

Seguimiento especial de la actividad del volcán Puracé

Periodo evaluado entre el 1 de diciembre de 2015 al 15 de enero de 2016.



Servicio Geológico Colombiano,
Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán

Seguimiento especial de la actividad del volcán Puracé

Periodo evaluado entre el 1 de diciembre de 2015 al 15 de enero de 2016.

Grupo de vigilancia volcánica

Servicio Geológico Colombiano, Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán

1. Actividad Sísmica.

A partir del monitoreo sísmico del volcán Puracé se ha podido determinar que los eventos asociados con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos, específicamente los sismos de tipo LP, prevalecen usualmente sobre la frecuencia de ocurrencia de la sismicidad de fractura (tipo VT). Durante los años 2013, 2014 y 2015, el predominio de la actividad sísmica de tipo LP ha sido aún más evidente sobre la generación de actividad de tipo VT; no obstante, se destaca que esta sismicidad de Largo Periodo ha sido predominantemente de bajo contenido energético, y que las localizaciones obtenidas muestran como fuente principal de actividad la zona del cráter.

Durante el año 2015 la relación entre la frecuencia de ocurrencia de sismos VT y LP permaneció dentro del patrón usualmente observado. Para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 24 de diciembre del año anterior, el 72% de toda la sismicidad registrada correspondió a eventos asociados con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos (LP, TR, y TO), y solo un 9% a sismicidad relacionada con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT). El 19% restante de los eventos clasificados a lo largo del año en mención, correspondieron a señales sísmicas de muy baja magnitud, las cuales se registraron únicamente en las estaciones sísmicas instaladas en el cono principal del volcán (distancias del cráter de entre 0.7 y 1.4 km), y cuya clasificación según la fuente generadora no siempre fue posible debido a la baja relación señal/ruido. No obstante, cuando los niveles de ruido lo permitieron se encontró que la mayoría de estos eventos presentaron características asociadas a señales de tipo LP. Cabe mencionar que para el procesamiento primario de estas señales sísmicas de baja amplitud, el grupo técnico de monitoreo volcánico decidió catalogarlas como No Clasificables (NC), con el fin de poder llevar un seguimiento en cuanto a la frecuencia de ocurrencia de las mismas, ya que su aporte energético no es muy representativo. Gracias a este seguimiento se pudo notar que a partir del 5 de enero del 2016 aumentaron en número considerablemente, y que a diferencia de las señales que hasta este momento habían sido catalogadas como NC, las registradas a partir del día mencionado exhibían claramente características de sismos LP, con similitudes tanto en las formas de onda así como en los contenidos frecuenciales.

La figura 1 muestra el número de sismos registrados en el volcán Puracé entre los años 2000 y 2016, en ella se puede apreciar que el actual incremento en la sismicidad de fractura, corresponde al

más destacado para todo este tiempo de registro. En la figura 2 se ilustra la relación entre los diferentes tipos de eventos registrados entre los meses de enero de 2015 a enero de 2016. Se puede observar que durante el último mes y medio se han sobrepasado ampliamente los acumulados mensuales de sismos VT que se registraron entre enero y noviembre del 2015. La gráfica contenida en la figura 3 permite apreciar la tendencia en el número de eventos sísmicos registrados desde comienzos del mes de diciembre de 2015 hasta el 18 de enero de 2016. Es posible apreciar que si bien los días 25, 26 y 27 de diciembre corresponden a los de mayor actividad sísmica de carácter volcánico tectónico, durante los primeros 9 días del mes de enero se continuaron registrando más de 50 sismos de fractura al día.

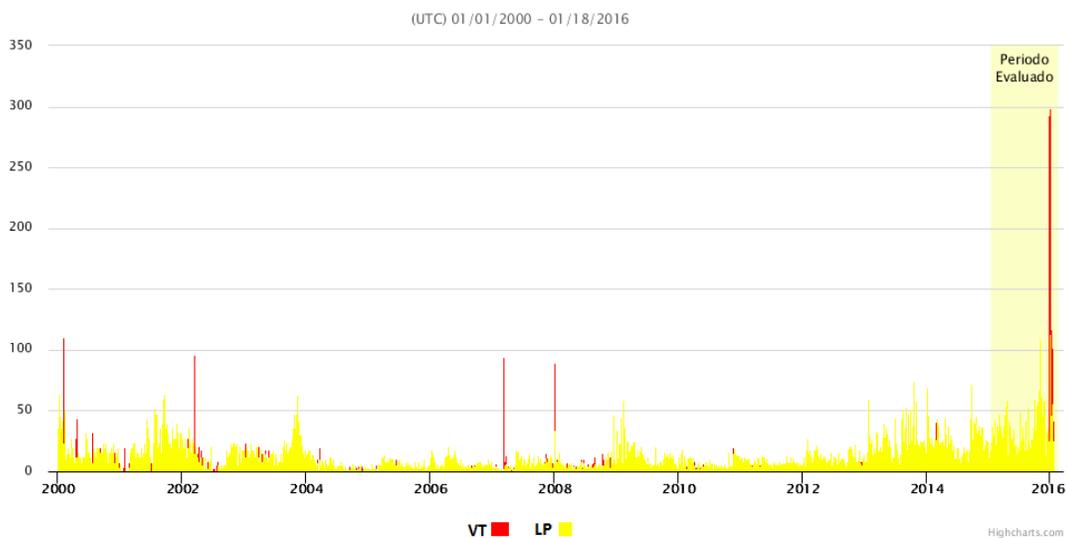


Figura 1. Número de eventos registrados en el volcán Puracé entre los años 2000 y 2016.

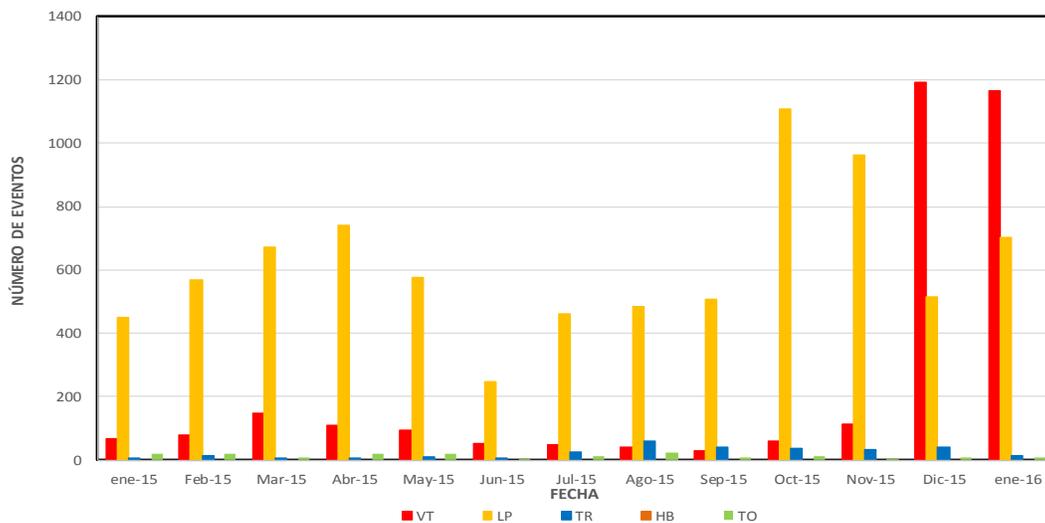


Figura 2. Relación entre el número de sismos registrados mensualmente en el volcán Puracé durante el año 2015

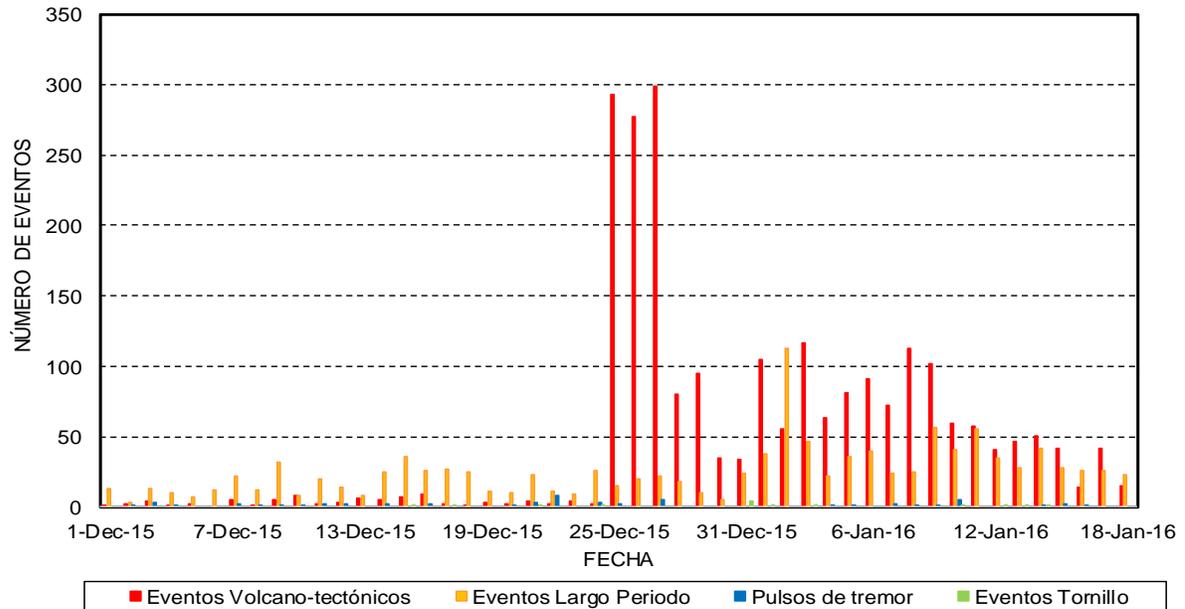


Figura 3. Número de eventos sísmicos registrados en el volcán Puracé entre el 1 de diciembre de 2015 y el 18 de enero de 2016

Tabla 1. Número de eventos sísmicos registrados en el volcán Puracé durante el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2015 y el 18 de enero de 2016

Periodo de tiempo	Tipos de eventos				Total
	VT	LP	TO	TR	
1 de diciembre de 2015 al 18 de enero de 2016	2361	1222	7	41	3631

1.1 Energía Sísmica Liberada

La energía sísmica liberada por los eventos VT y LP registrados en el volcán Puracé se caracterizó por permanecer estable durante la mayor parte del año 2015. Pese a que las principales variaciones en las curvas de energía sísmica liberada estuvieron relacionadas con la variación en el número de eventos diarios registrados, se destaca el hecho de que la sismicidad LP tuvo un incremento en la energía liberada diariamente a partir del mes de julio del año en mención, tendencia que se ha mantenido hasta la fecha. En el caso de la actividad VT, la liberación de energía asociada al incremento en la actividad de fractura registrado desde el 25 de diciembre del 2015, permite apreciar el cambio ocurrido en la dinámica del volcán, la cual paso de estar predominantemente relacionada con el movimiento de fluidos en los conductos volcánicos, a mostrar procesos de fracturamiento con aportes energéticos destacados, tanto en eventos con magnitudes importantes como los registrados los días 25 y 26 de diciembre de 2015 y 2 y 8 de enero de 2016, como en la ocurrencia predominante de sismicidad VT.

Las gráficas de las figuras 4 y 5 permiten apreciar los cambios descritos anteriormente en la liberación de energía sísmica VT y LP durante el último año, destacándose el marcado cambio en la tendencia de la curva de energía de los eventos volcano - tectónicos desde el pasado mes de diciembre.

Nota: La energía es graficada en razón de su raíz cuadrada para facilitar su visualización.

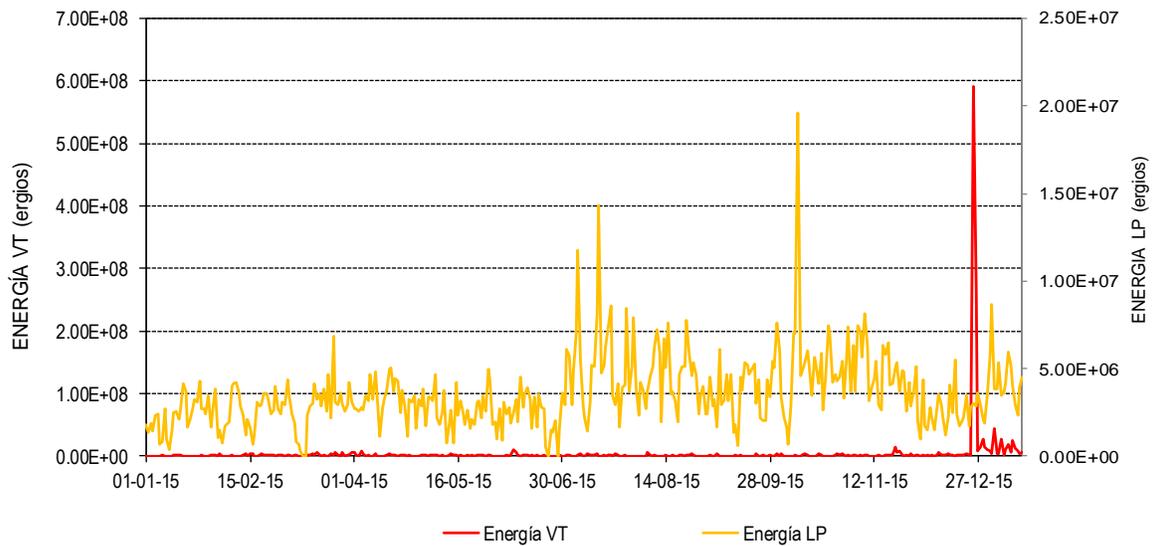


Figura 4. Energía sísmica liberada diariamente por eventos VT y LP en el volcán Puracé durante el periodo comprendido entre el 1 de enero del 2015 y el 18 de enero del 2016.

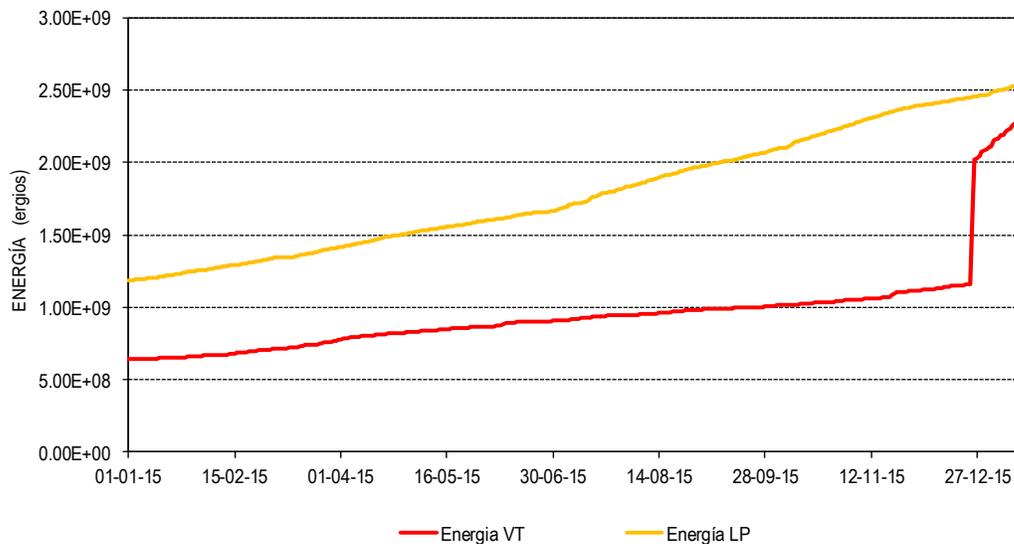


Figura 5. Acumulado de la energía sísmica liberada por eventos VT y LP en el volcán Puracé periodo comprendido entre el 1 de enero del 2015 y el 18 de enero del 2016.

1.1 Localización de Eventos de Fractura

Las localizaciones de los sismos VT obtenidas durante el año 2015 mostraron que la principal zona en la que se generaron procesos de fracturamiento de roca correspondió al área proximal del edificio volcánico, en un radio de aproximadamente 3 km a partir de la cima volcánica. En las áreas distales del edificio volcánico tanto al NE como el SW del mismo, se localizaron sismos dispersos de baja magnitud, a distancias de hasta 16 y 18 km de la cima volcánica respectivamente. Hacia finales del mes de noviembre, los eventos mostraron una concentración epicentral en un área de aproximadamente 3 km² a una distancia de entre 6 y 10 km al NE del volcán. Estos sismos fueron de bajo nivel energético, aunque se destaca que dos alcanzaron magnitudes de 2.5 y 2.3. Entre el 1 y el 25 de diciembre, el 60% de la sismicidad de fractura localizada en el volcán Puracé se concentró en esta zona, y una vez registrado el evento del 25 de diciembre a las 12:35 (hora local) el cual alcanzó una magnitud de 4.0 M_L en la escala de Richter, el 97% de la sismicidad de fractura ha estado concentrada en este sector, con un total de 574 eventos VT localizados entre las 12:35 del día 25 de diciembre de 2015 y las 08:20 del 18 de enero de 2016.

En la figura 6 se puede apreciar la distribución epicentral de la sismicidad localizada en el volcán Puracé durante el periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2015 y el 18 de enero de 2016.

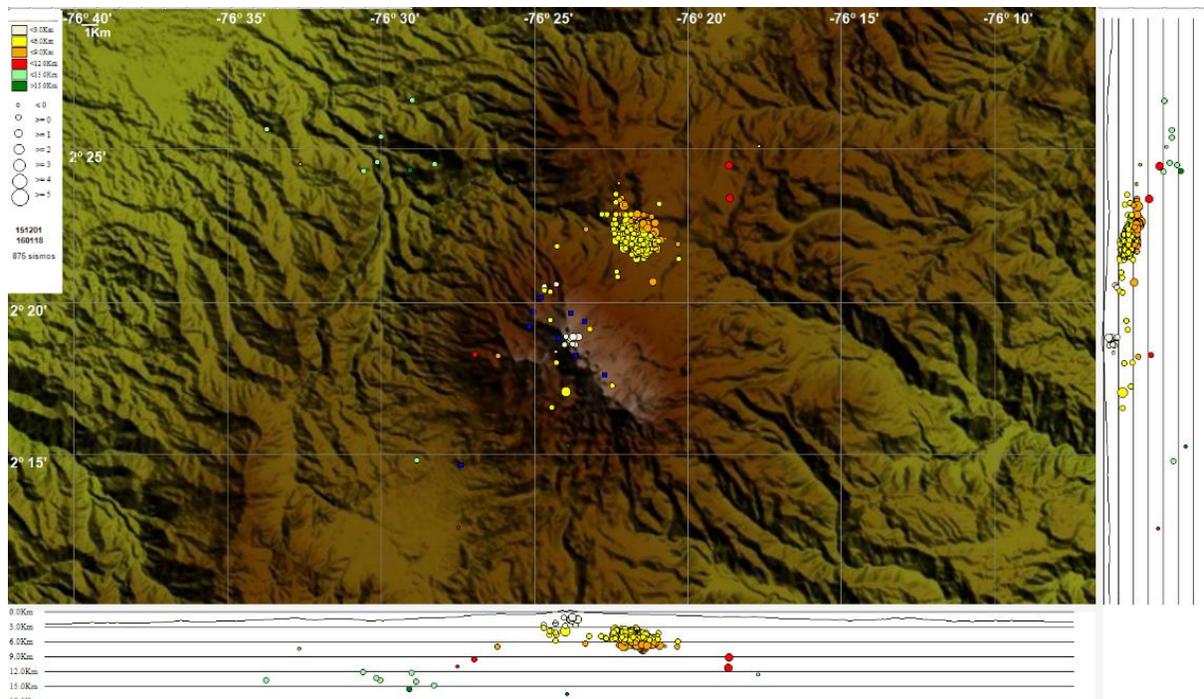


Figura 6. Mapa de localización de eventos Volcano-tectónicos del volcán Puracé, diciembre de 2013. Los círculos indican las localizaciones epicentrales e hipocentrales, cuyos colores varían según su profundidad y los tamaños según la magnitud Local (M_L). Los cuadros azules representan las estaciones sísmicas

La figura 7 permite apreciar la distribución de las magnitudes de los eventos de fractura localizados, en ella se puede apreciar que los mayores aportes energéticos ocurrieron al inicio del enjambre sísmico de la zona de San Rafael, y que estos valores han ido decreciendo paulatinamente, de manera que para la semana comprendida entre el 11 y el 18 de enero, los eventos han alcanzado magnitudes principalmente por debajo de 1.0 M_L .

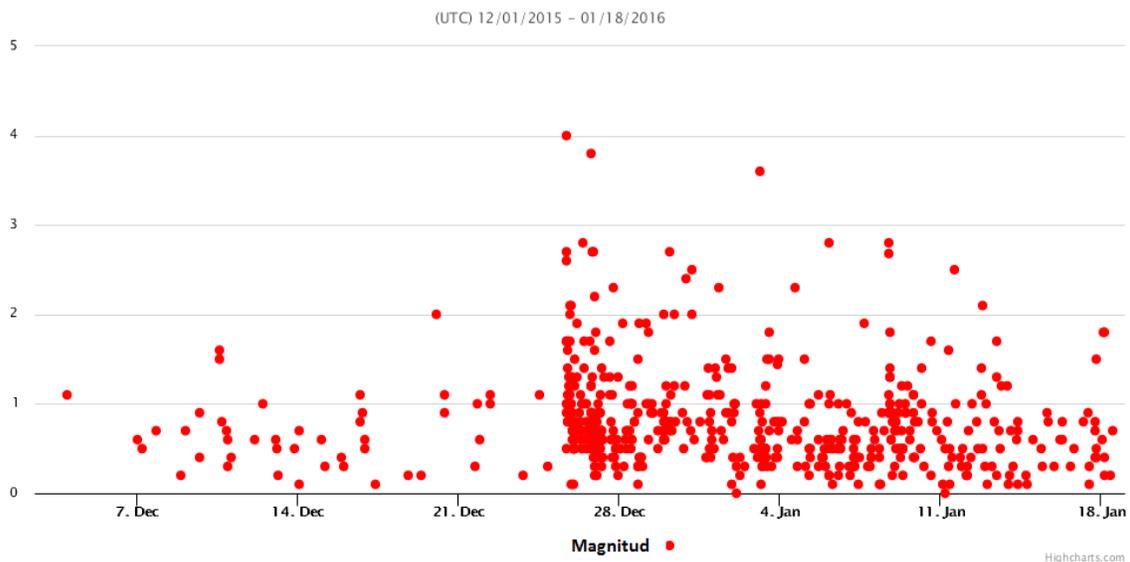
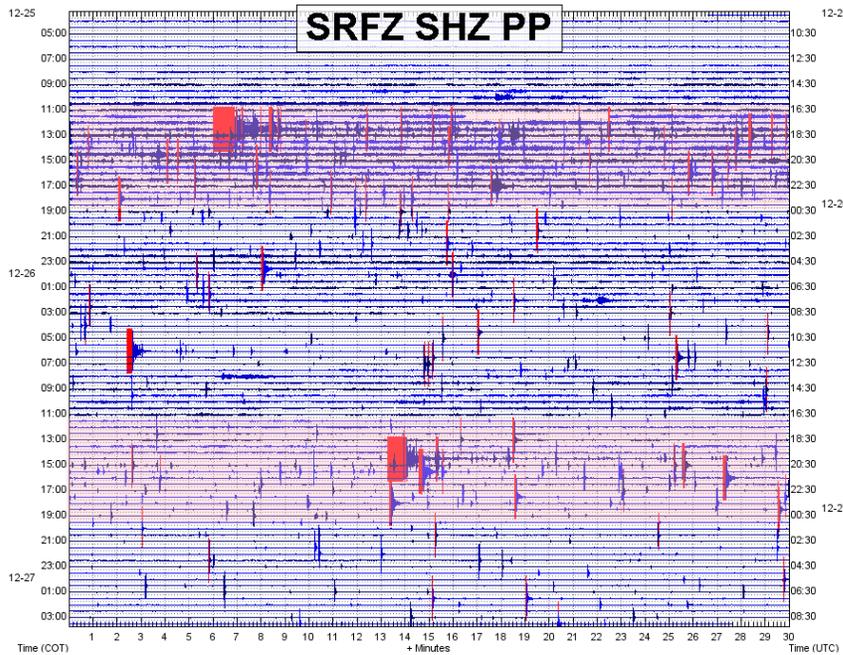


Figura 7. Magnitudes de los eventos volcánico tectónicos localizados en el volcán Puracé 1 diciembre 2015 a 18 enero 2016.

1.2 Sismicidad relevante

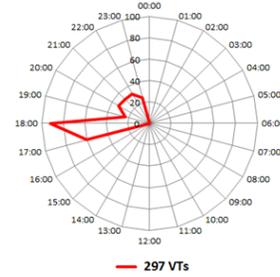
El 25 de diciembre a las 12:35 p.m. se presentó un evento sísmico de magnitud 4.0 grados en la escala de Richter, el cual disparó un enjambre de eventos volcánico-tectónicos, localizados a 7 km al nororiente del volcán Puracé (Zona de San Rafael). Desde ese entonces, entre los días del 25 al 27 de diciembre, la sismicidad se caracterizó por ser de alta recurrencia registrando un total de 868 eventos sísmicos VT, tres de los cuales han sido reportados como sentidos por pobladores del área de influencia. En la figura 8 se presenta en detalle algunas características cuantitativas del incremento sísmico asociado con procesos de fractura registrado en la estación de San Rafael (Corto Periodo - Triaxial).



VT

I. ENJAMBRE VTs
Enjambre de eventos volcano-tectónicos.

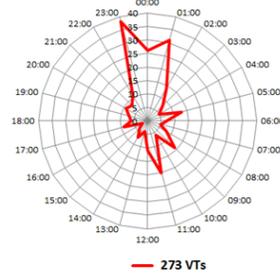
Diciembre 25 de 2015
(Hora UT)



VT

II. ENJAMBRE VTs
Enjambre de eventos volcano-tectónicos.

Diciembre 26 de 2015
(Hora UT)



Número de eventos por día - volcán Puracé

(UTC) 12/25/2015 - 12/31/2015

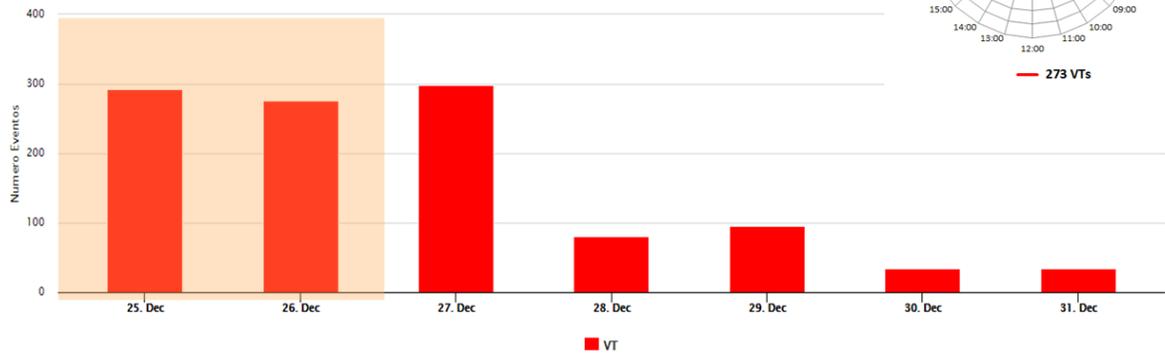


Figura 8. Detalles de la sismicidad registrada el 25 y 26 de diciembre de 2015 en el volcán Puracé

Tabla 2. Eventos volcano-tectónicos destacados registrados entre el 25 y 27 de diciembre de 2015 en el volcán Puracé.

Fecha y Hora (Hora local)	Magnitud (M_L)	Observación
25 de diciembre 12:35 p.m.	4.0	Reportado como sentido
25 de diciembre 12:38 p.m.	2.6	
25 de diciembre 12:45 p.m.	1.7	
25 de diciembre 1:06 p.m.	1.7	
25 de diciembre 1:18 p.m.	2.7	
25 de diciembre 1:28 p.m.	1.7	
25 de diciembre 1:47 p.m.	1.7	
25 de diciembre 4:26 p.m.	2.0	
25 de diciembre 6:02 p.m.	2.1	
25 de diciembre 12:37 a.m.	1.9	
26 de diciembre 6:02 a.m.	2.8	Reportado como sentido
26 de diciembre 2:43 p.m.	3.8	Reportado como sentido
26 de diciembre 3:44 p.m.	2.7	
26 de diciembre 4:27 p.m.	2.7	
26 de diciembre 6:13 p.m.	2.0	
26 de diciembre 6:59 p.m.	1.7	
27 de diciembre 9:48 a.m.	1.7	
27 de diciembre 2:08 p.m.	2.3	
27 de diciembre 11:40 p.m.	1.9	

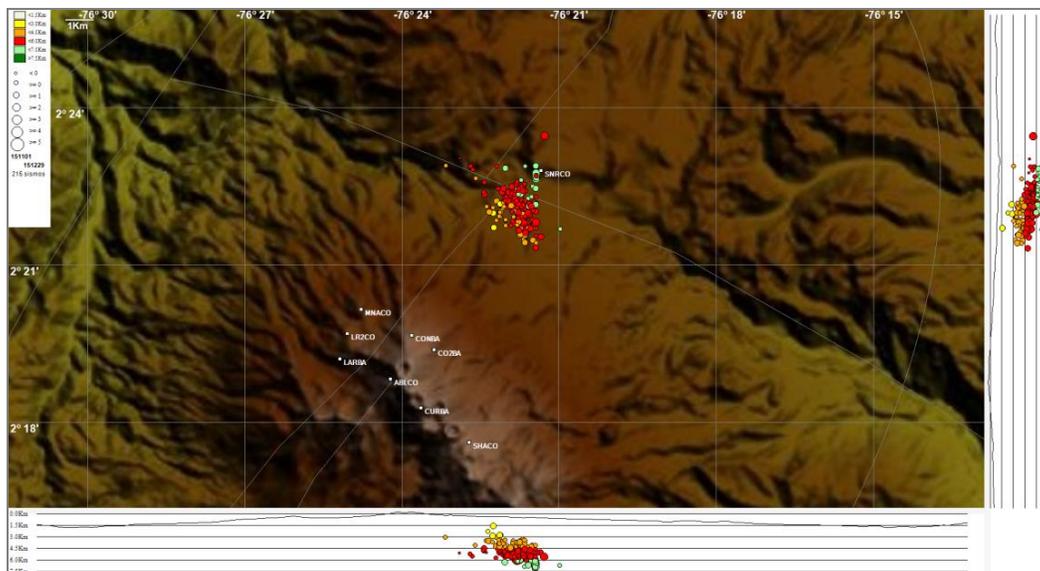


Figura 9. El mapa con la localización de los sismos muestra la concentración de la sismicidad al nororiente del cráter del volcán Puracé

1.3 Localización de eventos asociados a dinámica de fluidos

Durante el periodo evaluado entre el 15 de diciembre de 2015 al 15 de enero de 2016 se han presentado 1846 eventos asociados con el tránsito y movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos. Del número total de estos eventos, 742 corresponden a sismos catalogados como LP, y 1104 a eventos tipo LP de bajo aporte energético.

Para algunos eventos LP llevó a cabo la localización epicentral de 142, utilizando el método de atenuación de las amplitudes relativas. El mapa epicentral obtenido para el periodo evaluado el cual se muestra en la figura 10, permite apreciar que la zona de mayor concentración corresponde al flanco noreste del edificio volcánico, en un área de aproximadamente 1 km², que está definida desde el borde del cráter.

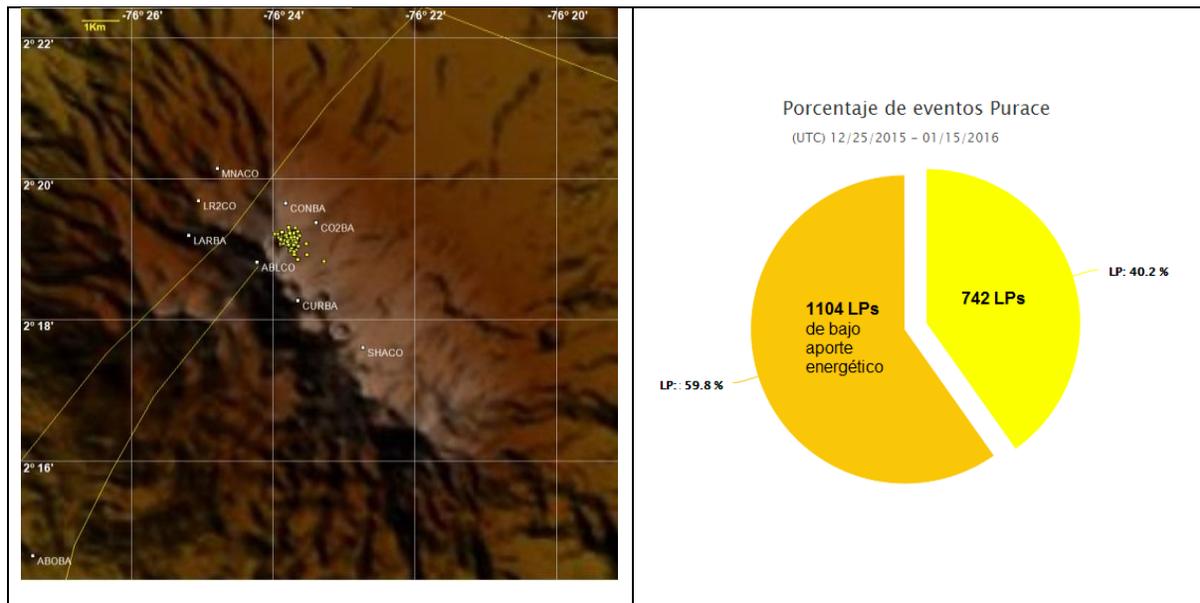


Figura 10. Mapas de localización de eventos sísmicos asociados con la dinámica de fluidos en el volcán Puracé.

1.4 Sismicidad Especial de Largo Periodo (LP de bajo aporte energético)

Estos eventos de largo periodo se han venido presentando regularmente a partir del 1 de enero de 2016 (Total 1104) caracterizándose especialmente por su tamaño, el cual no supera las 300 cuentas, son de muy bajo contenido energético, acompañadas de una frecuencia dominante de 3.1 Hz, señales que solo se alcanzan a reconocer en la estación más cercana al cráter (Agua Blanca, 4374 msnm – 0.7 Km distancia al cráter). Ver figura 11

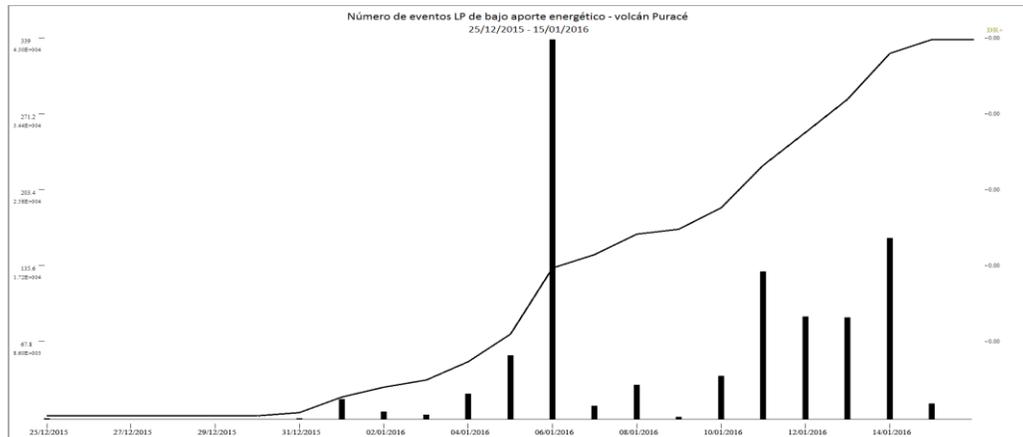


Figura 11. Numero eventos sísmicos asociados con la dinámica de fluidos de bajo aporte energético en el volcán Puracé

En lo corrido del mes fue evidente el aumento en el número de eventos LP, para los días 5 y 6 de enero y para los días del 11 al 14 enero, notándose un leve cambio en el tamaño y recurrencia de la señal, pasando de 180 Cuentas a 300, y presentándose un evento cada 4 minutos regularmente espaciados. Cabe anotar que frecuentemente no se han presentado cambios.

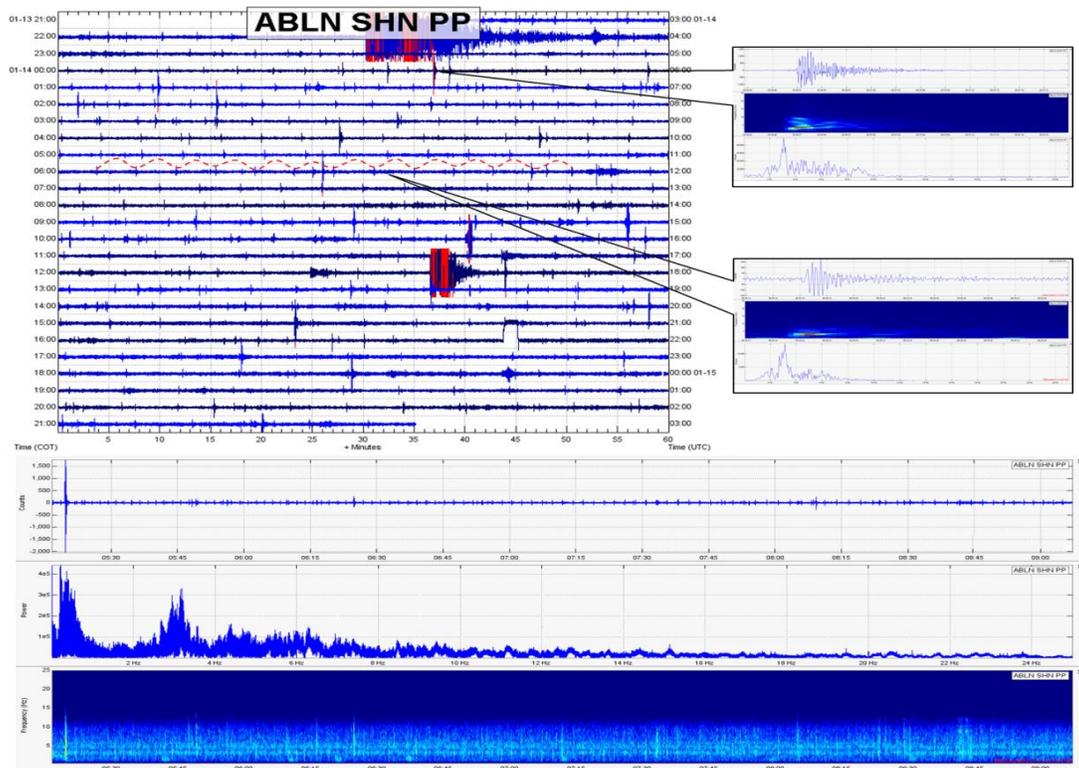


Figura 12. Registro obtenido a través del Swarm para la estación ABLN, para los días 13 y 14 de enero de 2016.

Tratando de analizar esta sismicidad de fluidos tan pequeña, se correlacionaron todos los eventos clasificados en la base, obteniéndose algunos resultados preliminares que indican que estas señales obedecen a la misma fuente, solo que para las señales del 5 de enero insidioso la relación señal ruido lo que no permitió obtener una buena correlación a diferencia de los eventos presentados con mejor resolución a partir del 11 al 14 de enero.

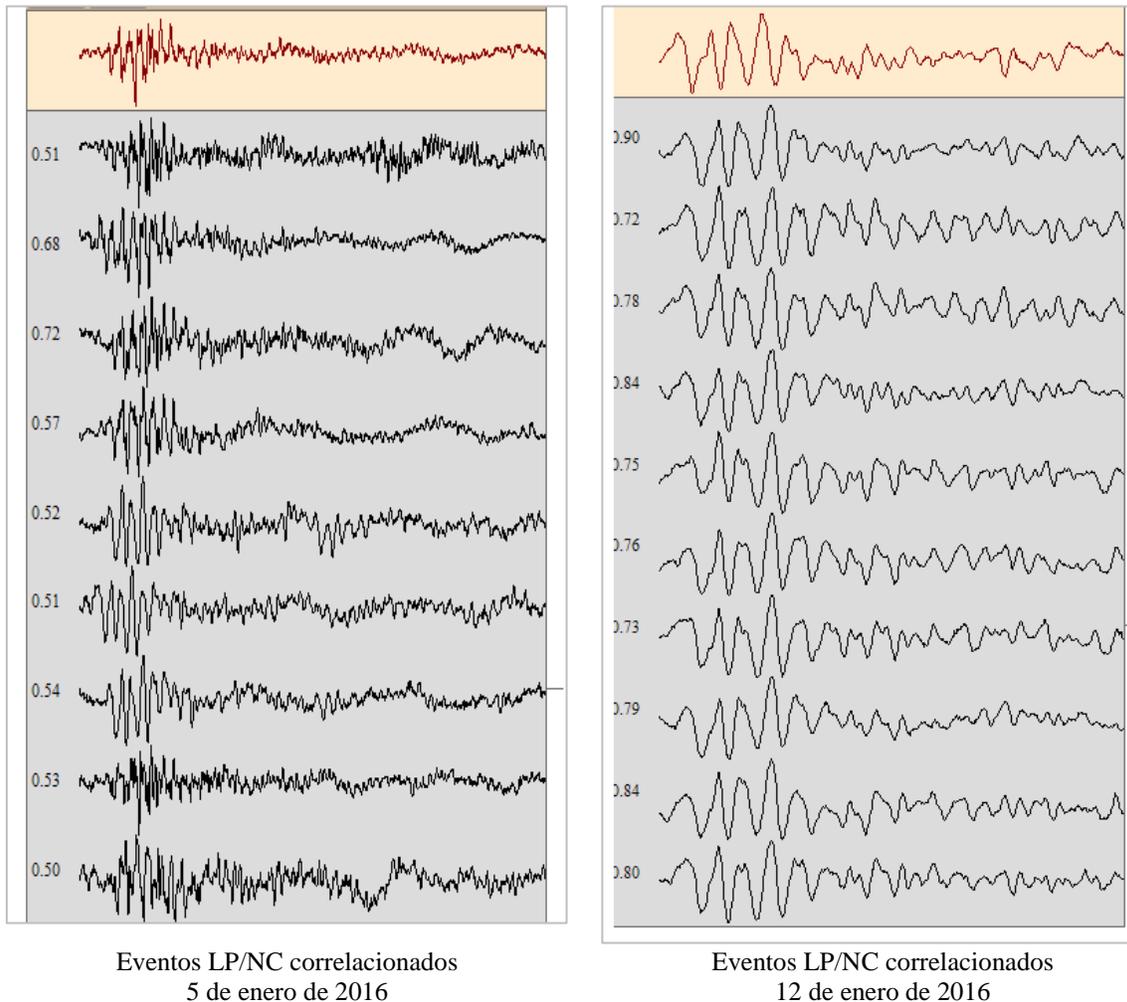


Figura 13. Correlación de eventos para los días 5 y 12 de enero de 2016.

En la figura 13, se presentan ejemplos de correlación para los días 5 y 12 de enero evidenciando factores de correlación promedios de 0.5 y 0.8 respectivamente. Así mismo, en la figura 14, se presenta la correlación cruzada de los eventos registrados durante el periodo evaluado. En la figura se puede identificar dos nubes de puntos asociados a los periodos del 5 y 6 enero, y los días del 11 al 14 de enero. Allí, se puede comprobar los factores de correlación de 0.5 y 0.8 respectivamente, así como la asociación de estos eventos a una misma fuente generadora.

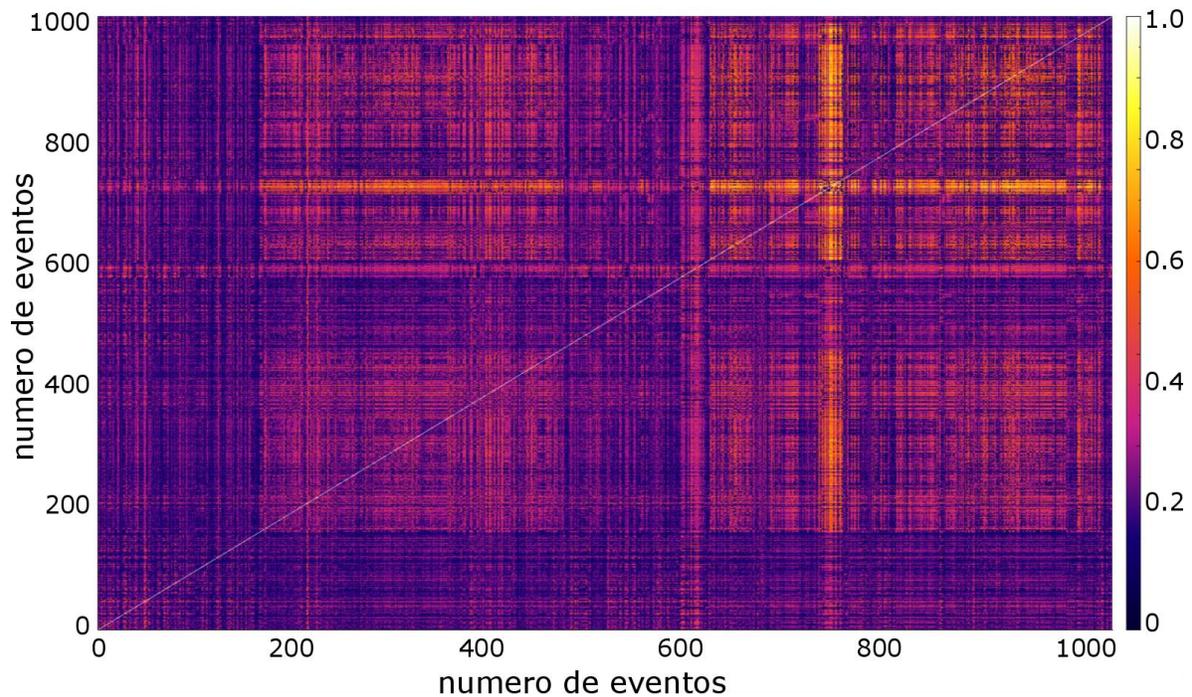


Figura 14. Correlación Cruzada de los eventos tipo NC del volcán Puracé desde el 1 de diciembre de 2015 al 15 de enero de 2016.

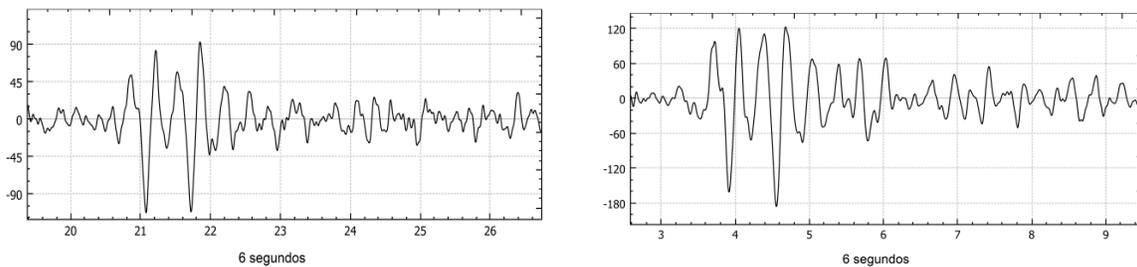


Figura 15. Señales correlacionadas tipo LP de bajo aporte energético del volcán Puracé de los días 6 y 12 de enero de 2016.

En la figura 15, se aprecian las formas de onda de los eventos tipo LP de bajo aporte energético para los días 5 (izquierda) y 12 (derecha) de enero. Se evidencia la amplia similitud en el paquete de onda que obedece a una misma fuente generadora.

2 Deformación y Geoquímica

De la red de deformación compuesta por estaciones GPS permanentes, líneas de EDM e inclinómetros electrónicos, los equipos que hasta el momento han presentado ligeros cambios en sus líneas base en conjunto con otras técnicas de monitoreo son los inclinómetros electrónicos. En general se observa un cambio simultáneo de algunas componentes de los inclinómetros referidos en las siguientes gráficas, acompañados de un cambio en las líneas base de dióxido de carbono de una estación ubicada en el cráter. El cambio empezó a observarse desde mediados de octubre y hasta la fecha continua levemente. Los vectores resultantes de los inclinómetros se muestran en la Figura 20 y sugieren una posible fuente generadora de deformación al NW del cráter.

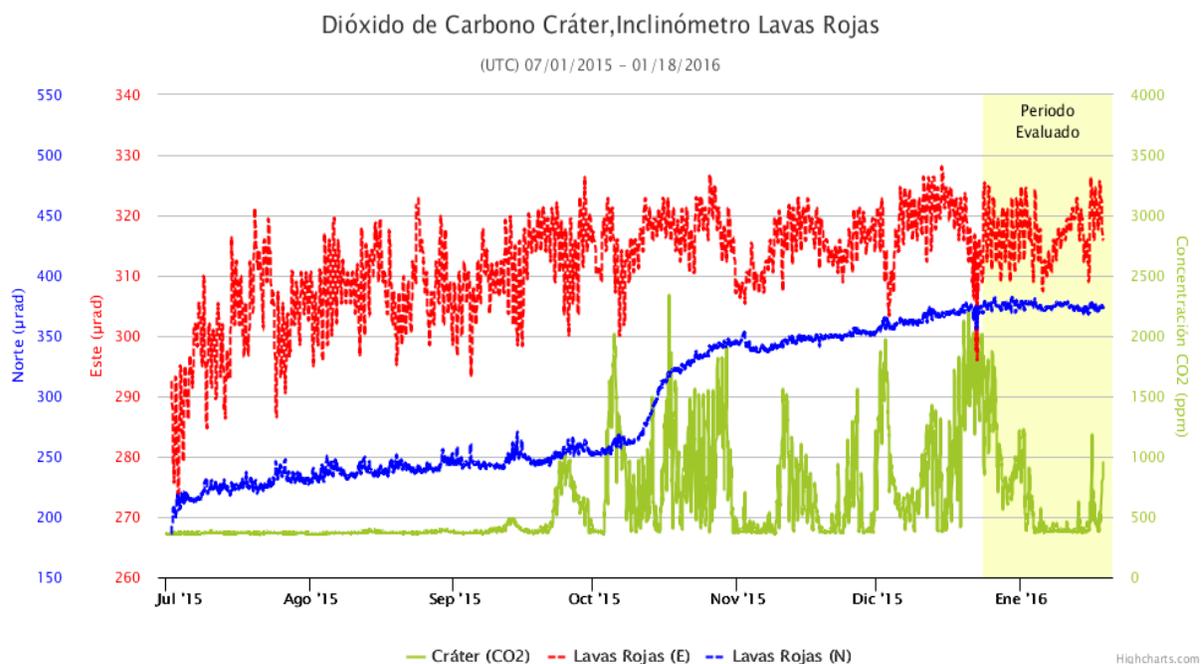


Figura 16. Componentes inclinómetro Lavas Rojas y dióxido de carbono estación Cráter.

Dióxido de Carbono Cráter, Inclinómetro Guañarita2

(UTC) 07/01/2015 - 01/18/2016

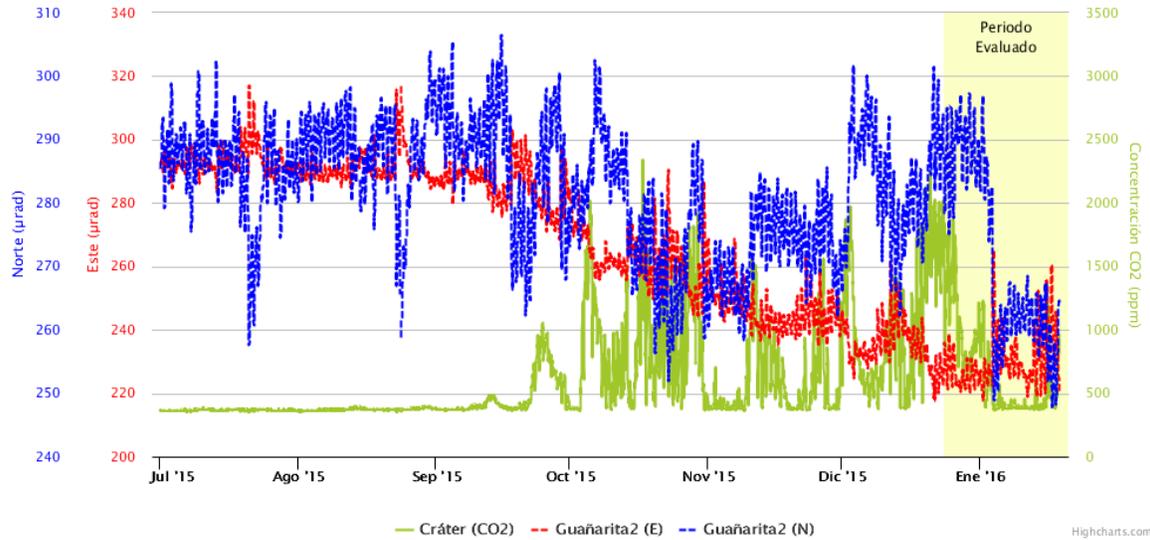


Figura 17. Componentes inclinómetro Guañarita2 y dióxido de carbono estación Cráter.

Dióxido de Carbono Cráter, Inclinómetro Cocuy2

(UTC) 07/01/2015 - 01/18/2016

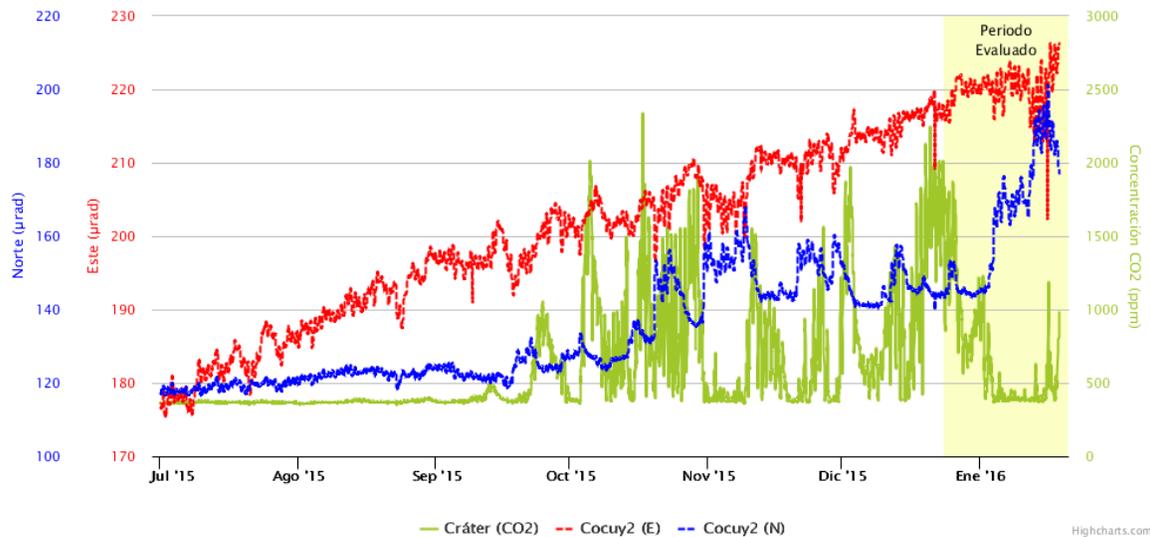


Figura 18. Componentes inclinómetro Cocuy2 y dióxido de carbono estación Cráter.

Dióxido de Carbono Cráter, Inclinómetro Aguablanca

(UTC) 07/01/2015 - 01/18/2016

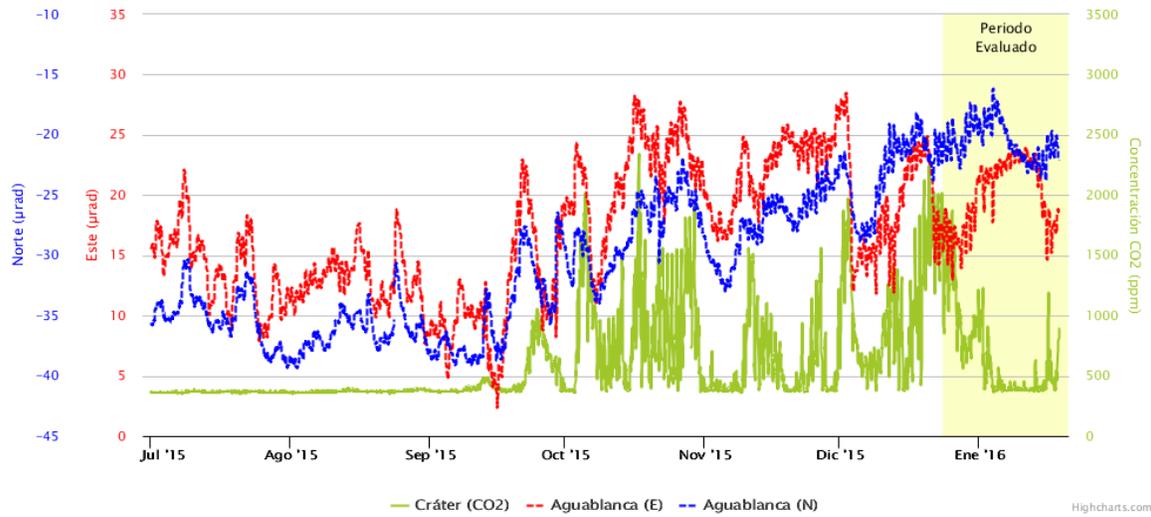


Figura 19. Componentes inclinómetro Agua Blanca y dióxido de carbono estación Cráter.

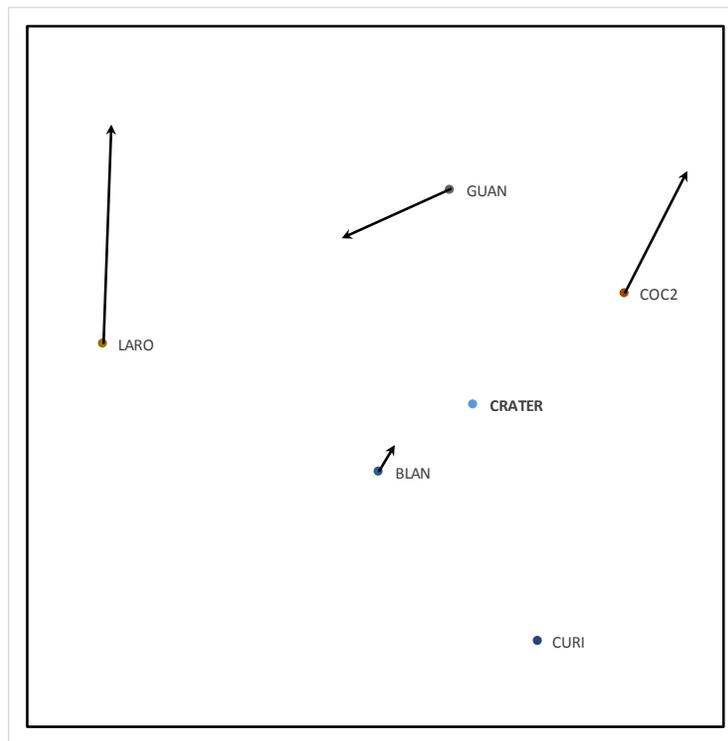


Figura 20. Vectores resultantes de la red de Inclinometría del volcán Puracé.

3 Actividad Superficial

Respecto del registro con cámaras web y estaciones meteorológicas, de la actividad superficial del Volcán Puracé, para el periodo evaluado (1 diciembre de 2015 a 15 de enero de 2016), no se evidenciaron cambios relevantes sobre la línea base que se ha logrado para dichas técnicas

En la siguiente figura se presentan algunas de las imágenes logradas para el periodo evaluado, en ellas se resaltan las medidas realizadas para el seguimiento de la pluma:

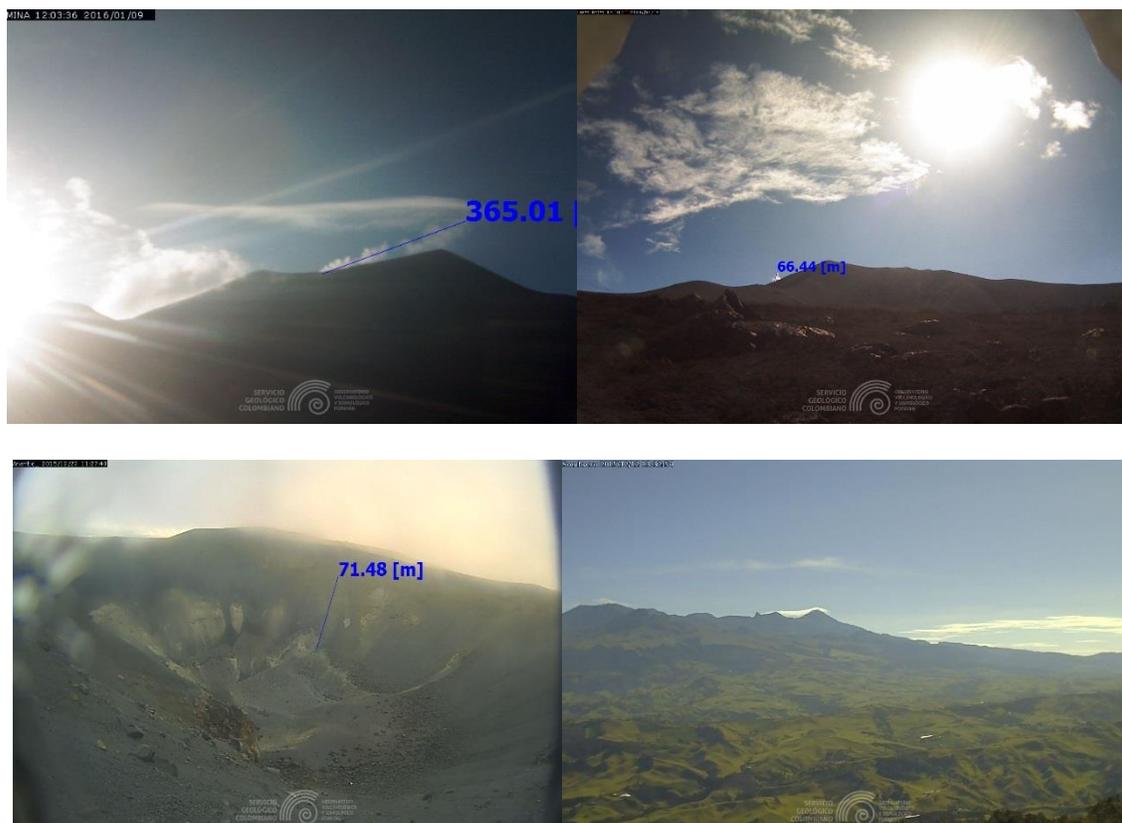


Figura 21. Mosaico de imágenes de las cámaras web de: Arriba: Mina y Lavas Rojas.
Abajo: Anamabio y Cerro Sombrero.

En la figura 22 se presenta los recorridos logrados por la fumarola lateral, medidos desde las imágenes de las cámaras de Mina y Lavas Rojas, cabe resaltar que aunque las distancias logradas alcanzaron los 365 m, no son valores que salgan de la línea base. Además se debe tener en cuenta que la distancia recorrida depende en gran medida de la acción de las corrientes de viento imperantes en la zona.

Las figuras 23 y 24 muestran el comportamiento de la precipitación en la zona, de acuerdo a lo reportado por las estaciones metereologicas de Mina (a 2 km del cráter) y Cocuy4 (a 0.8 km del cráter). La figura 23 presenta datos desde el 1 de junio de 2015 hasta el 15 de enero de 2016 y la

figura 24 presenta solo el periodo evaluado. De acuerdo al registro de estas estaciones, se puede observar que el comportamiento de las lluvias está dentro de lo normal.

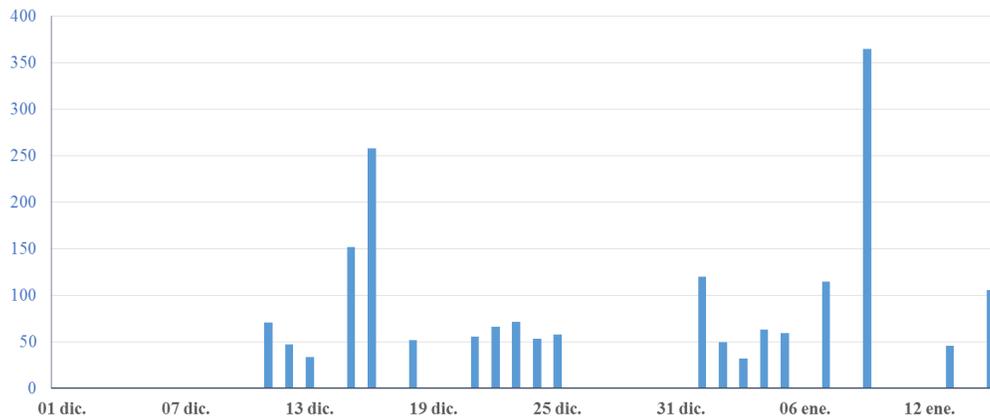


Figura 22. Recorrido de la pluma de la Fumarola lateral del Volcán Puracé desde la fisura [m].

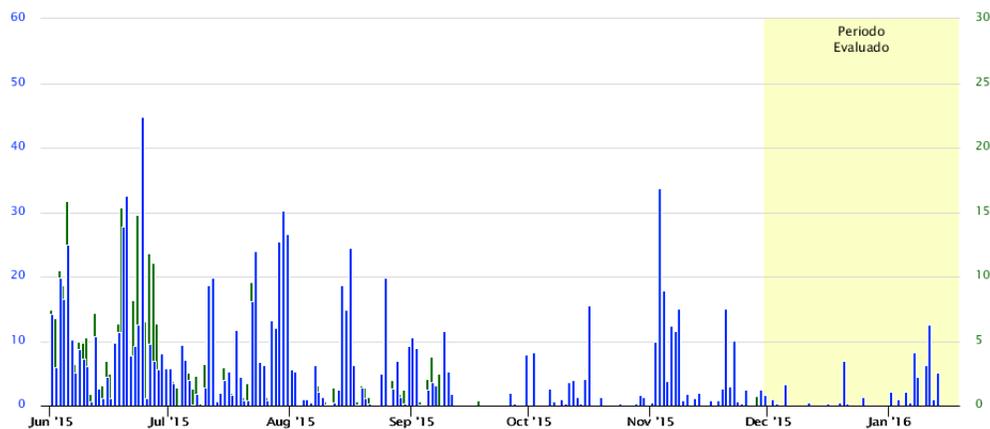


Figura 23. Registro de lluvias en mm de los pluviómetros de Mina (azul) y Cocuy4 (verde) ubicadas respectivamente a 2 y 0.8 km del cráter. Junio 2015 a 15 enero de 2016

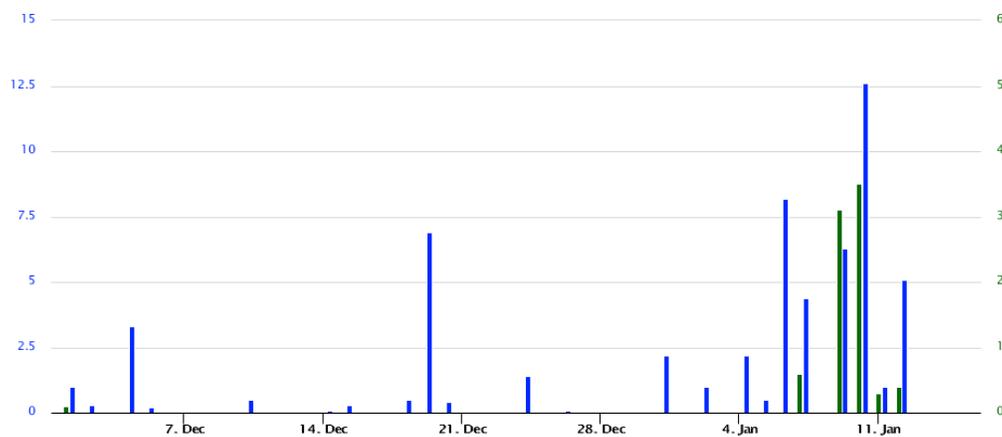


Figura 24. Registro de lluvias en mm de los pluviómetros de Mina (azul) y Cocuy4 (verde) ubicadas respectivamente a 2 y 0.8 km del cráter. Diciembre 2015 a 15 enero de 2016.

4 Campos Electromagnéticos

En cuanto a las técnicas de campos electromagnéticos, para el periodo evaluado entre el 1 de diciembre de 2015 y el 15 de enero de 2016, se ha observado un comportamiento estable, sin cambios relevantes que se puedan asociar a los cambios en las demás técnicas de vigilancia.

La figura 25 se muestran los datos de Potencial Eléctrico Espontáneo (PEE) para la estación de Cocuy2, de los cuales se puede concluir que no hay cambios relevantes fuera de aquellos posiblemente relacionados con las lluvias de la zona.

En cuanto al registro de los sensores de campo magnético, no se observaron cambios que se encuentren por fuera del comportamiento normal de los mismos, resaltando efectos por tormentas solares los días 21 de diciembre de 2015 y 1 de enero de 2016, de acuerdo con los datos de la estación magnetométrica de referencia Kourou (Guyana Francesa) y los datos de Campo Magnético Interplanetario (IMF). La figura 26 presenta los datos de las estaciones de campo magnético de Laguna y Agua Blanca, así como la estación de referencia Kourou.



Figura 25. Potencial eléctrico espontáneo y pluviosidad registrados por la estación Cocuy2 entre los meses de octubre 2015 y enero 15 de 2016.

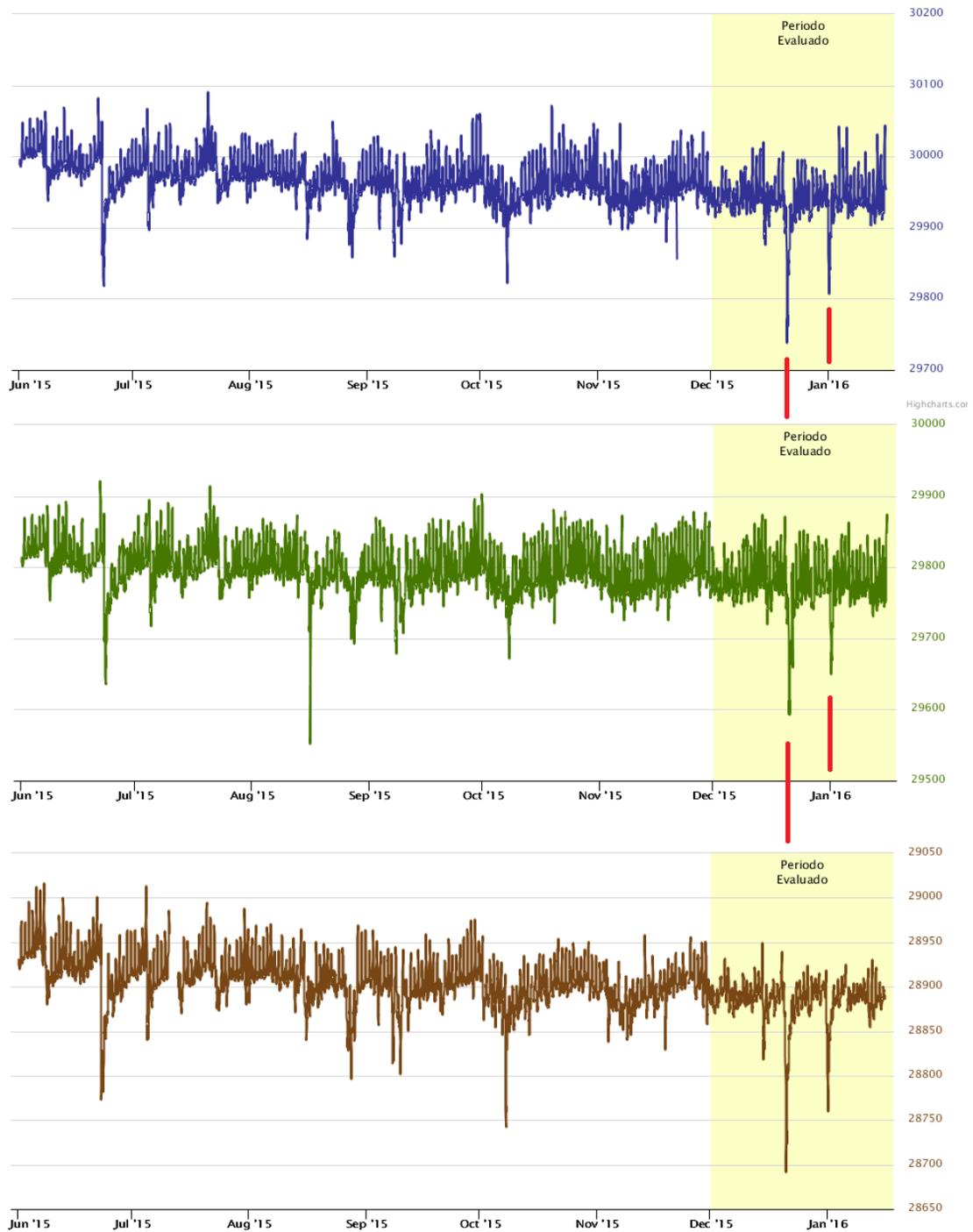


Figura 26. Mediciones magnetométricas del volcán Puracé entre diciembre de 2015 y 15 de enero de 2016. Arriba: Magnetómetro de Laguna. Medio: Magnetómetro de Agua Blanca. Abajo: Magnetómetro de Kourou en la Guyana Francesa. Las líneas rojas resaltan los días en los que hubo reporte de tormenta solar (NOAA).

CONCLUSIONES

Durante el periodo evaluado en el informe, el volcán Puracé evidencia cambios en algunos parámetros de monitoreo como son: Sismología, inclinometría y dióxido de carbono. En sismología la actividad VT se encuentra localizada epicentralmente a 6.5 km al NE del cráter del volcán y a profundidades entre 4 y 6 km, hasta el momento esta sismicidad no ha presentado migración de la fuente ni cambios en su forma de onda y contenido espectral; respecto a la actividad LP, su ocurrencia se dio posterior a la sismicidad VT y se ha caracterizado por el registro de eventos de bajo aporte energético los cuales en los últimos días han disminuido paulatinamente.

Los vectores resultantes de los cambios registrados en las líneas base de los inclinómetros, sugieren una posible fuente de deformación al sector NW del cráter. Por su parte, la estación de dióxido de carbono localizada en el cráter presenta anomalías que se correlacionan con los cambios de las líneas base de los inclinómetros. Los cambios observados en estas dos técnicas antecedieron el incremento en la actividad sísmica.

El monitoreo mediante cámaras web, magnetometría, potenciales eléctricos, termometría, y gas radón, evidencian un comportamiento estable en sus líneas base.

Teniendo en cuenta las variaciones presentadas en algunos de los parámetros monitoreados, se destaca que si bien son cambios importantes, estos procesos hasta el momento no han comprometido la estabilidad del volcán y por lo tanto se mantiene el nivel de actividad en ***NIVEL IV: VOLCÁN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE.***

Del análisis técnico realizado se ha propuesto dos escenarios posibles: el primero es que la actividad de fluidos aumente energéticamente y se presente en mayor recurrencia acompañada de pulsos de tremor y liberación de gases volcánicos en mayor concentración, así como migración de la fuente de la sismicidad tipo VT, para considerar que el sistema volcánico está entrando en una etapa de desestabilización. El segundo escenario considerado, es que la sismicidad VT y LP tienda a decrecer hasta alcanzar los niveles base en conjunto con las demás técnicas que han evidenciado cambios en los últimos periodos



Calle 5B No 2-14. Popayán - Colombia.
Tel:(572) 8240210 – 8242057 Fax: 8241255
<http://www.sgc.gov.co/Popayan.aspx>