km, así como expulsión de fragmentos incandescentes sobre las laderas del volcán a distancias entre los 100 y 1000 m; algunos de estos episodios estuvieron acompañados por tremor armónico de baja y mediana amplitud. Es importante mencionar que, previo a la ocurrencia de algunos episodios, se registraron sismos de tipo volcanotectónico y hubo un aumento en el número de eventos de tipo LP. Para el 24-25 de febrero se presentó uno de los episodios más importantes de este trimestre (figuras 2 y 3).



**Figura 2 Izquierda: Sismograma del episodio registrado el 31 de enero de 2015. Derecha: Sismograma del episodio registrado 24-25 de febrero de 2015**

Esta actividad estuvo asociada a la formación de un domo en el interior del cráter interno del volcán. Durante febrero se pudieron realizar dos sobrevuelos, con el apoyo de la Policía Federal, y se confirmó la presencia del domo No. 55.

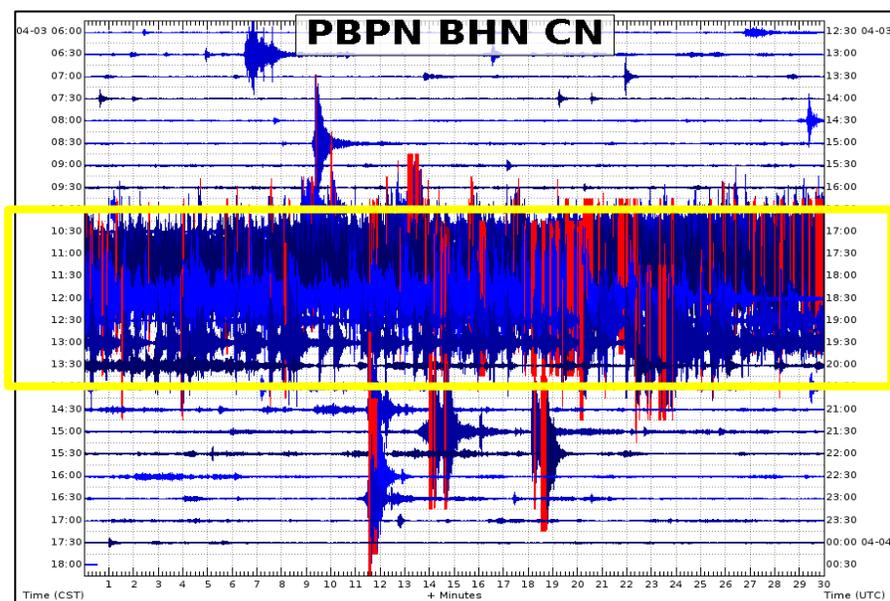
Durante el segundo trimestre del año (abril, mayo y junio), la actividad sísmica tuvo un ligero decremento, registrándose un total de 6,977 eventos de tipo LP (exhalaciones, *pulgas* y explosiones); incluso, durante mayo y junio se hizo más evidente este decremento. Al igual que el trimestre anterior, se registraron 16 episodios de actividad estromboliana, de los cuales siete se registraron en abril, seis en mayo y tres en junio. Estos episodios también estuvieron caracterizados por una mezcla de tremor armónico y explosiones, además de emisiones constantes de gases volcánicos, ceniza y expulsión de fragmentos incandescentes sobre las laderas del volcán a distancias de 300 a 800 m.



**Figura 3** Imágenes correspondientes al episodio del 24-25 de febrero

Para los episodios del mes de abril se hizo más evidente que, después de la ocurrencia de sismos volcanotectónicos, se incrementó la sismicidad de tipo LP y *pulgas*, y en un lapso de horas comenzó la actividad estromboliana.

En este trimestre solamente se pudo realizar un sobrevuelo, el 10 de abril durante el cual se confirmó la formación del domo No. 56. Su crecimiento se asoció a los episodios de actividad registrados entre el 24 de marzo y el 4 de abril (figuras 4 y 5). Con el episodio registrado el 18 de abril es probable que se haya emplazado el domo No. 57.



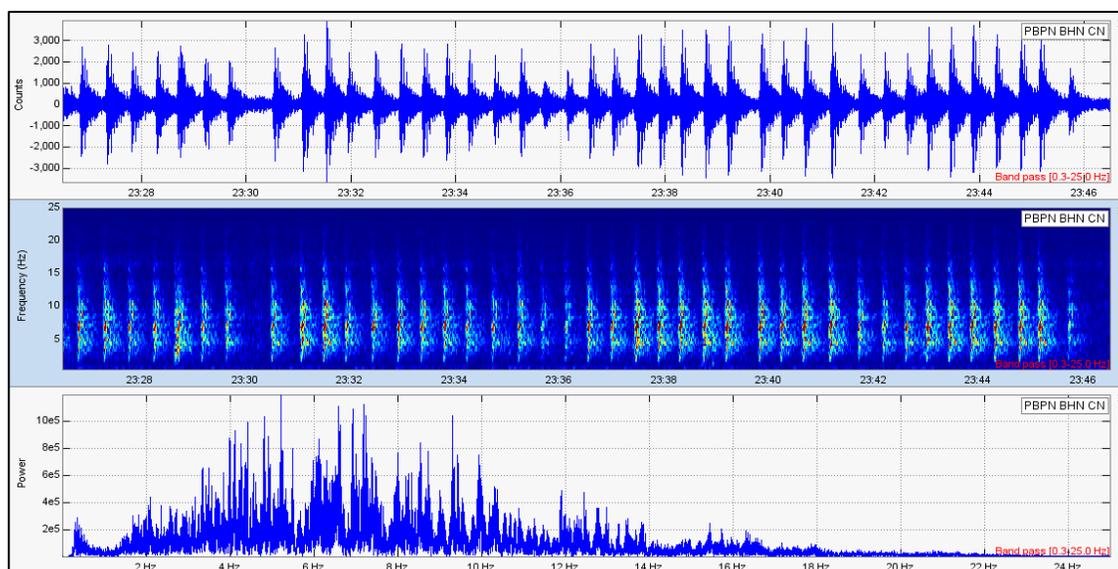
**Figura 4** Sismograma de la actividad estromboliana registrada el 3 de abril



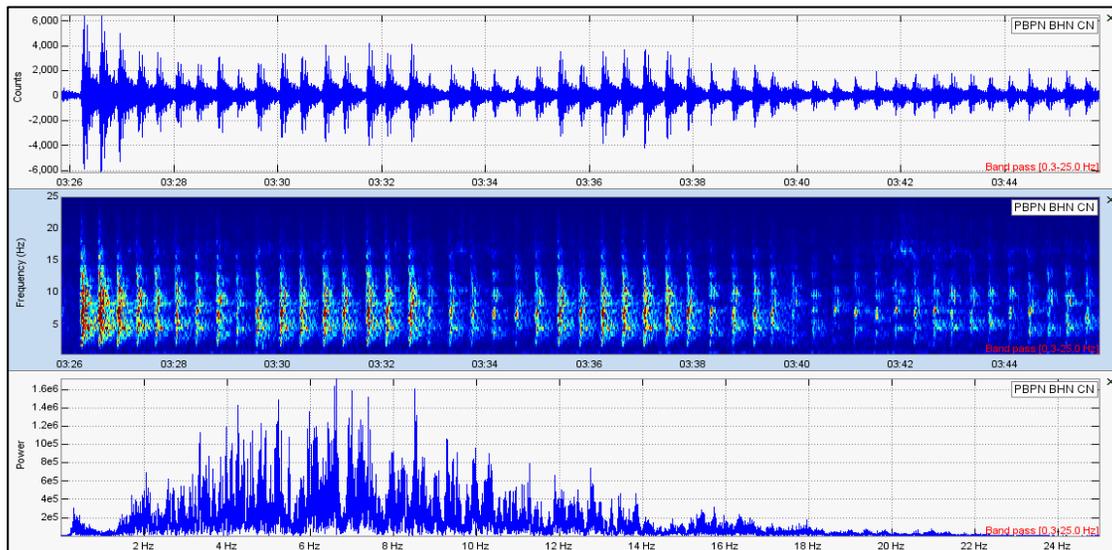
**Figura 5 Izquierda, imagen de la explosión registrada el 3 de abril de 2015, que dio inicio al tren registrado el mismo día. Derecha, imagen del tren de exhalaciones ocurrido el 4 de abril de 2015**

El tercer trimestre del año también se caracterizó por una baja en el registro de actividad sísmica, ya que solo fueron registrados 3,822 eventos de tipo LP (exhalaciones, *pulgas* y explosiones). En este periodo no se registraron episodios de actividad estromboliana. El volcán aparentemente entró en un estado de relativa calma. No se registraron explosiones importantes, ni grandes y prolongadas emisiones de ceniza. Con el monitoreo visual solo se pudo observar una ligera emisión de gases volcánicos. A pesar del bajo registro en la actividad sísmica el United States Geological Survey (USGS), informó que para el 10 de agosto se había emplazado, en el interior del cráter, el domo No 58 con un diámetro de 120 m, mismo que se desinfló en los días subsiguientes y para el 25 de agosto ya se había emplazado el domo No. 59.

Los días 13, 14 y 15 de septiembre se comenzaron a registrar trenes de LPs, registrados de manera regular, con amplitud cuasi-constante (figuras 6 y 7). La actividad de este tipo de mayor duración se registró el 14 y 15 de septiembre, con dos episodios de 60 minutos cada uno; es importante mencionar que, en el transcurso de estos días, se observó la emisión continua de gases volcánicos y ligeras cantidades de ceniza.



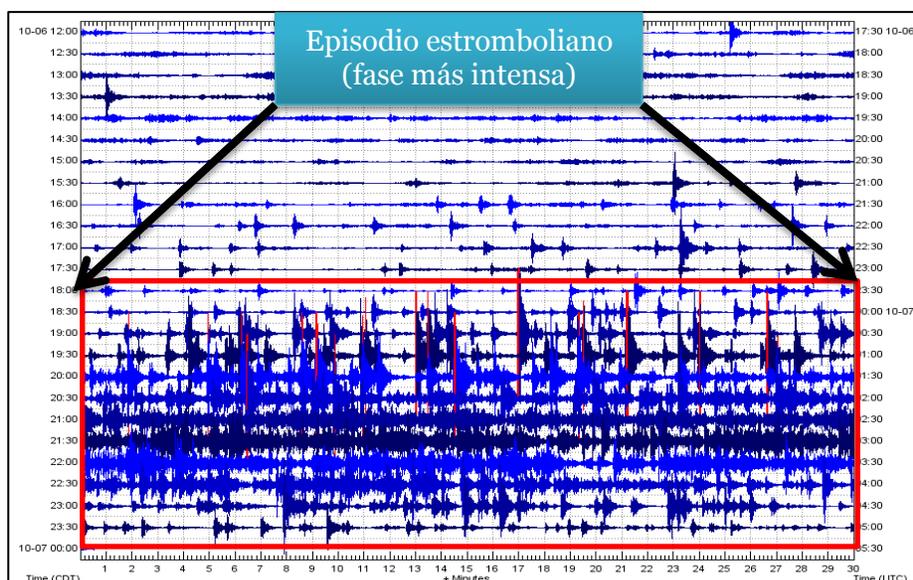
**Figura 6 Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tren de LPs, registrado el 15 de septiembre en la estación Canario (PBP) en su componente norte**



**Figura 7** Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tren de LPs registrado el 16 de septiembre, en la estación Canario (PBP) en su componente norte

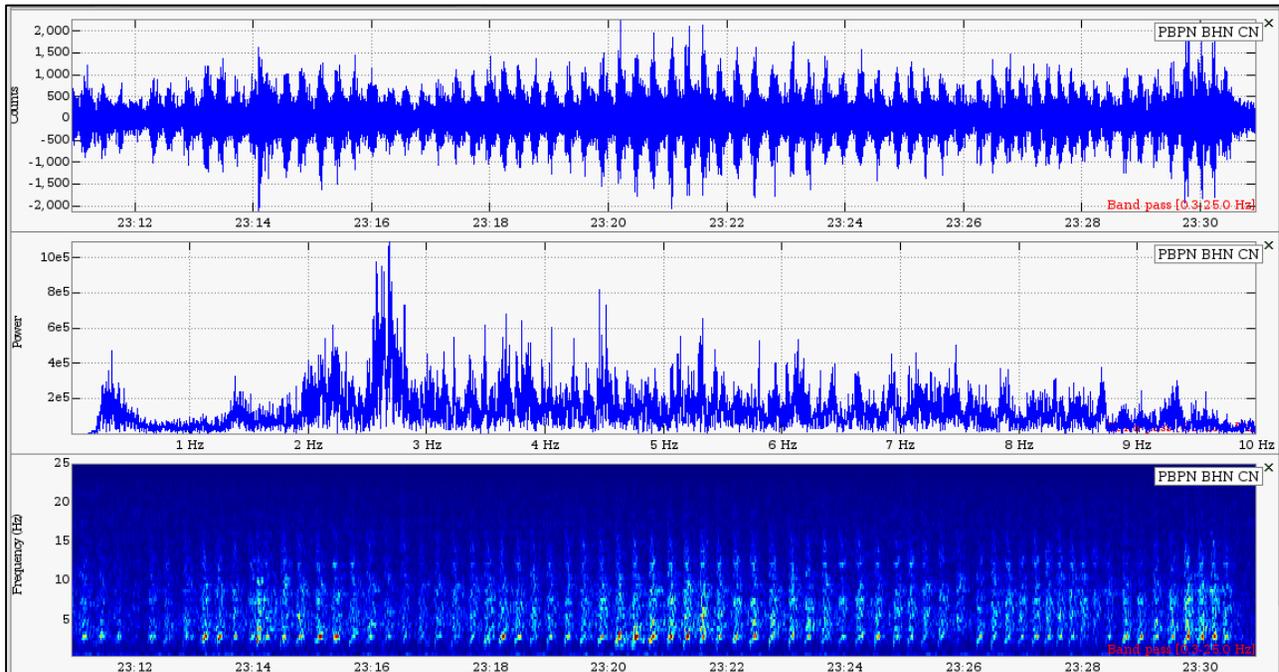
Aunque no se realizaron sobrevuelos durante este trimestre, la información proporcionada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), indicó que para el 22 de septiembre se había emplazado un nuevo domo (60); estas observaciones concuerdan con la actividad registrada en días previos.

Finalmente, durante el cuarto trimestre (octubre, noviembre y diciembre) se observó un ligero incremento en el número de eventos de tipo LP (exhalaciones, pulgas, explosiones) registrándose 5,443. El aumento en el número de explosiones, a principios de octubre, se asoció a la destrucción del domo No. 60. El 6 de octubre nuevamente se registró un episodio estromboliano, con las mismas características de los episodios anteriores, y cuya duración fue de 9 h; la fase más intensa ocurrió entre las 18 y las 24 h (Figura 8), y se asoció a la formación del domo No. 61 (información proporcionada por el USGS).

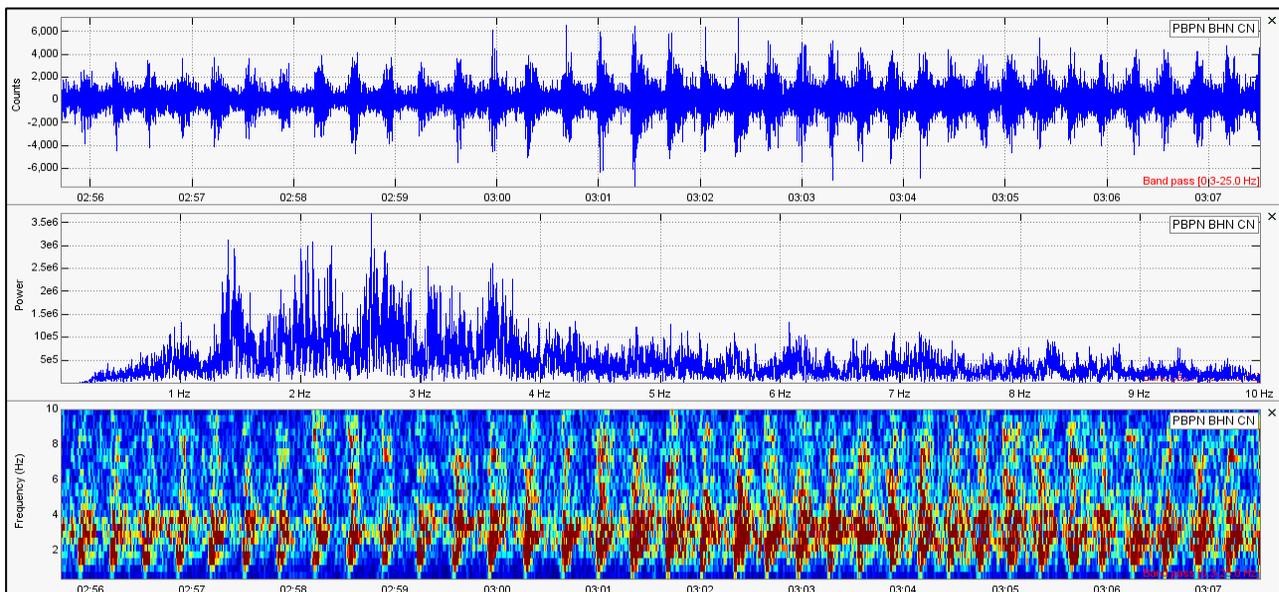


**Figura 8** Sismograma del episodio estromboliano registrado el 6 de octubre en la estación Canario (PBP), en su componente norte

A partir de la segunda quincena de noviembre y en diciembre se volvieron a registrar varios segmentos de señales tipo “drumbeat”, los más importantes y con mayor duración se presentaron el 30 de noviembre, así como el 25 y 31 de diciembre (figura 9 y 10).



**Figura 9** Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de LPs de baja amplitud registrado el 30 de noviembre en la estación Canario (PBP) en su componente norte



**Figura 10** Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de LPs de baja amplitud registrado el 31 de diciembre en la estación Canario (PBP) en su componente norte

Con la información proporcionada por el USGS, se concluye que los trenes de LPs de noviembre y diciembre estuvieron asociados al emplazamiento y crecimiento del domo No 62.

## TREMOR ARMÓNICO

A comparación del 2014, año en que apenas se registraron 36.92 horas de tremor armónico, durante 2015 aumento considerablemente el registro de tremor (Figura 11), ya que se registraron 173 horas. Aunque el volcán presentó fases intensas en 2014, fueron mucho menores a la actividad registrada en 2015.

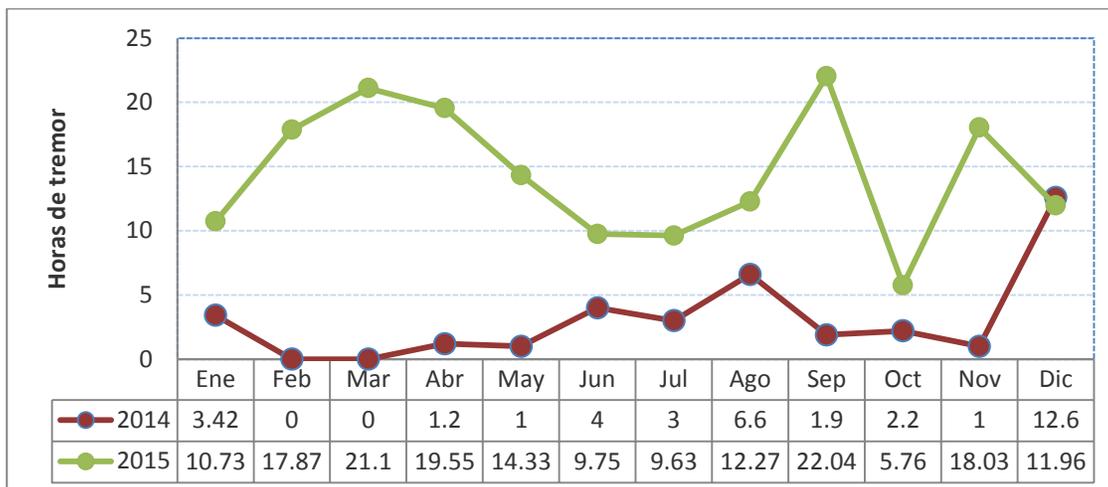


Figura 11 Gráfica de las horas de tremor registradas durante los dos últimos años

La mayoría de los segmentos de tremor registrados durante enero y febrero fueron de tipo armónico y monocromático, de baja amplitud y ningún segmento alcanzó más de 30 minutos de duración continua. La frecuencia fundamental se concentró en la banda de frecuencias de 2 a 4, en algunos segmentos se observaron armónicos (Figura 12 y 13). En marzo y abril algunos segmentos presentaron una duración de hasta 192 minutos, la mayoría fue de baja amplitud y se lograron ver hasta 14 sobretonos espaciados cada 33 segundos, además de la frecuencia fundamental. (Figura 14).

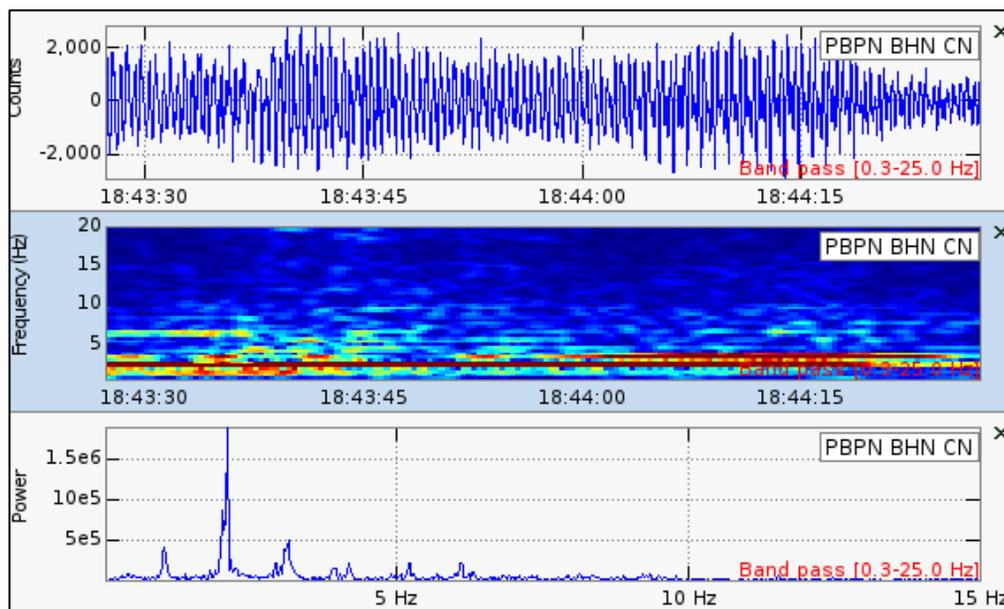
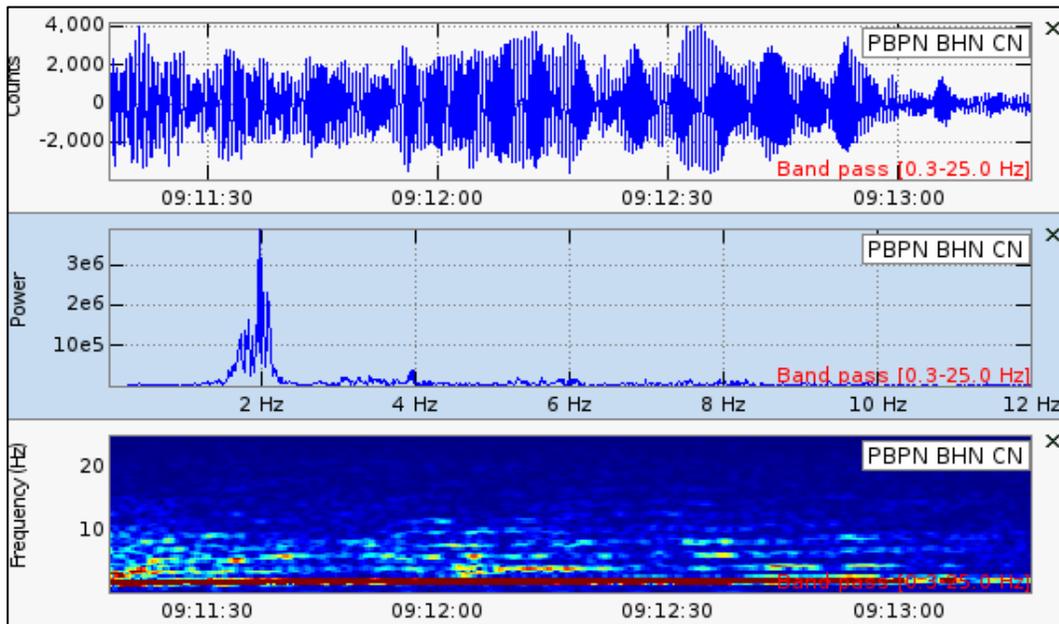
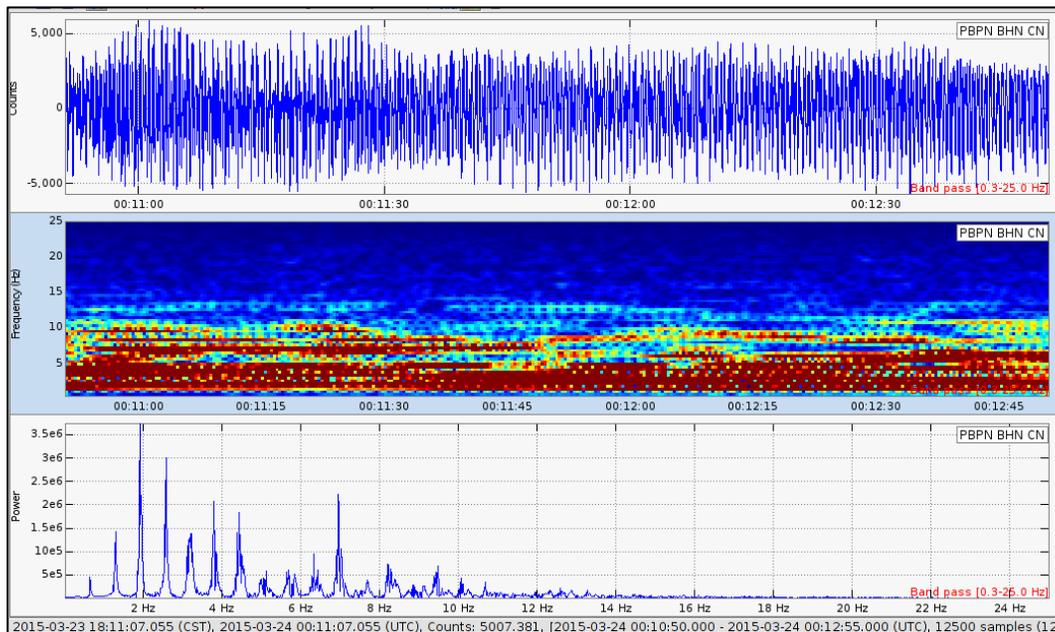


Figura 12 Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tremor registrado el 3 de febrero de 2015 en la estación canario (PBP) en su componente norte

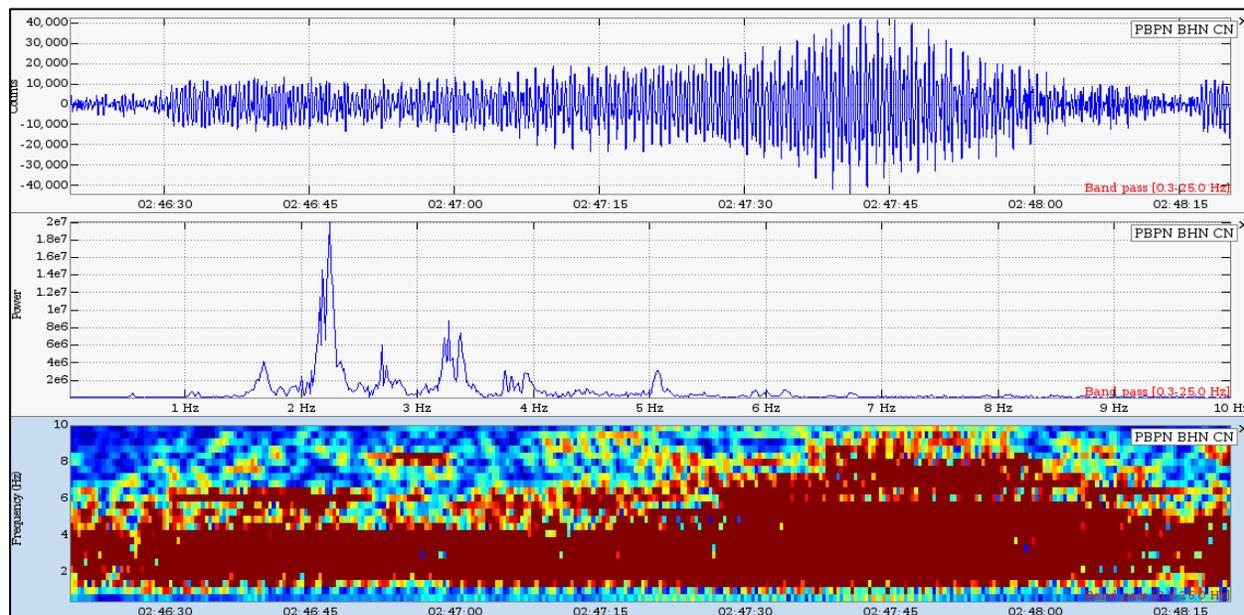


**Figura 13** Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tremor registrado el 24 de febrero de 2015 en la estación canario (PBP) en su componente norte

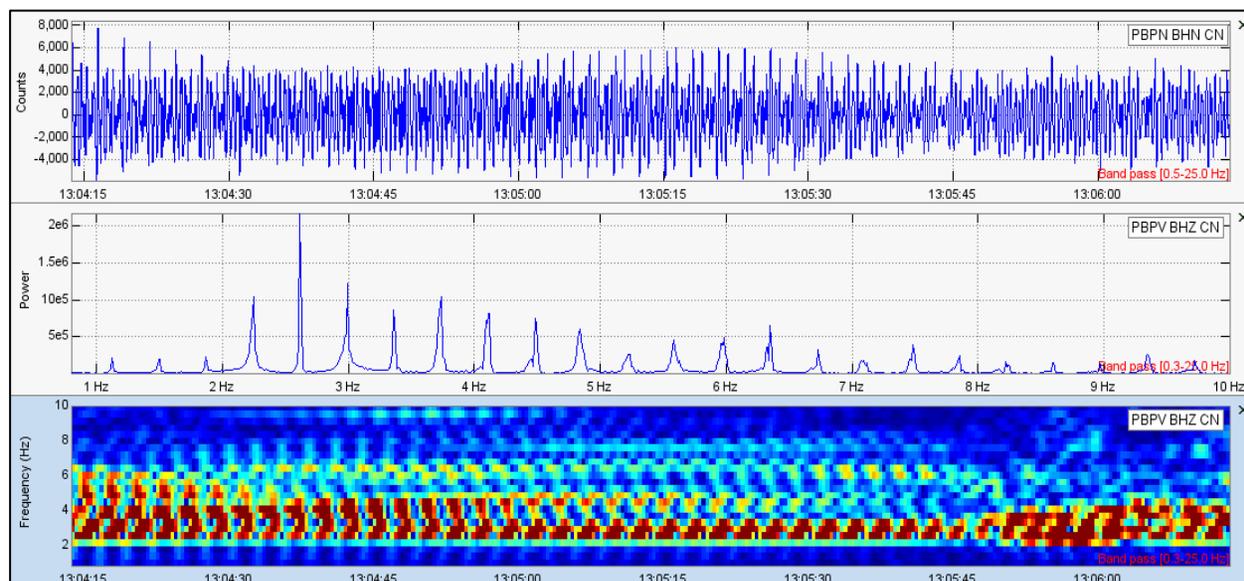


**Figura 14** Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tremor registrado el 24 de febrero de 2015 en la estación canario (PBP) en su componente norte.

En mayo se observó una frecuencia fundamental entre 1 y 1.3 Hz, en pocos segmentos de corta duración y amplitud muy baja; en el resto de los segmentos la frecuencia fundamental estaba entre 2 y 4 Hz. En julio, de nuevo, se observó tremor de baja amplitud, con múltiples picos espectrales. En agosto los segmentos de tremor alcanzaron grandes amplitudes (Figura 15), y algunos tuvieron hasta 24 sobretonos, espaciados cada 0.33 Hz (Figura 16). En septiembre continuó el tremor armónico con varios sobretonos (18), pero la amplitud disminuyó considerablemente en comparación con el mes anterior. Para algunos segmentos, el espaciamiento entre pico y pico fue de 0.66 Hz.

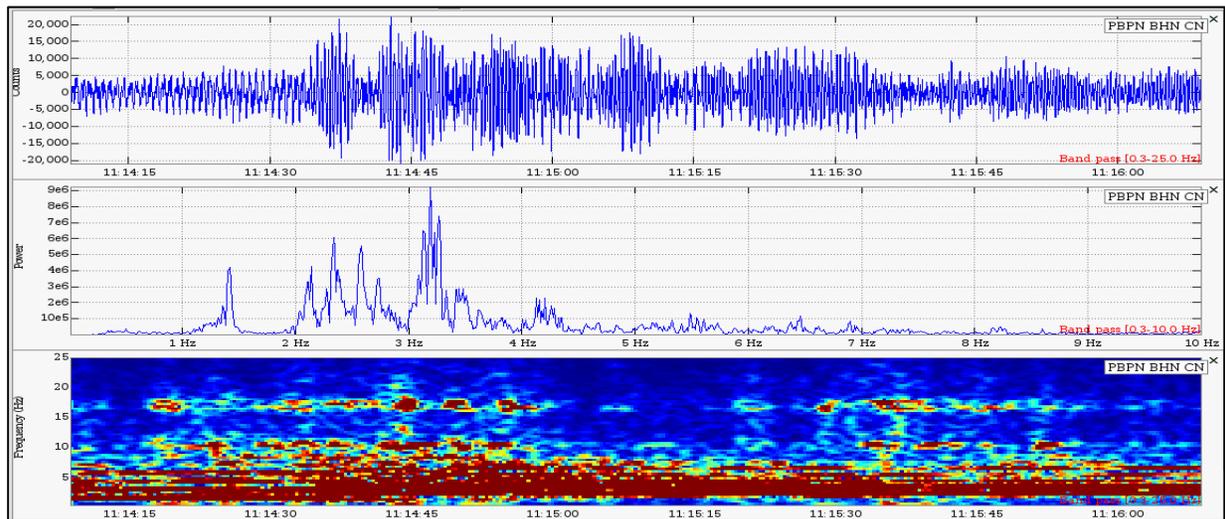


**Figura 15** Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tremor registrado el 9 de agosto a las 21:46:20 (hora local) en la estación canario (PBP) en su componente norte.

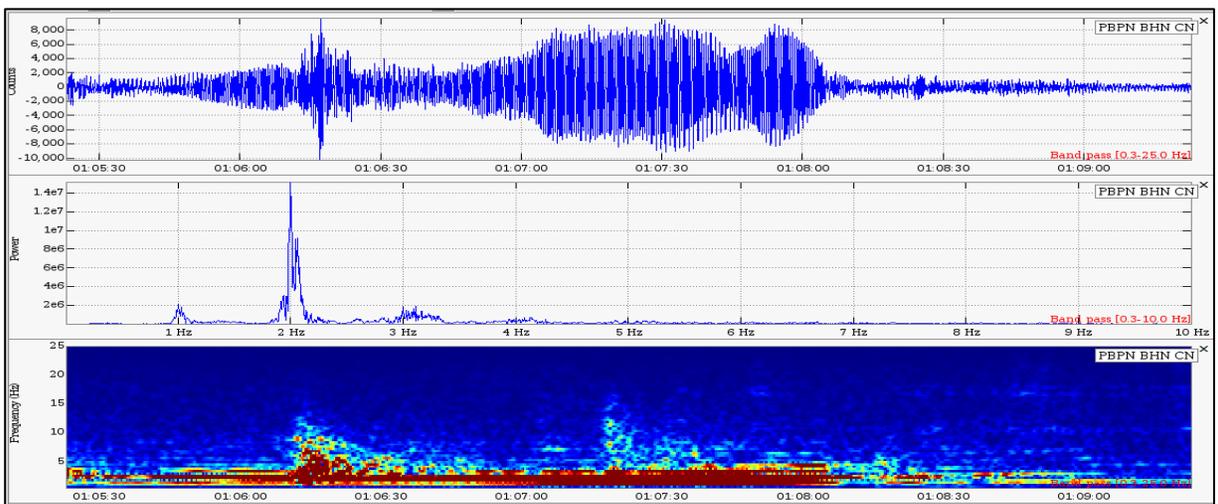


**Figura 16** Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tremor registrado el 10 de agosto de 2015 a las 08:04:15 (hora local) en la estación canario (PBP) en su componente norte

Durante octubre la cantidad de segmentos registrados disminuyó considerablemente, con una suma total de solo 5.76 horas en todo el mes. En noviembre se observaron diferentes episodios de tremor armónico, con duraciones de hasta cuatro horas continuas el 5 (Figura 17), y entre el 25 y 26 sumaron 4.28 horas (Figura 18). Finalmente, en diciembre el tremor fue de tipo armónico, de baja amplitud y con frecuencia fundamental entre 1 y 4 Hz.



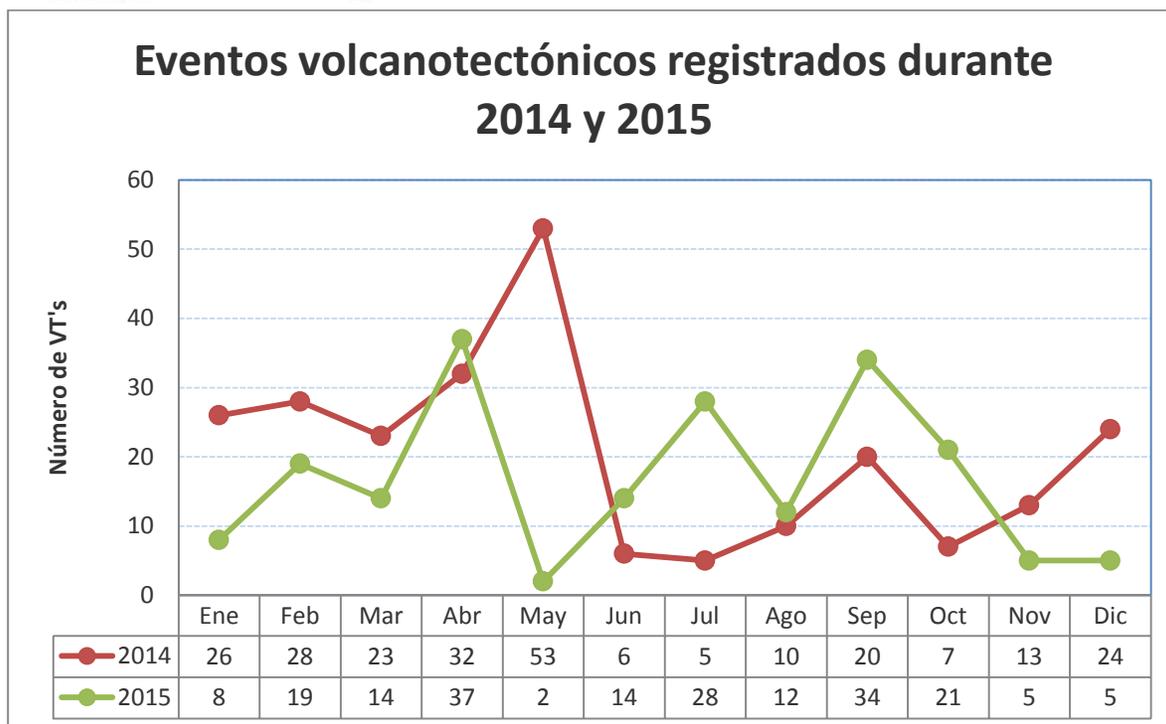
**Figura 17** Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tremor registrado el 5 de noviembre a las 05:14 (hora local), en la estación Canario (PBP) en su componente norte



**Figura 18** Forma de onda, espectro y espectrograma de un segmento de tremor registrado el 25 de noviembre a las 19:05 (hora local), en la estación Canario (PBP) en su componente norte

## SISMOS VOLCANOTECTÓNICOS

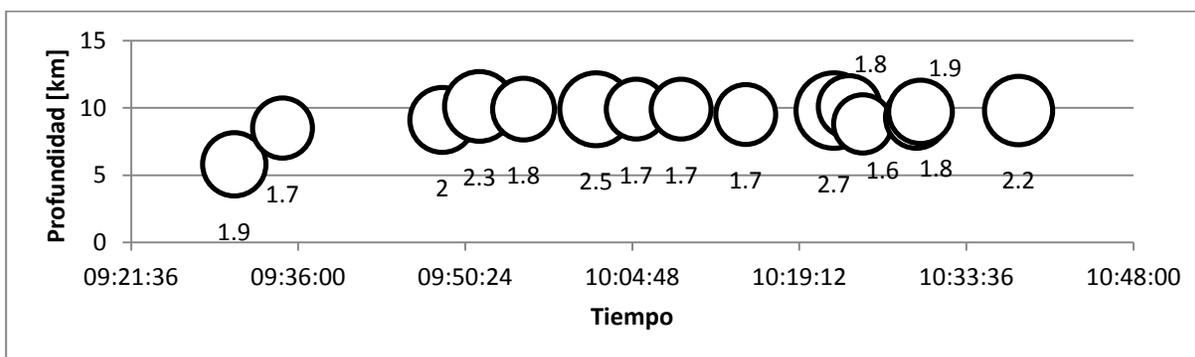
Los sismos volcánotectónicos dan información sobre el estado de esfuerzos en el interior del edificio volcánico. Comparando con la actividad registrada en 2014, se pudo observar que el estado de esfuerzos fue diferente (Figura 19). Los VTs registrados durante 2015 sumaron un total de 199 eventos, con profundidad máxima de 10.4 km por debajo del cráter y magnitudes de coda entre 1 y 2.9.



**Figura 19** Número de eventos volcanotectónicos registrados durante los dos últimos años.

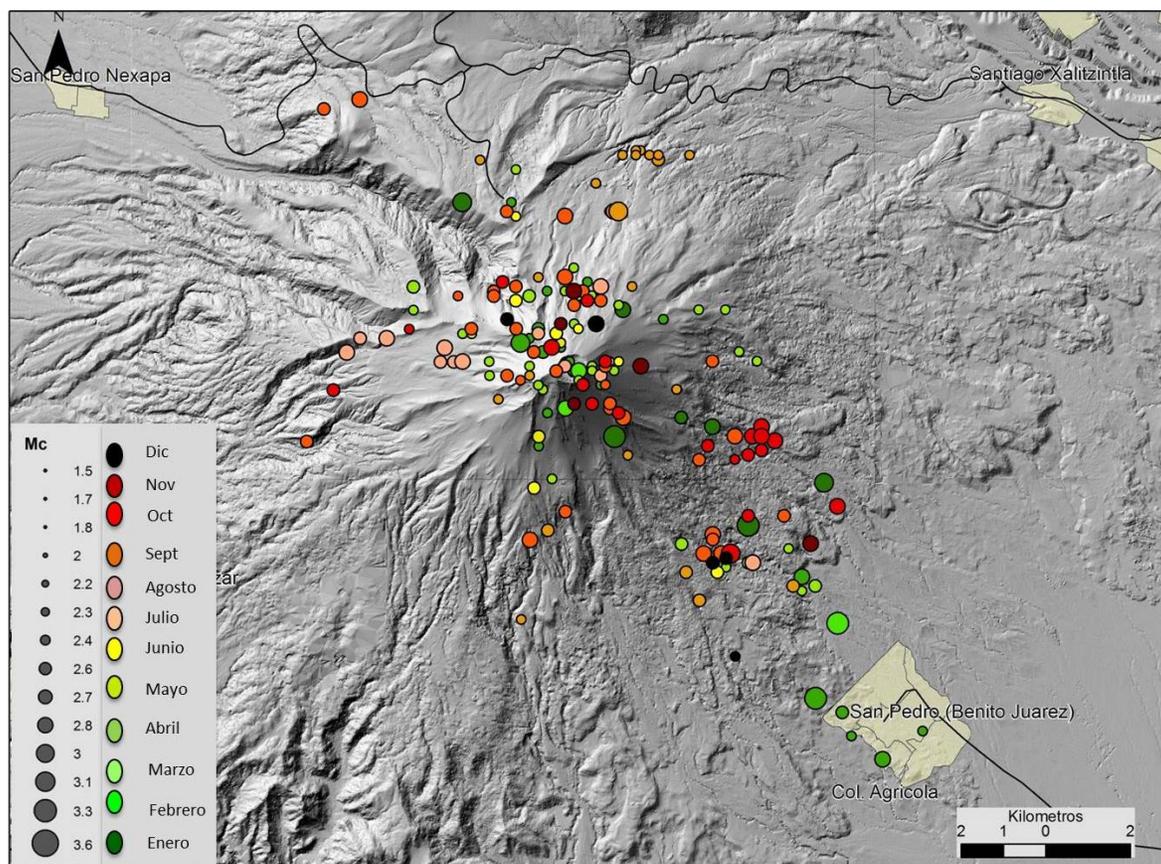
Muchos de los sismos volcanotectónicos registrados de enero a abril precedieron actividad estromboliana; durante este tiempo se registraron 78 sismos, de los cuales 37 ocurrieron durante el mes de abril. En mayo solo hubo 2 eventos, que no se correlacionaron con los episodios estrombolianos registrados durante este mes, lo que indica que el material estaba fluyendo en conductos esencialmente abiertos. Para junio volvió a incrementarse la cantidad de VTs registrados; en este mes se registraron tres episodios de actividad estromboliana, pero solo los sismos de 21 junio precedieron el inicio de un episodio de actividad estromboliana (figuras 20, 21 y 22).

Durante julio hubo un incremento en el número de sismos volcanotectónicos (VTs). Se registraron 28 VTs, de los cuales 16 se registraron como enjambre el 27 de julio, en un lapso de hora y media (Figura 20); se localizaron en el sector noroeste del volcán, a profundidades entre 6 y 10.4 km con respecto del cráter. La magnitud calculada para estos eventos varió entre 1.5 y 2.7 (figuras 21, 22 y 23). En este mes los hipocentros alcanzaron las mayores profundidades.

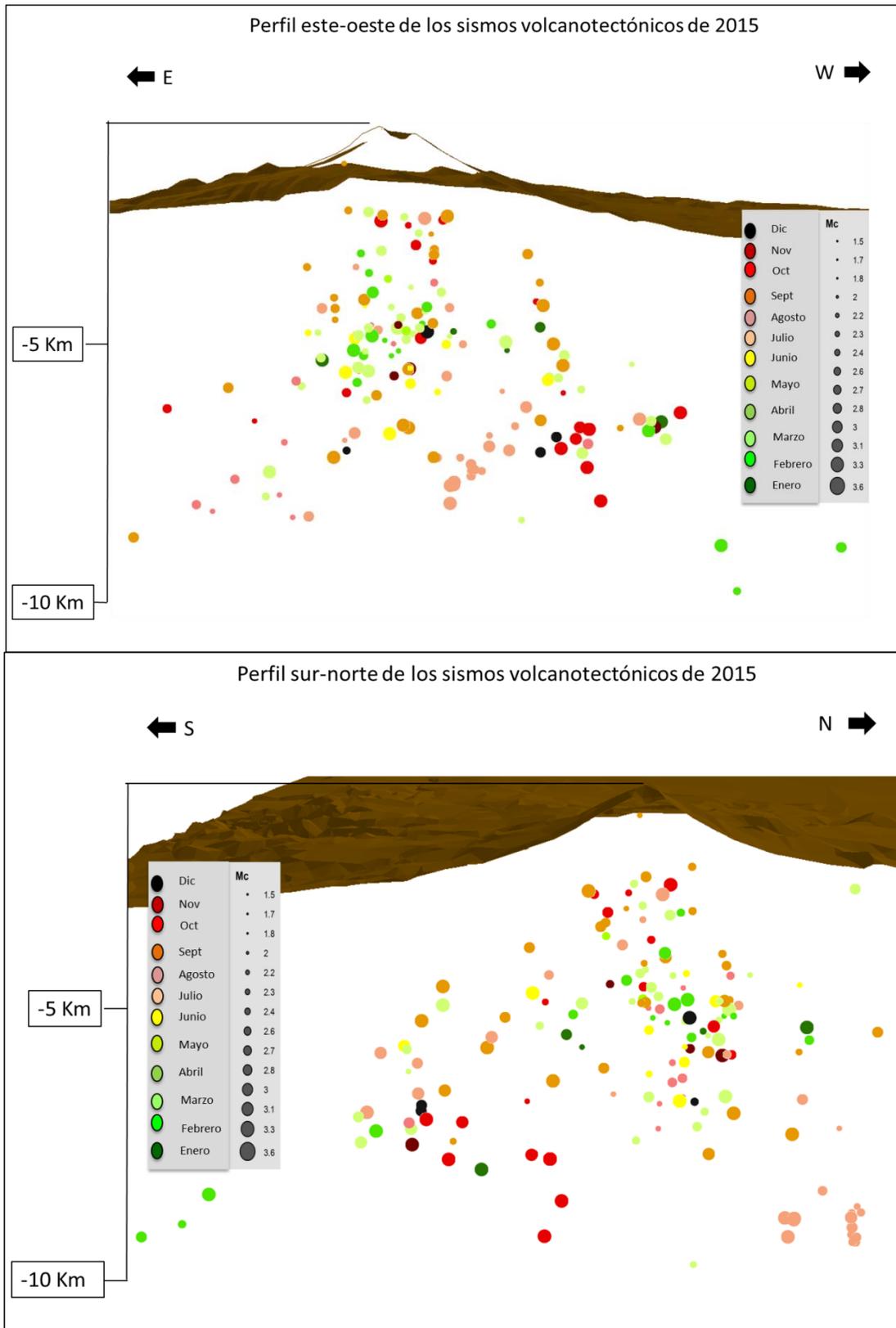


**Figura 20** Variación con respecto al tiempo de la ocurrencia del enjambre del 27 de julio.

En agosto se observó una disminución importante en la ocurrencia de VTs, ya que solo se registraron 12. De estos eventos, 5 se presentaron como enjambre el 16 de agosto, en un lapso de hora y media; se localizaron en el sector oeste del volcán, a profundidades entre 8 y 10 km con respecto del cráter. A partir de agosto la profundidad de los hipocentros comenzó a disminuir paulatinamente. Durante septiembre se observó un incremento importante en el número de VTs, ya que se registraron 34; este mes las localizaciones no presentaron una tendencia definida hacia ningún sector. De los VTs registrados en octubre, 14 se localizaron en el sector sureste, y de éstos, 11 se localizaron en un área de 2 km<sup>2</sup>; los sismos registrados el 6 de octubre precedieron un episodio de actividad estromboliana. Por último, en noviembre y diciembre se registraron cinco sismos cada mes, no se registró actividad estromboliana, pero sí aumento el número de exhalaciones, *pulgas* y explosiones (figuras 21,22 y 23)



**Figura 21 Epicentros de los sismos volcánotectónicos registrados durante 2015**



**Figura 22** Hipocentros de los sismos volcanotectónicos registrados durante 2015

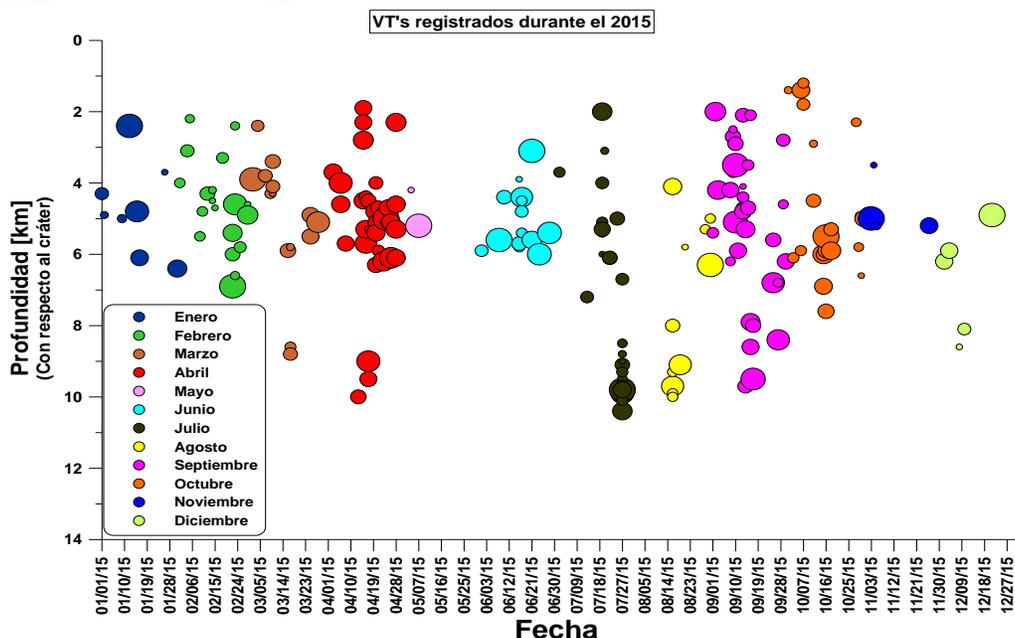


Figura 23 Variación de la profundidad y magnitud de los sismos volcanotectónicos durante 2015

### ENERGÍA SÍSMICA Y ENERGÍA SÍSMICA ACUMULADA

A lo largo de la primera mitad de 2015, varios de los episodios de actividad estromboliana dieron un aporte importante en la energía sísmica liberada, sobre todo en febrero, marzo, abril y julio, cuando se presentaron saltos importantes en el valor acumulado. Después de julio y hasta el 5 de octubre la variación en el valor acumulado fue muy poca. El 6 de octubre se registró el último episodio estromboliano del año, que generó un pequeño salto en la gráfica, que hace cambiar ligeramente el valor de la pendiente (Figura 24).

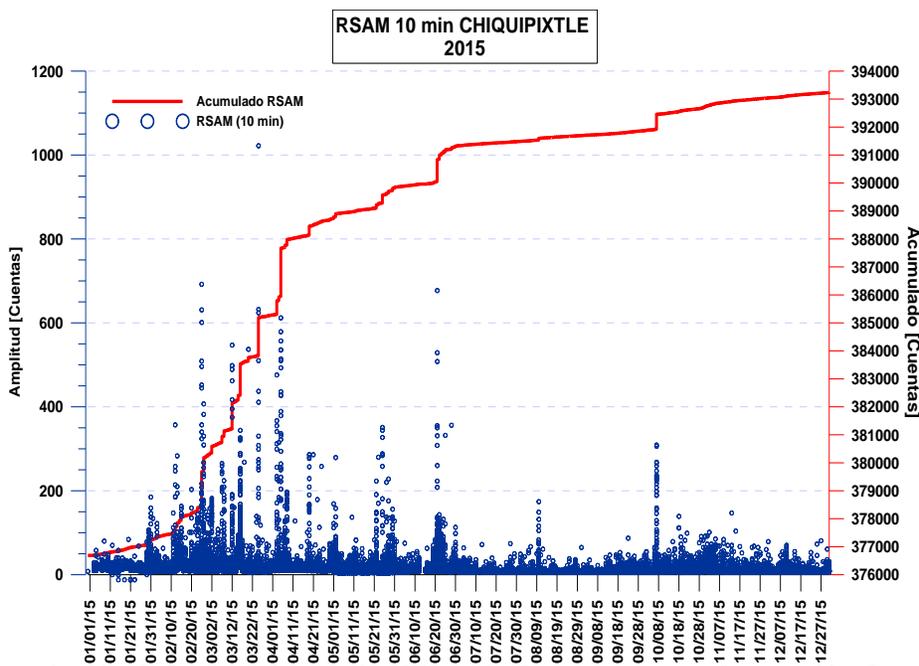
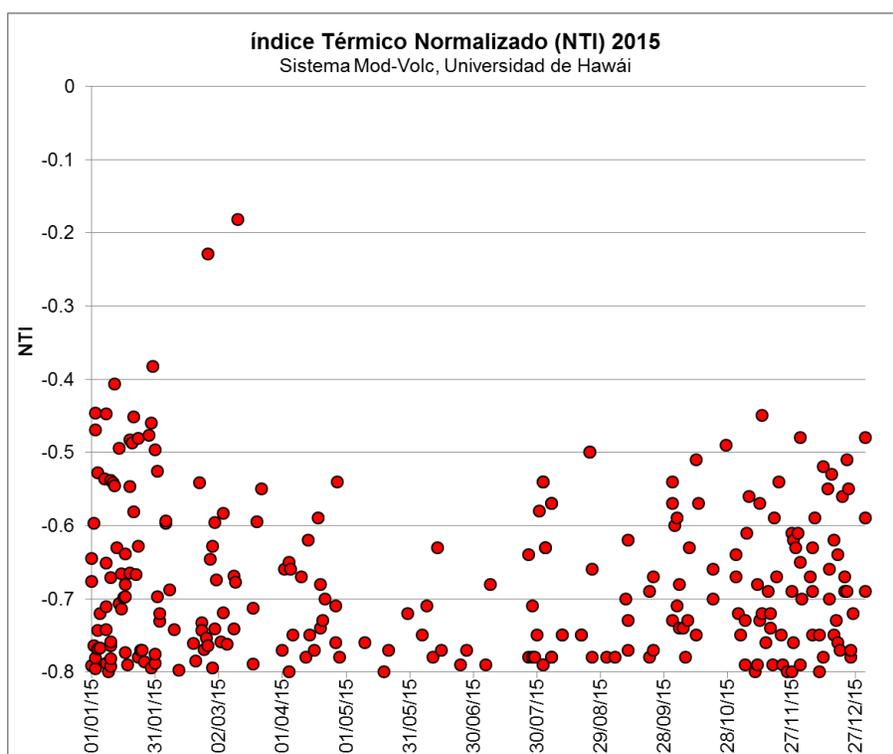


Figura 24 Variación de la energía sísmica liberada durante 2015 en la estación de periodo corto Chiquixtle

## Anomalías térmicas

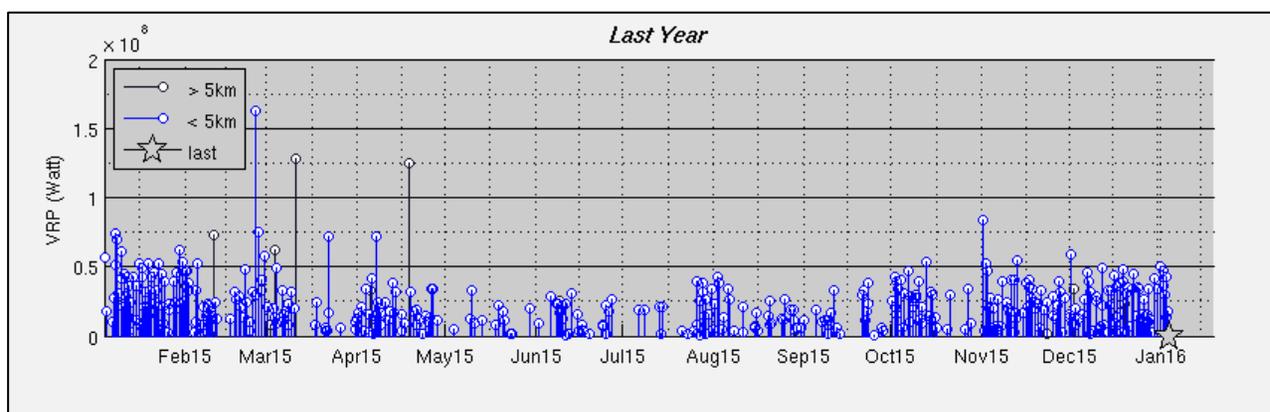
El sistema MODVOLC de la Universidad de Hawái, basado en el análisis de imágenes MODIS, emitió 97 reportes de anomalías térmicas en el cráter del Popocatepetl durante el primer trimestre del año. El 30 de enero, justo antes del inicio del tren de exhalaciones del día 31, se detectó una anomalía con un valor NTI de  $-0.38$ . También en febrero, durante un tren de exhalaciones los días 24 y 25, se obtuvo un valor alto en el NTI,  $-0.229$ . La tendencia del NTI a incrementarse continuó durante marzo, cuando se detectaron nueve anomalías térmicas en el cráter del Popocatepetl. La más importante fue el día 11, con un valor NTI de  $-0.189$ , el valor más alto desde agosto de 2014. De abril a septiembre el número de anomalías se incrementó ligeramente, pero con valores de NTI menores a  $-0.5$ , por debajo de lo observado durante los meses anteriores. A partir de octubre se registró un ligero incremento en la intensidad de las anomalías térmicas, el MODVOLC emitió durante octubre 18 reportes de anomalías térmicas, la más importante el día 27, con un valor NTI de  $-0.49$ . En noviembre fueron 33 los reportes de anomalías térmicas en el cráter del Popocatepetl (Figura 25). El más importante corresponde al día 13, con un valor NTI de  $-0.45$ ; este valor está entre los más altos del año. Finalmente en diciembre hubo 36 reportes de anomalías térmicas en el cráter del Popocatepetl, el más importante el día 1º, con un valor NTI de  $-0.48$ . En el último trimestre del año se observó un incremento tanto en el número de anomalías como en su intensidad.



**Figura 25 Índice Térmico Normalizado de las anomalías térmicas detectadas por el sistema MODVOLC durante 2015**

A partir de 2015, se integraron al sistema de monitoreo volcánico del CENAPRED las mediciones satelitales del Volcanic Radiative Power (VRP), que es una medida del calor radiado por la actividad volcánica en el momento de adquisición del satélite y representa una medida combinada de la zona del emisor (en este caso los volcanes) y su temperatura de radiación efectiva, a través del Middle InfraRed Method (MIR), arrojando resultados en Watts. En otras palabras, es una medida de qué tanto calor tiene el volcán al momento en que pasan los satélites.

De enero a marzo, se presentaron anomalías térmicas prácticamente todos los días (Figura 26). Las anomalías térmicas más importantes se registraron entre el 24 de marzo y el 4 de abril, durante el emplazamiento del domo 56, la más alta tuvo un valor 160 Megawatts. Entre abril y septiembre el registro de anomalías térmicas mediante el VRP fue bajo, se presentaron pocos eventos de baja intensidad. A lo largo del último trimestre del mes hubo un ligero incremento en el registro de anomalías térmicas, en octubre se detectaron 24 eventos que produjeron alertas, el más importante de ellos el día 13, con valor de 40 Megawatts, que también coincidió con los episodios de tremor registrados ese día. Para el último bimestre del año se incrementó el número y la intensidad de las anomalías térmicas, en noviembre el VRP detectó 42 eventos que produjeron alertas, el más importante de ellos el día 15, con valor de 58 Megawatts, mientras que en diciembre se detectaron 49 eventos que produjeron alertas, el más importante de ellos el día 12, con valor de 66 Megawatts.



**Figura 26 Anomalías térmicas detectadas por el sistema VRP**

### Monitoreo de la emisión de gases

Los tres sistemas de monitoreo de gases (COSPEC, DOAS y OMI) mostraron durante los primeros tres meses del año, un significativo incremento en relación con las mediciones registradas a finales del 2014. A lo largo de este trimestre, los 18 episodios de actividad estromboliana, con duraciones desde una a cuatro horas, produjeron un notorio incremento en la emisión de  $SO_2$  a la atmósfera. En marzo se registró el valor más alto en los tres sistemas de monitoreo de gases, el DOAS presentó un pico máximo, de 19,300 t/día el día 16, el COSPEC; la medición del día 11 arrojó un valor de 11,400 t/día, mientras que el OMI tuvo un máximo de 5,000 toneladas el día 9. Esta tendencia a la alza se mantuvo durante los siguientes meses. En mayo el sistema DOAS presentó un pico máximo el día 3, de 16,800 t/día; con el COSPEC el día 13 se obtuvo un valor de 10,800 t/día y el 28 un valor de 8,500 t/día. Este incremento en la emisión de  $SO_2$  estuvo relacionado al aumento en la sismicidad de tipo LP y *pulgas* registrada a lo largo de estos meses.

Entre los meses de junio a noviembre no se registraron episodios de actividad estromboliana y los tres sistemas de monitoreo de gases mostraron valores bajos; con DOAS se obtuvo un valor promedio de 1,600 t/día; las mediciones de COSPEC hechas durante estos meses obtuvieron en promedio 4,600 t/día, mientras que con OMI el promedio fue de 425.

Finalmente, en diciembre el sistema DOAS presentó valores promedio notablemente más altos que los meses anteriores, con un valor promedio de 3,200 t/día. La medición de gases con COSPEC, realizada el día 10, arrojó un valor de 9,000 toneladas, mientras que el valor promedio, medido a través del sistema OMI, fue de 553 toneladas.

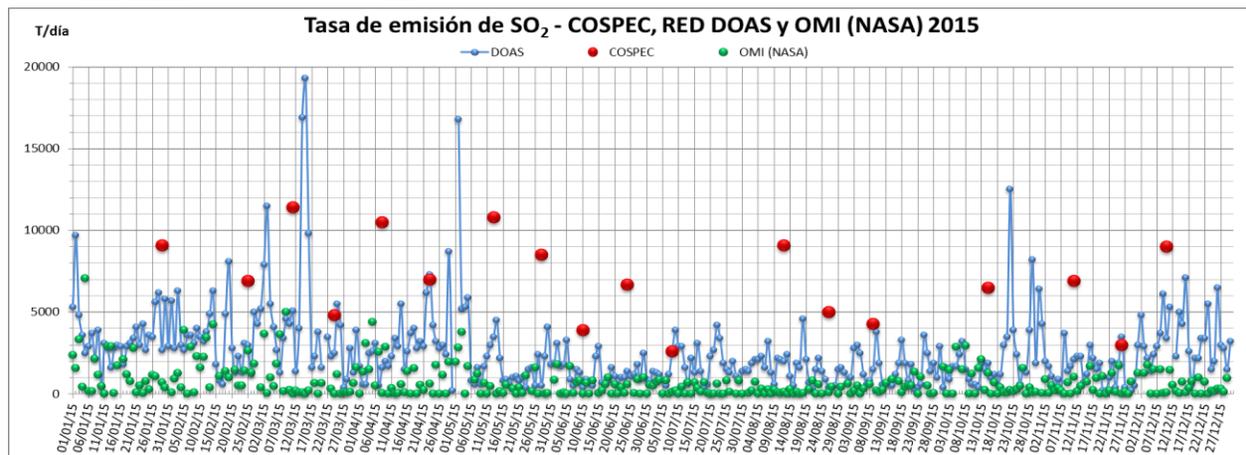


Figura 27 Tasa de emisión de SO<sub>2</sub> durante 2015

### Monitoreo hidrogeológico

Durante este año se realizaron cuatro campañas para el monitoreo hidrogeológico en los meses de marzo, mayo, septiembre y octubre, en cinco manantiales alrededor del volcán Popocatepetl, (Figura 28).

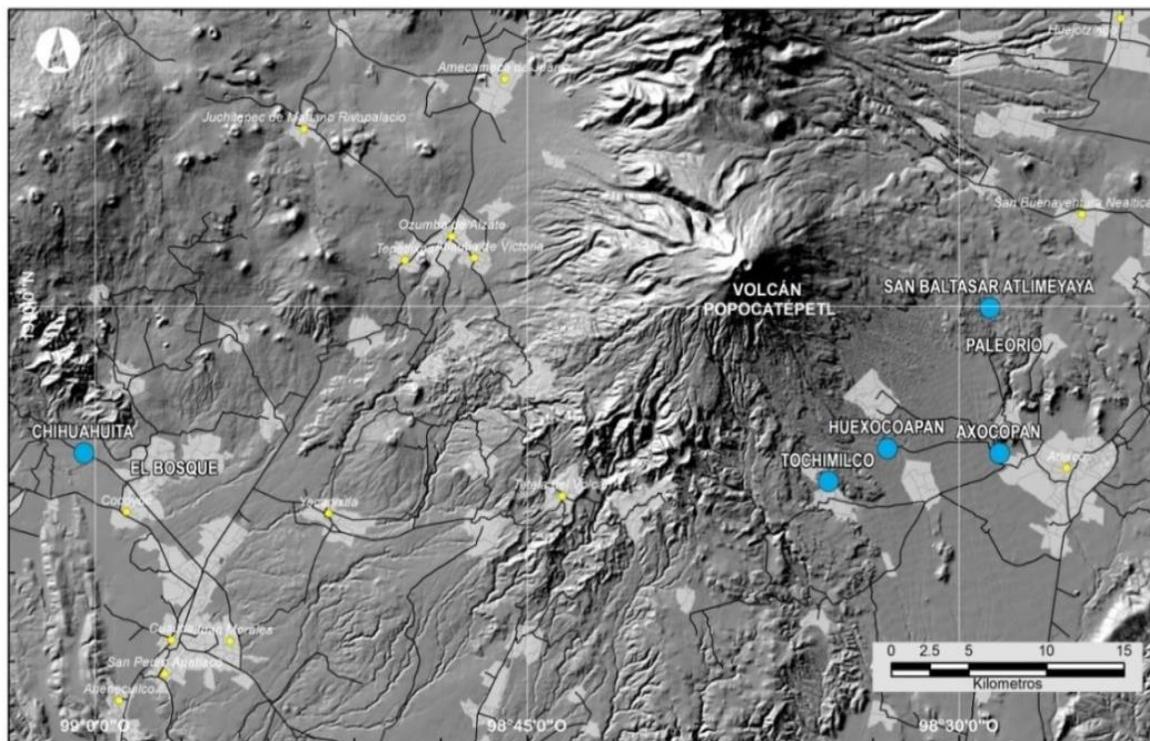


Figura 28 Ubicación de los cinco manantiales donde se toman muestras de agua en los sectores SE, S y SW del volcán Popocatepetl

Se midieron *in situ* temperatura, pH y conductividad (Tabla 2). En el muestreo realizado durante marzo se observó una ligera disminución en el pH de los manantiales Chihuahuita, Huexocoapan, Axocopan y San Baltazar, que correlaciona bien con el incremento en la actividad mostrada por el volcán durante el primer trimestre del año. En mayo se observó una ligera

disminución en el pH de todos los manantiales y un aumento significativo en su temperatura. Las mediciones hechas en septiembre mostraron un ligero aumento en el pH y un ligero decremento de la conductividad en todos los manantiales, excepto en Axocopan, donde la conductividad aumentó. Finalmente, en octubre se observó un ligero aumento en el pH y un ligero decremento de la conductividad en todos los manantiales.

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.

SITIO DE MUESTREO	FECHA	T °C	pH	CONDUCTIVIDAD (μS/cm)
CHIHUAHUITA	04/03/2015	20	6.65	250
	13/05/2015	23	6.7	200
	14/09/2015	20.5	6.9	190
	22/10/2015	21.4	7	140
HUEXOCOAPAN	04/03/2015	15.5	7.04	195
	13/05/2015	19.4	6.8	160
	14/09/2015	17.7	7	110
	22/10/2015	19.8	7.2	120
AXOCOPAN	04/03/2015	18.1	6.1	750
	13/05/2015	19.2	6	570
	14/09/2015	19.4	6.1	630
	22/10/2015	20.2	6.2	650
SAN BALTAZAR ATLIMEYAYA	04/03/2015	12	7.15	195
	13/05/2015	16.4	6.7	140
	14/09/2015	14	6.9	135
	22/10/2015	14.7	6.9	110
TOCHIMILCO	04/03/2015	13.2	7.05	180
	13/05/2015	14.1	6.9	130
	14/09/2015	14.3	7	110
	22/10/2015	15.5	7.1	150

**Tabla 2 Mediciones *in situ* de temperatura, pH y conductividad**

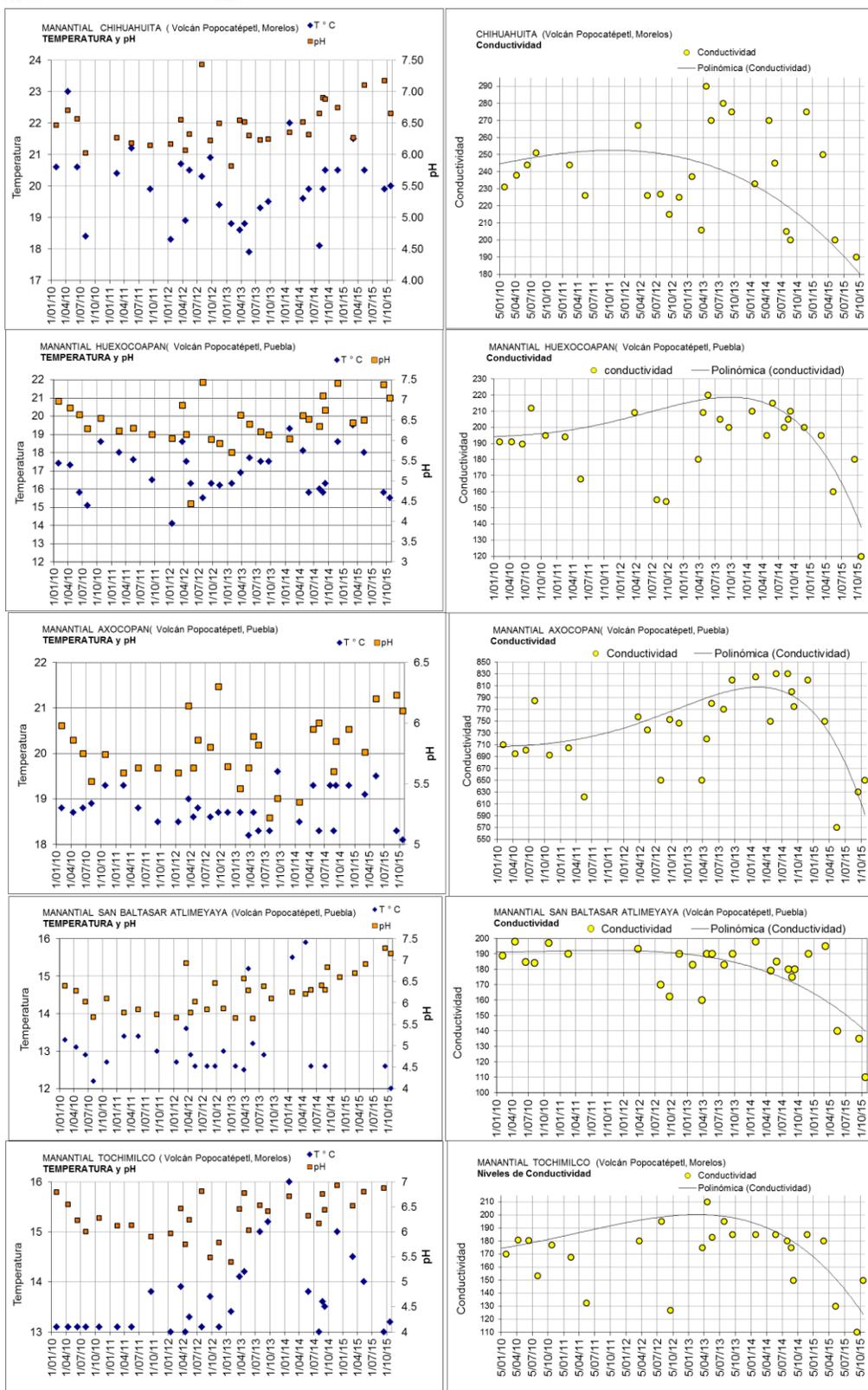


Figura 29 Datos de temperatura, pH y conductividad, de 2001 a octubre de 2015, medidos en cuatro manantiales

Los resultados de los análisis llevados a cabo por el Laboratorio de Muestra Ambientales (LMA) del CENAPRED y el Laboratorio de Química Analítica del Instituto de Geofísica para los muestreos del primer semestre del año (marzo y mayo) mostraron un notable incremento en la concentración de iones mayores. En el manantial Axocopan se mantuvo la concentración de boro a niveles en el límite de detección. Se identificó sulfuro en Huexocoapan, a una concentración aproximadamente cinco veces mayor a la que fue medida previamente en agosto de 2014. Las concentraciones de CO<sub>2</sub> calculadas con los datos de pH del laboratorio aumentaron en Atlimeyaya, Axocopan, Huexocoapan y Chihuahuita, principalmente en estos dos últimos sitios, donde se incrementaron aproximadamente el doble respecto a noviembre de 2014. Este incremento en las concentraciones de iones en los manantiales del Popocatepetl fue resultado del incremento en la actividad del Popocatepetl registrado a lo largo del primer semestre del año, caracterizado por episodios de actividad estromboliana.

Durante el segundo semestre del año, cuando la actividad en el volcán había decrecido notablemente, los análisis realizados a las muestras de agua mostraron una clara disminución en las concentraciones de iones mayores. No se detectó presencia de boro ni de sulfuros en concentraciones superiores al límite de detección en ninguno de los manantiales por ninguno de los dos laboratorios. El CO<sub>2</sub> disuelto disminuyó en todos los sitios, excepto en Axocoapan donde presentó un ligero incremento. Estos resultados indicaban que el aporte de gases volcánicos hacia el acuífero había disminuido en los últimos dos muestreos del año (septiembre y octubre).

### OBSERVACIONES DEL DOMO

Durante 2015 se realizaron tres vuelos de reconocimiento al cráter del volcán Popocatepetl, que fueron complementados con informes proporcionados por el USGS.

Durante febrero de 2015 se realizaron dos vuelos con el apoyo de la Policía Federal, con personal del CENAPRED, los días 17 y 27. Durante el primero se pudo confirmar el emplazamiento del domo No. 55, al cual se le calculó un diámetro de 155 m, ocupando el fondo del cráter interno (Figura 30). Para el segundo sobrevuelo se pudo ver el crecimiento considerable del domo, este crecimiento se atribuye a la actividad registrada del 24 al 25 de febrero. El nuevo diámetro calculado fue de 250 m y un espesor de 40 m, así como un volumen aproximado de  $1.96 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Figura 31)



**Figura 30** Acercamiento al cráter interno del volcán Popocatepetl, en que se puede ver el domo 55, de 150 m de diámetro, ocupando el fondo del cráter interno.



**Figura 31 Acercamiento al cráter interno del volcán Popocatepetl, en que se puede ver el domo 55, de 250 m de diámetro y 40 m de espesor.**

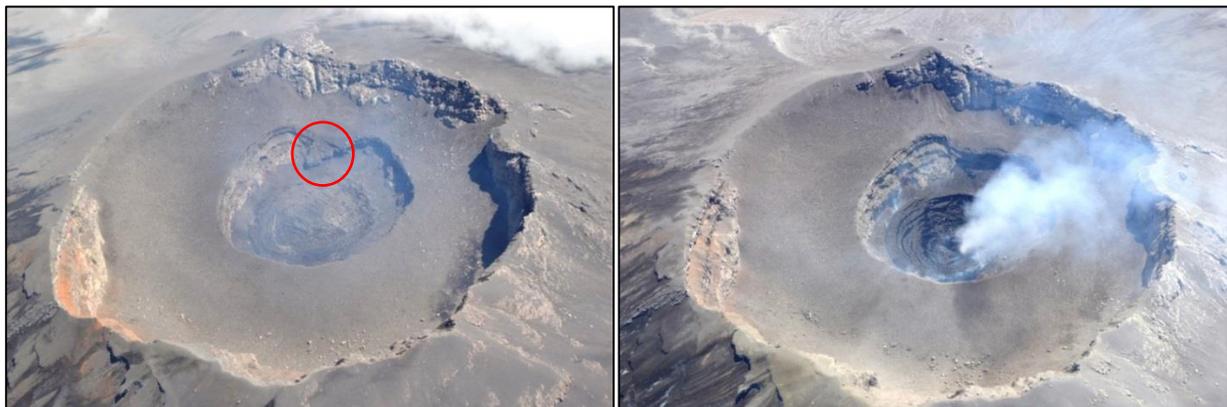
Durante el mes de marzo no se realizaron sobrevuelos al volcán. Sin embargo, información proporcionada por el USGS, obtenida mediante imágenes de satélite, indica que el domo 55, observado durante el anterior sobrevuelo, fue destruido por las explosiones ocurridas hasta el 11 de marzo, dejando el fondo del cráter interno cubierto por una mezcla de restos de domos anteriores. Entre el 21 y el 27 de marzo, probablemente durante el episodio de actividad estromboliana del 24 al 25, inició el emplazamiento de un nuevo domo de lava (56), que para el día 30 había alcanzado un diámetro de 200 m y un volumen de 940,000m<sup>3</sup>.

El 10 de abril se realizó el tercer sobrevuelo y se pudo confirmar que la actividad presentada entre el 24 de marzo y el 4 de abril, en que se registraron en total 12 horas de tremor y trenes de exhalaciones en diversos episodios, estuvo asociada con la formación del domo 56, que estaba rellenando el fondo del cráter interno. A este domo se le calculó un diámetro de al menos 250 m (Figura 32) y un espesor de 30 m, por lo que la profundidad del cráter interno respecto del piso del cráter principal se ha mantenido en unos 60-80 m. El volumen del domo fue calculado en aproximadamente 1.47 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.



**Figura 32** Acercamiento al cráter del volcán Popocatepetl, en que se puede ver el cráter interno de 300 m de diámetro, cuyo fondo está ocupado por el domo 56, de 250 m de diámetro y 30 de espesor

Un comparativo entre imágenes del vuelo anterior, realizado el 27 de febrero, y las imágenes del vuelo del 10 de abril pareciera indicar que no ha habido cambios sustanciales en la morfología interna del cráter, ya que el domo 56 tiene casi las mismas dimensiones que el anterior (Figura 33). Puede apreciarse que los bloques individuales, visibles en el piso del cráter principal en la imagen izquierda, siguen siendo visibles en la imagen derecha, lo que indica que no se han acumulado cantidades importantes de tefra. Sin embargo, una cresta de roca en la pared oriental del cráter interno (dentro del círculo en la imagen izquierda) desapareció antes del 19 de abril.



**Figura 33** A la izquierda, imagen del domo 55, obtenida el 27 de febrero. A la derecha, imagen del domo 56, obtenida el 10 de abril. Ambos domos tienen aproximadamente las mismas dimensiones. Dentro del círculo en la imagen izquierda, cresta de roca que desapareció para abril

En la figura 33 puede apreciarse en detalle la superficie del domo 56. Se distingue una serie de fracturas concéntricas y la porción central del domo se aprecia colapsada, lo que indica que, posterior a su emplazamiento, el domo sufrió una deflación considerable.



**Figura 34** *Detalle del domo 56, en el que se pueden apreciar las fracturas concéntricas y la porción central del domo colapsada por deflación*

Según información proporcionada por el USGS, el domo 56 se terminó de destruir entre el 11 y el 16 de abril. Un nuevo domo (57), que alcanzó 150 m de diámetro, se formó entre el 16 y el 20 de abril, probablemente durante las 7 horas de actividad estromboliana registradas el 18. Dicho domo fue destruido en los días siguientes, cuando la actividad se volvió ligeramente más explosiva.

Durante los meses de mayo y julio no se realizaron vuelos sobre el volcán. Sin embargo la actividad explosiva registrada durante mayo continuó la destrucción del domo 57, iniciada a finales de abril, profundizando el cráter interno y cubriendo el resto del cráter principal con tefra reciente y fragmentos balísticos, y para julio las explosiones registradas habían producido un cráter de explosión de 20 m de diámetro, situado en el centro del cráter interno.

Para el 10 de agosto, la información proporcionada por el USGS confirmó que ya se había formado un pequeño domo de 120 m de diámetro dentro del cráter interno. Para el 19 de agosto este domo No. 58 ya se había desinflado y estaba parcialmente cubierto por fragmentos balísticos y tefra. Para el 25 de agosto se había emplazado un nuevo domo (59) sobre los restos del anterior, que alcanzaba dimensiones de 130x80 m, y que continuó su lento crecimiento hasta fin de mes.

El domo 59 había alcanzado, para el 5 de septiembre, dimensiones de 175x150 m, antes de desinflarse. Para el 22 de septiembre, un nuevo domo (60) se había emplazado sobre los restos del anterior, alcanzando un diámetro de 120 m, mismo que siguió creciendo hasta el 27 de septiembre, cuando ya tenía un diámetro de 150 m y empezaba a desinflarse, encontrándose entonces parcialmente cubierto por bloques balísticos y tefras recientes. Para octubre, el domo (60) quedó cubierto por bloques balísticos y tefras recientes. La actividad estromboliana ocurrida los días 6 y 7 de octubre acompañó el emplazamiento de un nuevo domo (61), que alcanzó 90 m de diámetro. La actividad posterior también fue cubriendo poco a poco este domo con bloques balísticos y tefras.

Para el 9 de noviembre pudo detectarse el emplazamiento de un nuevo domo (62), que durante diciembre continuó su crecimiento lento, rellorando parcialmente el cráter interno. El tremor registrado el 24 de diciembre, así como la actividad estromboliana de los días 25 y 31 de diciembre, acompañaron una etapa de crecimiento más rápido de este domo.

## DIAGNÓSTICO

En general, la actividad sísmica del volcán para el 2015 fue mayor en comparación con el 2014. En total se registraron 12,252 exhalaciones, 11,767 *pulgas*, 1,708 explosiones, 199 VT's y 173 horas de tremor. Durante el primer semestre del año se concentró la mayor actividad sísmica, además en total se contabilizaron 34 episodios de actividad estromboliana, de duración variable y distribuidos de la siguiente manera: uno en enero, diez en febrero, siete en marzo, siete en abril, seis en mayo y tres en junio. Algunos de estos episodios fueron precedidos por la ocurrencia de sismos volcanotectónicos y también se observaron anomalías térmicas con valores altos, sobre todo con los episodios del 31 de enero con una anomalía NTI de -0.38, el 24-25 de febrero con un valor de NTI -0.229 y el 11 de marzo con un valor NTI de -0.189. De igual forma estos episodios se asocian con el emplazamiento y destrucción de los domos observados durante este periodo, así como en el aporte de energía, misma que se ve reflejada en los cambios de pendiente del valor acumulado de RSAM.

Para el segundo semestre la sismicidad de fuente no destructiva de tipo transitorio (LPs) presentó una leve disminución; la sismicidad de tipo persistente (tremor) presentó un ligero incremento en comparación con el primer semestre. En la primera mitad del segundo semestre, se registró un enjambre de VTs, el 27 de julio. A partir de agosto, la sismicidad disminuyó considerablemente en comparación con el mes anterior, y el 16 se registró otro pequeño enjambre de 5 sismos volcanotectónicos. La profundidad de los hipocentros sugiere un cambio en el estado de esfuerzos del sistema volcánico, lo que implica el aporte de nuevo material magmático hacia la superficie. En octubre se registró el último episodio de actividad estromboliana del año y nuevamente se observó una anomalía térmica con valor NTI de -0.45. En septiembre, noviembre y diciembre se registraron trenes de LPs, que también se asociaron al movimiento de fluidos dentro del sistema volcánico.

Es posible entonces que, durante los primeros meses del 2016, se presente un incremento en la actividad del volcán, posiblemente caracterizado por el aumento en el número de sismos de periodo largo y periodos de tremor, que acompañen el crecimiento de domos de lava. Estos domos probablemente serán destruidos por eventos explosivos, tal como sucedió en las crisis de 2012 y 2013. Es importante resaltar que los sismos volcanotectónicos profundos, que se presentaron a finales de 2013 sugieren una importante intrusión magmática, cosa que no sucedió en dichas crisis, por lo que se puede esperar que, de desarrollarse un episodio de características similares, probablemente sea de mayores magnitudes.

## Referencias:

Cardona, C., Santacoloma, C., White, R., McCausland, W., Trujillo, N., Narvaez, A., Bolaños, R., Manzo, O., 2009. Simicidad tipo drumbeat asociada a la erupción y emplazamiento de un domo en el volcán Nevado del Huila, noviembre de 2008. XII Congreso Colombiano de Geología del 7-11 de septiembre de 2009, Paipa-Boyacá.

**Elaboraron:** Gema Caballero, Amiel Nieto, Ramón Espinasa, Elizabeth Castañeda y Ariadna Hernández  
Subdirección de Riesgos Volcánicos.