



Libertad y Orden

REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE POPAYÁN

INFORME SEMESTRAL DE LA ACTIVIDAD EN LOS VOLCANES
NEVADO DEL HUILA, PURACÉ Y SOTARÁ
SEMESTRE I DE 2012

POPAYÁN, 2012

TABLA DE CONTENIDO

1	VOLCÁN NEVADO DEL HUILA.	10
	1.1 Red de Vigilancia.	11
	1.1.1 Red de estaciones sísmicas.	11
	1.1.2 Red de estaciones de monitoreo de flujos de lodo.	11
	1.1.3 Cámaras web.	11
	1.1.4 ScanDOAS.	11
	1.1.5 Deformación volcánica.	11
	1.1.6 Sensor acústico.	11
	1.2 Sismología	12
	1.2.1 Actividad Sísmica.	12
	1.2.2 Energía sísmica liberada.	14
	1.2.3 Localización de eventos sísmicos.	15
	1.2.3.1 <i>Localización de sismicidad asociada a procesos de fractura.</i>	15
	1.3 Deformación.	16
	1.3.1 Inclínometría electrónica.	18
	1.4 Actividad Superficial.	18
	1.4.1 Cámaras de seguimiento superficial.	18
	1.4.2 Sobrevuelos.	19
	1.5 Geoquímica y Físicoquímica.	19
	1.5.1 Medidas móviles de flujo de SO_2	20
	1.6 Conclusión.	25
2	VOLCÁN PURACÉ.	26
	2.1 Red de Vigilancia.	27
	2.1.1 Red de estaciones sísmicas.	27
	2.1.2 Red de deformación.	27
	2.1.3 Cámaras web.	27
	2.1.4 Magnetotelúrica.	27
	2.1.5 Termometría.	27
	2.1.6 Geoquímica.	27
	2.2 Sismología	28
	2.2.1 Actividad Sísmica.	28
	2.2.2 Energía sísmica liberada.	29
	2.2.3 Localización de eventos sísmicos.	31
	2.2.3.1 <i>Localización de sismicidad de fluidos.</i>	31
	2.2.3.2 <i>Localización de sismicidad asociada a procesos de fractura.</i>	31
	2.3 Deformación.	33
	2.3.1 Inclínometría electrónica.	33
	2.3.2 Estaciones GNSS permanentes.	36

	2.3.3	Medición electrónica de distancias.	37
2.4		Magnetotelúrica.	38
	2.4.1	Potenciales eléctricos espontáneos.	39
	2.4.2	Magnetometría.	39
2.5		Actividad Superficial.	40
	2.5.1	Cámaras de seguimiento superficial.	40
2.6		Conclusión.	43
3		VOLCÁN SOTARÁ.	44
3.1		Red de Vigilancia.	45
	3.1.1	Red de estaciones sísmicas.	45
	3.1.2	Red de deformación.	45
	3.1.3	Cámaras web.	45
3.2		Sismología	45
	3.2.1	Actividad Sísmica.	45
	3.2.2	Energía sísmica liberada.	47
	3.2.3	Localización de eventos sísmicos.	48
	3.2.3.1	<i>Localización de eventos asociados con fracturamiento de roca. .</i>	<i>48</i>
3.3		Deformación.	50
	3.3.1	Inclinometría electrónica.	50
3.4		Actividad Superficial.	51
	3.4.1	Cámaras de seguimiento superficial.	51
3.5		Conclusión.	53

TABLA DE FIGURAS

Figura 1	Volcán Nevado del Huila visto desde el costado norte del edificio volcánico.	10
Figura 2	Red de vigilancia en sismología del volcán Nevado del Huila. Primer semestre de 2012.	13
Figura 3	Número de eventos registrados diariamente en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.	13
Figura 4	Gráfica de energía sísmica liberada diariamente por eventos VT y LP en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.	14
Figura 5	Gráfica de energía sísmica liberada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.	15
Figura 6	Mapa de localización de eventos de fractura registrados en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.	16
Figura 7	Dispersión de los valores de magnitud local para los eventos de fractura localizados en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.	17
Figura 8	Equipo para el monitoreo en deformación del volcán Nevado del Huila. Primer semestre de 2012.	17
Figura 9	Comportamiento del inclinómetro electrónico Caloto hasta junio de 2012.	18
Figura 10	Mapa de localización de las cámaras web para monitoreo de la actividad superficial en el volcán Nevado del Huila. Semestre I de 2012.	19
Figura 11	Imágenes del volcán Nevado del Huila captadas por la cámara web Tafxnú durante el primer semestre de 2012.	20
Figura 12	Imágenes del volcán Nevado del Huila captadas por la cámara web Maravillas durante el primer semestre de 2012.	21
Figura 13	Imágenes del volcán Nevado del Huila captadas por la cámara web Caloto durante el primer semestre de 2012.	22
Figura 14	Panorámica del volcán Nevado del Huila tomada desde el SW del edificio volcánico.	22
Figura 15	Parte alta del edificio volcánico donde se aprecia el domo lávico que se emplaza entre los Picos Central y Sur.	23
Figura 16	Detalle del domo y del material estruido (espinas), acompañado de focos de emisión de gases.	23
Figura 17	Espectrograma de la medida móvil de flujo de SO_2 emitido por el volcán Nevado del Huila, realizada el 20 de marzo de 2012.	23
Figura 18	Medidas móviles del flujo de SO_2 emitido por el volcán Nevado del Huila hasta junio de 2012.	24
Figura 19	Velocidad del viento según modelo WRF para el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.	24
Figura 20	Volcán Puracé. Imagen captada durante sobrevuelo del 22 de octubre de 2011.	26
Figura 21	Red de vigilancia en sismología del volcán Puracé. Primer semestre de 2012.	29

Figura 22	Número de eventos registrados diariamente en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.	30
Figura 23	Gráfica de energía sísmica liberada diariamente por eventos VT y LP en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.	30
Figura 24	Gráfica de energía sísmica liberada calculada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.	31
Figura 25	Mapa de localizaciones de eventos asociados a dinámica de fluidos en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.	32
Figura 26	Mapa de localización de eventos de fractura registrados en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.	32
Figura 27	Dispersión de los valores de magnitud local para los eventos de fractura localizados en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.	33
Figura 28	Red de vigilancia en deformación del volcán Puracé. Primer semestre de 2012. . .	34
Figura 29	Comportamiento del inclinómetro electrónico Lavas Rojas hasta junio de 2012. . .	34
Figura 30	Comportamiento del inclinómetro electrónico Guañarita hasta junio de 2012. . .	35
Figura 31	Comportamiento del inclinómetro electrónico Curiqinga hasta junio de 2012. . .	35
Figura 32	Comportamiento del inclinómetro electrónico Moras hasta junio de 2012.	36
Figura 33	Detalle de la estación de GNSS de referencia y de las estaciones GNSS de monitoreo.	36
Figura 34	Línea base de comportamiento para la estación GNSS permanente Guañarita hasta junio de 2012.	37
Figura 35	Línea base de comportamiento para la estación GNSS permanente Agua Blanca hasta junio de 2012.	37
Figura 36	Mediciones EDM desde la base La Mina en el volcán Puracé realizadas hasta junio de 2012.	38
Figura 37	Red de vigilancia en magnetotelúrica del volcán Puracé. Primer semestre de 2012.	38
Figura 38	Potencial eléctrico espontáneo registrado en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.	39
Figura 39	Mediciones magnetotelúricas del volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.	40
Figura 40	Mapa de localización de las cámaras web para monitoreo de la actividad superficial en el volcán Puracé. Primer semestre de 2012.	41
Figura 41	Detalle del campo fumarólico lateral del volcán Puracé.	41
Figura 42	Imágenes del volcán Puracé captadas por las cámaras web Lavas Rojas (columna derecha) y Mina (columna izquierda) durante los primeros tres meses del 2012. . .	42
Figura 43	Imágenes del volcán Puracé captadas por las cámaras web Lavas Rojas (columna derecha) y Mina (columna izquierda) durante abril, mayo y junio de 2012.	43
Figura 44	Imagen panorámica del volcán Sotará.	44
Figura 45	Red de vigilancia en sismología del volcán Sotará. Primer semestre de 2012. . . .	46
Figura 46	Número de eventos registrados diariamente en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.	46
Figura 47	Sismograma de la estación sismológica de referencia OSO (volcán Sotará) y señal digital de evento volcano-tectónico registrado.	47
Figura 48	Gráfica de energía sísmica liberada diariamente por eventos VT en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.	48
Figura 49	Gráfica de energía sísmica liberada calculada de forma acumulada por eventos VT en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.	49
Figura 50	Mapa de localización de eventos de fractura registrados en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.	49
Figura 51	Red de vigilancia en deformación del volcán Sotará. Primer semestre de 2012. . .	50

Figura 52	Comportamiento del inclinómetro electrónico Sotará hasta junio de 2012.	51
Figura 53	Comportamiento del inclinómetro electrónico Oso hasta junio de 2012.	52
Figura 54	Mapa de localización de las cámaras web para monitoreo de la actividad superficial en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.	52
Figura 55	Imágenes del volcán Sotará captadas por la cámara web Cerro Crespo durante el primer semestre de 2012.	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Características de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila.	12
Tabla 2	Número de eventos sísmicos en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.	14
Tabla 3	Resultado de la medición de SO_2 realizada durante el Semestre I de 2012.	24
Tabla 4	Características de la red de vigilancia del volcán Puracé.	28
Tabla 5	Número de eventos sísmicos registrados en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.	29
Tabla 6	Características de la red de vigilancia del volcán Sotará.	45
Tabla 7	Número de eventos sísmicos registrados en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.	47



INTRODUCCION

El Servicio Geológico Colombiano (SGC), a través de la Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, cuenta con una red de Observatorios Vulcanológicos y Sismológicos en el sector occidental del territorio colombiano; estos se encargan del monitoreo continuo y en tiempo real de los volcanes activos de esta sección del país. Es por ello que el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán (OVS-Popayán) creado en 1993, realiza las labores de vigilancia a los volcanes Puracé y Sotará los cuales se encuentran localizados en el departamento del Cauca, así como del volcán Nevado del Huila ubicado en límites de los departamentos del Cauca, Huila y Tolima.

En el presente informe de actividad se compila la información obtenida a partir de las diferentes redes de vigilancia instaladas en las zonas de influencia de los volcanes anteriormente mencionados, para el período comprendido entre 1 de enero y el 30 de junio de 2012. Se resalta el seguimiento especial realizado al volcán Nevado del Huila, el cual, desde su proceso de reactivación en febrero de 2007, se ha caracterizado por presentar alternancia entre periodos con niveles altos tanto en actividad sísmica como en emisiones de SO_2 a la atmosfera, seguidos por periodos de relajación en los que las fluctuaciones observadas se presentan a una menor escala.



RESUMEN

La actividad del volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012, se caracterizó por mantener una tendencia estable, con niveles de sismicidad que permanecieron dentro de los promedios alcanzados durante el 2011; no obstante, se destaca la ocurrencia de los eventos de fractura de los días 9 de febrero, 15 de marzo y 21 de junio, que alcanzaron magnitudes entre 3.0 y 3.8 M_L , de carácter superficial y que se localizaron principalmente en inmediaciones de los Picos Norte y Central. Cabe mencionar que en el mes de mayo se llevo a cabo la instalación de la estación multiparamétrica denominada Caloto, la cual está conformada por cuatro sensores (sismómetro, inclinómetro, sensor acústico y cámara web). El inclinómetro electrónico mostró pequeñas variaciones que no se relacionaron con cambios en las demás técnicas de vigilancia volcánica. En cuanto a las emisiones de SO_2 a la atmósfera asociadas al Nevado del Huila, las mediciones realizadas durante el primer semestre del año permanecieron en niveles considerados como bajos. Del seguimiento realizado a la actividad superficial a través de las cámaras web, no se detectaron cambios morfológicos o en las emisiones de gases a destacar. Por lo anterior, y de acuerdo al análisis de la información obtenida a partir de las diferentes redes de vigilancia durante el semestre I del 2012, el OVS Popayán mantiene para el volcán Nevado del Huila el nivel de actividad volcánica en **NIVEL III: CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA ACTIVIDAD VOLCANICA.**

En cuanto a la sismicidad registrada en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012, se mantuvo el predominio de la actividad asociada a la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos (LP, HB y TO), sobre aquella relacionada con procesos de fracturamiento de roca. El análisis de los datos registrados por la red de inclinómetros electrónicos y de estaciones GNSS con que cuenta el volcán Puracé, permite establecer que actualmente no se están presentando procesos deformativos que se relacionen con variaciones en la dinámica de la actividad volcánica; de igual forma, mediante el monitoreo de los diferentes parámetros geoquímicos, así como del análisis de los datos registrados por el sensor de autopotencial Córdor y el magnetómetro Laguna, se determina que tales parámetros de monitoreo presentan una tendencia estable, con pequeñas variaciones que no tienen relación con la actividad del volcán. Cabe destacar que con el fin de ampliar y mejorar la cobertura de las redes de monitoreo, durante el mes de abril se llevo a cabo la instalación de una termocupla en el campo fumarólico lateral del volcán Puracé, así como de un nuevo inclinómetro en el sector conocido como Agua Blanca. A partir del análisis de la información de los diferentes parámetros monitoreados durante el semestre I de 2012, el OVS Popayán mantiene el nivel de actividad volcánica del volcán Puracé en **NIVEL IV: VOLCAN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE.**

En contraste, el nivel de actividad del volcán Sotará presentó una alteración durante el mes de junio de 2012, que es considerado como alto en comparación con el registro instrumental de actividad sísmica con que cuenta este volcán desde el año 1993. Entre el 24 y el 30 de junio de 2012 la red de estaciones sismológicas con que cuenta el volcán Sotará, registró un total de 744 eventos sísmicos asociados con procesos de fractura, la mayoría de estos eventos se caracterizó por ser de muy bajo nivel energético, no obstante, también se registró un total de 4 sismos con magnitudes entre 2.0 y 2.1 M_L en la escala de Richter. Los datos registrados por los inclinómetros electrónicos instalados en el volcán Sotará, se han caracterizado por presentar fluctuaciones de muy baja magnitud durante los últimos seis meses, variaciones que no han presentado hasta el momento relación alguna con cambios en los demás parámetros de monitoreo, sin embargo, se hace necesario un mayor tiempo de observación que permita establecer una relación entre tales cambios, y los de las demás técnicas de vigilancia volcánica, por lo tanto, el OVS Popayán mantiene para el volcán Sotará el nivel de actividad volcánica en **NIVEL IV: VOLCAN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE.**



1. VOLCÁN NEVADO DEL HUILA.



Figura 1: Volcán Nevado del Huila visto desde el costado norte del edificio volcánico. Imagen captada durante sobrevuelo efectuado el 14 de enero de 2012.

El volcán Nevado del Huila (Figura 1) se localiza en límites de los departamentos del Cauca, Huila y Tolima, en las coordenadas geográficas $2^{\circ}55' N$ y $76^{\circ}03' W$, a una distancia aproximada de 90 *km* al NE de Popayán.

Este complejo volcánico presenta una forma elongada en dirección N-S, con ejes basales de 16 y 11 *km*, respectivamente. Su cima está cubierta por un casquete glaciar de 10 *km*², en la que sobresalen los Picos Norte, La Cresta Central y Sur, dispuestos en dirección N-S; los domos Cerro Negro y El Morrillo, descubiertos en el sector sur, a raíz del retroceso glaciar de los últimos años; además del domo extruído en los procesos eruptivos ocurridos en noviembre de 2008 y octubre de 2009, el cual se halla emplazado en la parte alta del edificio volcánico entre los Picos Central y Sur.

El Pico Central, que se caracteriza por tener una altura de 5364 *msnm* (máxima altura del complejo volcánico), se constituye además en la máxima altura de la cadena montañosa de los Andes en Colombia y en el eje central de la actividad volcánica del Nevado del Huila, dado que, en él se concentran los principales focos de actividad sísmica y fumarólica que presenta el edificio volcánico.

El volcán Nevado del Huila entró en proceso de reactivación en febrero de 2007; a partir de esa fecha se han registrado tres erupciones que han conllevado al emplazamiento de un domo lávico en la parte alta del edificio volcánico. Durante este tiempo, el volcán ha presentado periodos alternados de actividad volcánica alta y de relajación. Actualmente se halla en un periodo de relajación iniciado en noviembre de 2010; por tanto, el comportamiento presentado durante el mes de junio de 2012 se caracterizó por mantener una tendencia estable, con bajos niveles de actividad sísmica y pequeñas emisiones de dióxido de azufre (SO_2) a la atmósfera.



1.1. Red de Vigilancia.

La red de vigilancia del volcán Nevado del Huila está compuesta por diversos instrumentos, que se emplean para medir parámetros mediante técnicas tales como: geofísica, geoquímica y geodesia. Durante todo el año se hace un seguimiento al desempeño de toda la red de vigilancia, el cual se evalúa en términos porcentuales. Para el semestre I de 2012 se tuvo un buen nivel de funcionamiento, con un valor del 93.2 %.

1.1.1. Red de estaciones sísmicas.

Durante el primer semestre de 2012, el OVS-Popayán contó con una red operativa de cuatro estaciones sísmicas. La estación triaxial de Corto Período denominada Verdún2 (VER2), instalada en el extremo norte del edificio volcánico, a 5.5 *km* del Pico Central; y tres estaciones triaxiales de Banda Ancha ubicadas en el sector sur: Buco (BUCB), a 11.2 *km* del Pico Central, Maravillas (MARB), a 12.6 *km* del Pico Central, y Caloto (CALB), a 3.7 *km* del Pico central. El promedio de funcionamiento de la red de estaciones sísmicas fue de 90.9 %.

1.1.2. Red de estaciones de monitoreo de flujos de lodo.

La red de estaciones de flujos de lodo fue instalada en octubre de 2006 bajo el convenio interinstitucional suscrito entre INGEOMINAS (OVS-Popayán), la Corporación NASA KIWE, la DGPAD y la alcaldía de Páez, con el objetivo de monitorear y detectar posibles cambios volumétricos en los caudales de los ríos Páez y Símbola; actualmente se compone de siete estaciones instaladas a lo largo de las cuencas de los mencionados ríos. Durante los seis primeros meses del 2012, esta red se mantuvo operativa casi en su totalidad y su nivel de funcionamiento fue del 91.5 %.

1.1.3. Cámaras web.

Son instrumentos que se utilizan para el monitoreo de la actividad superficial y se encuentran ubicados en el extremo sur del edificio volcánico, en los sectores de Tafxnú (resguardo de Taravira, 21 *km* al sur del Pico Central), Maravillas (12.6 *km* al sur-oriente del Pico Central) y Caloto (3.7 *km* del domo que emergió en noviembre de 2008). Las cámaras web tuvieron un buen nivel de funcionamiento en el primer semestre de 2012, con un porcentaje promedio del 94.3 %.

1.1.4. ScanDOAS.

Con el fin de monitorear las emisiones de SO_2 del volcán Nevado del Huila, se cuenta con una estación ScanDOAS, la cual se encuentra instalada a 52 *km* al NW del Pico Central. Esta estación se mantuvo operativa al 100 % durante el semestre I de 2012.

1.1.5. Deformación volcánica.

Para la vigilancia de la deformación del edificio volcánico, se dispone de un inclinómetro electrónico denominado Caloto, el cual se encuentra ubicado a 3.7 *km* al S-SW del Pico Central y a una altura de 4188 *msnm*. Durante el primer semestre de 2012 este equipo de monitoreo presentó un buen nivel de funcionamiento, con un porcentaje del 97.1 %.

1.1.6. Sensor acústico.

Esta estación se encuentra equipada con un micrófono mediante el cual se obtienen registros acústicos relacionados con la actividad volcánica. Este equipo se encuentra instalado a 4.0 *km* al SW del Pico



Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altura (msnm)	Distancia al Pico Central (km)	Operativa
Diablo	Corto Periodo Triaxial	2.973640	76.064670	4000	6.26 NW	No
	Inclinómetro Electrónico					No
	Acústica					No
Verdún 2	Corto Periodo Triaxial	2.972340	76.035330	4544	4.8 N	Sí
Buco	Banda Ancha	2.826550	76.054820	2310	11.13 SW	Sí
	Estación Flujos de lodo	2.801460	76.057800	2100	14.14 SW	Sí
Maravillas	Banda Ancha	2.839750	75.951070	2207	12.8 SE	Sí
	Cámara WEB	2.838340	75.951550	2194	13.29 SE	Sí
Caloto	Banda Ancha	2.890157	76.042657	4184	4.04 SW	Sí
	Cámara WEB	2.890157	76.042657	4184	4.04 SW	Sí
	Inclinómetro Electrónico	2.890157	76.042657	4184	4.04 SW	Sí
	Acústica	2.890157	76.042657	4184	4.04 SW	Sí
Tafxnú	Cámara WEB	2.728150	76.043700	2410	22 SW	Sí
Aurora	Estación Flujos de lodo	2.775540	75.959780	1904	18.59 SE	Sí
Calderitas	Estación Flujos de lodo	2.738550	75.969130	1757	22.01 SE	Sí
Cohetandiyó	Estación Flujos de lodo	2.737150	76.030480	1842	21.00 S	Sí
Muralla	Estación Flujos de lodo	2.652640	75.997730	2420	30.63 S	Sí
Pueblo Nuevo	Estación Flujos de lodo	2.759630	75.961420	1872	20.13 SE	Sí
Tóez	Estación Flujos de lodo	2.776520	76.052300	1987	16.77 S	Sí
Cali	Estación ScanDOAS	3.372113	76.529791	998	74.11 NW	Sí
Manantial	Estación ScanDOAS	2.996890	76.493840	1159	51.78 W	Sí

Tabla 1: Características de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila.

Central, y presentó un buen nivel de funcionamiento durante los seis primeros meses del 2012 con un porcentaje del 92 %.

La Tabla 1 describe las características de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila en cuanto a localización y operatividad.

1.2. Sismología

La red de monitoreo sísmico del volcán Nevado del Huila cuenta con cuatro estaciones sismológicas, 3 de ellas equipadas con sensores de Banda Ancha y una con un sensor de Corto Periodo, las cuales, se encuentran distribuidas en los sectores norte (Verdún) y sur (Buco, Maravillas y Caloto) del edificio volcánico. En la Figura 2 se muestra la distribución geográfica de las estaciones que componen esta red de monitoreo.

1.2.1. Actividad Sísmica.

Durante el primer semestre del año 2012, la actividad sísmica del volcán Nevado del Huila (V.N.H.) se caracterizó por permanecer en niveles bajos, así como por continuar estando predominantemente relacionada con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos. El total de eventos sísmicos registrados por la red de estaciones sismológicas del V.N.H. durante el periodo evaluado, fue de 2263, de los cuales, 776 estuvieron asociados a fracturamiento de roca (tipo VT) y 1487 a tránsito y movimiento de fluidos en los conductos volcánicos; de estos últimos, 1241 se catalogaron como eventos de Largo Periodo (tipo LP), 114 estuvieron relacionados tanto a procesos de fractura como a dinámica de fluidos y fueron clasificados como tipo Híbrido (HB), 2 eventos como sismicidad de Largo Periodo de baja frecuencia espectral (BF), y 130 pulsos de tremor de baja magnitud (TR).

La Figura 3 muestra la tendencia mostrada por la actividad sísmica del volcán Nevado del Huila en cuanto al número de eventos sísmicos registrados diariamente durante todo el semestre; en ella se puede apreciar que excepto por los meses de enero y marzo, en los cuales se presentó un leve aumento en la

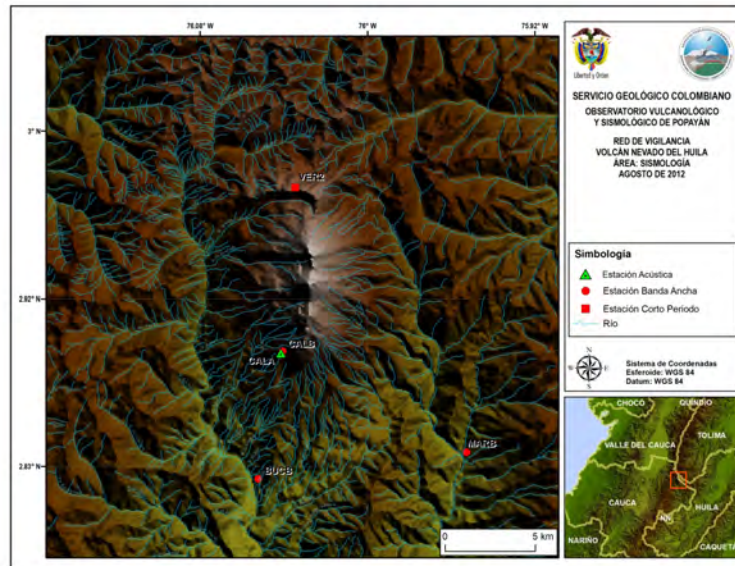


Figura 2: Red de vigilancia en sismología del volcán Nevado del Huila. Primer semestre de 2012.

frecuencia de ocurrencia de la sismicidad relacionada con la dinámica de fluidos, el número de eventos registrados diariamente no presento variaciones a destacar. La Tabla 2 resume el número de sismos registrados diariamente según el mecanismo generador para los eventos sísmicos registrados entre el 1 de enero y el 30 de junio del año 2012.

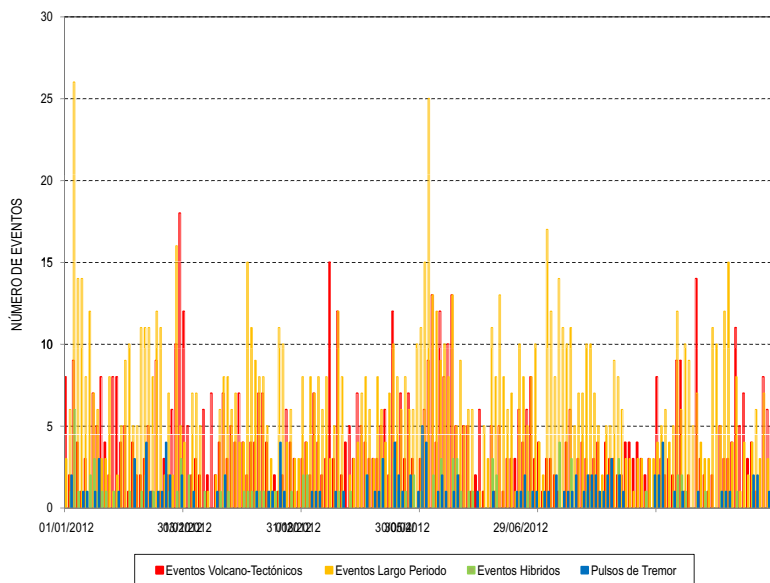


Figura 3: Número de eventos registrados diariamente en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.



Fecha	Tipos de eventos				
Número de eventos registrados en el volcán Nevado del Huila entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2012.	VT	LP	HB	TR	BF
	776	1241	114	130	2

Tabla 2: Número de eventos sísmicos registrados en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.

1.2.2. Energía sísmica liberada.

La tendencia en las curvas de energía sísmica liberada durante el primer semestre del año 2012, presentó una relación directa tanto con la variación en el número de eventos sísmicos registrados diariamente, como con la ocurrencia de sismos con duraciones destacadas. Aunque la actividad sísmica relacionada con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos predominó a lo largo del periodo evaluado, la ocurrencia de sismos de fractura con duraciones superiores a los promedios alcanzados durante el semestre, permitió que este tipo de procesos realizaran liberaciones importantes y puntuales de energía sísmica, particularmente los días 9 de febrero y 15 de marzo, en los cuales se alcanzaron valores de $7.90E+15$ ergios y de $9.03E+16$ ergios, el primero de ellos asociado con la ocurrencia de cuatro eventos sísmicos con duraciones entre 10 y 122 segundos, mientras que el segundo se presentó asociado al registro de siete sismos con duraciones entre 16 y 201 segundos. Los aportes energéticos realizados de manera diaria por la actividad sísmica asociada con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos, fueron en su mayoría superiores a los de la sismicidad de fractura exceptuando los días mencionados anteriormente; el máximo valor de energía sísmica liberada se registro el día 14 de enero con un valor de $3.35E+13$ ergios, asociado al registro de dos eventos LP con duraciones entre 17 y 62 segundos.

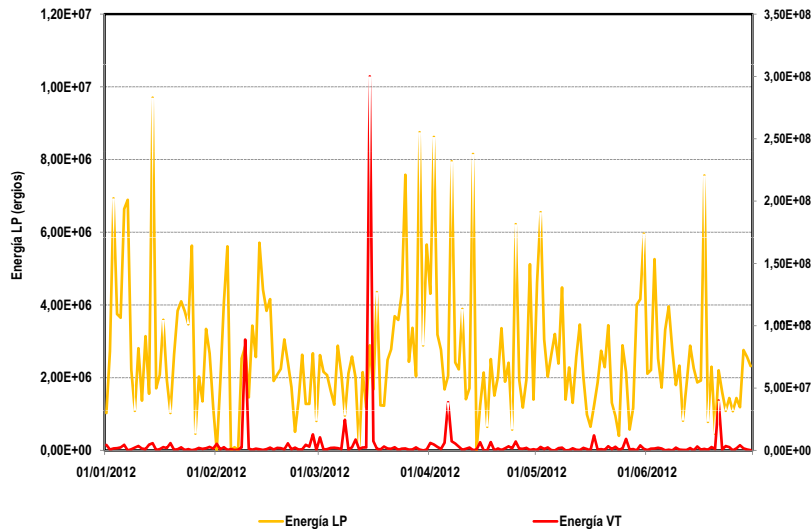


Figura 4: Gráfica de energía sísmica liberada diariamente por eventos VT y LP en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.

En cuanto al comportamiento de la energía sísmica liberada de forma acumulada, se destaca que los aportes energéticos puntuales realizados por la actividad de fractura durante el periodo evaluado, fueran finalmente más representativos que los realizados por los eventos de fluidos, alcanzando un valor



de energía sísmica acumulada de $1.03E+17$ ergios, en contraste con un aporte acumulado de $1.89E+15$ ergios de la actividad LP.

Las variaciones descritas anteriormente se ilustran en las gráficas de las Figuras 4 y 5, en ellas, se pueden apreciar claramente los periodos en los que la actividad volcánico tectónica supero los aportes energéticos diarios de la actividad de Largo Periodo, logrando que al final del periodo evaluado los valores de energía sísmica acumulada fueran superiores.

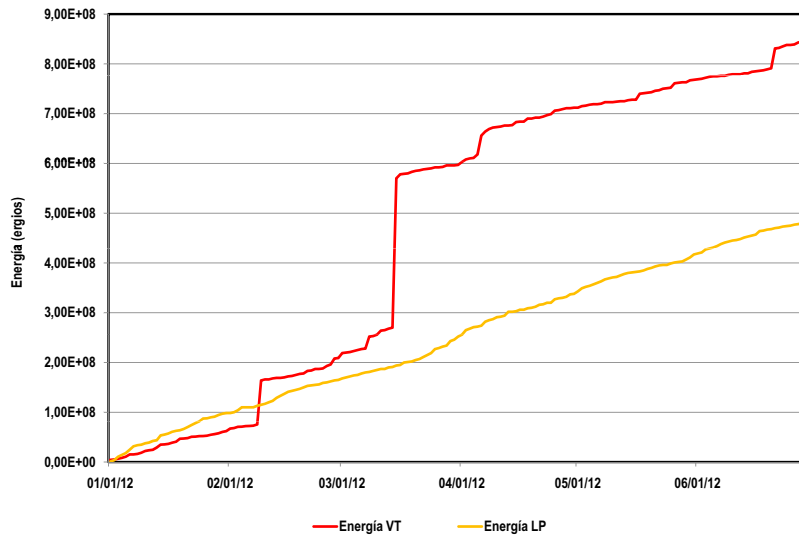


Figura 5: Gráfica de energía sísmica liberada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.

Nota: La energía diaria es graficada en razón de su raíz cuadrada y se ha separado en diferentes escalas para la energía de eventos VT y LP - HB, para facilitar su análisis y visualización.

1.2.3. Localización de eventos sísmicos.

1.2.3.1. Localización de sismicidad asociada a procesos de fractura. Durante el primer semestre de 2012 fueron localizados 443 sismos asociados a procesos de fractura en el volcán Nevado del Huila. Para este periodo, el área en la que se tuvo más recurrencia de eventos sísmicos continuo siendo el sector suroccidental del edificio volcánico, el cual se caracterizó por concentrar actividad sísmica en un amplio rango de profundidad, oscilando principalmente entre los 3 y los 12 km, aunque se presentó con más recurrencia a profundidades de entre 6 y 9 km. Los eventos localizados en esta fuente sismogénica, alcanzaron valores de magnitud local promedio de 0.9 en la escala de Richter, no obstante, durante el semestre se registraron en este sector eventos con magnitudes locales entre 2.6 y 3.6 en la escala de Richter. A lo largo del semestre también se localizó de manera recurrente aunque en menor proporción, sismicidad focalizada en los siguientes tres sectores: el primero de ellos bajo el edificio volcánico, especialmente en el área comprendida entre los Picos Norte y Central, el segundo hacia el costado oriental del volcán, y el tercero, hacia la parte nororiental del mismo. En el primer sector, los eventos presentaron una variación hipocentral que oscilo entre 1 y 6 km, y alcanzaron un valor máximo de magnitud local de 3.6 en la escala de Richter; la cual corresponde a un eventos sísmico registrado el día 9 de febrero, siendo esta la máxima magnitud registrada durante el semestre; de igual

forma, los eventos que se presentaron en el costado oriental se caracterizaron por presentar hipocentros con un promedio de 6 km de profundidad preferencial de generación, y una magnitud local máxima alcanzada de 3.3 en la escala de Richter,. Finalmente, los eventos sísmicos focalizados en el sector nororiental, se caracterizaron por ocurrir en un rango hipocentral somero de entre 2 y 4 km, y alcanzar una magnitud local máxima de 1.9 en la escala de Richter.

En la Figura 6 se puede apreciar el mapa de localización que muestra la distribución hipocentral y epicentral de la sismicidad localizada durante el primer semestre de 2012; en él se puede observar la distribución de las fuentes sismogénicas descritas anteriormente, al igual que los sectores en los que ocurrieron eventos sísmicos de manera aislada, los cuales se caracterizaron por tener epicentros lejanos al edificio volcánico, y ocurrir a profundidades de hasta 18 km. En la Figura 7 se grafican las magnitudes locales de los eventos sísmicos localizados, observándose que la mayoría de ellos alcanzaron valores de magnitud entre 0.1 y 2.0 en la escala de Richter, apreciándose igualmente que la ocurrencia de eventos sísmicos con valores destacados de magnitud se presentaron de manera aleatoria a lo largo del periodo evaluado, sin que se presentaran cambios en la tendencia de las mismas, antes o después de que se registraran dichos eventos.

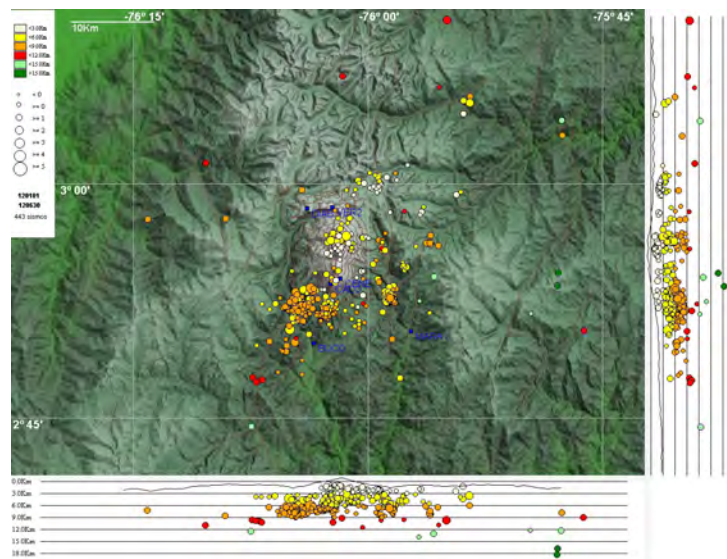


Figura 6: Mapa de localización de eventos de fractura registrados en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.

1.3. Deformación.

El monitoreo en deformación volcánica permite cuantificar y cualificar las deformaciones volcánicas, mediante el procesamiento, sistematización, análisis e interpretación de los datos tomados en campo y adquiridos teleméricamente, para llevar un control comparativo, que ligado estrechamente al comportamiento sísmico, geofísico, químico y geológico de un volcán, permita determinar el grado y la cantidad de deformación sufrida por el edificio volcánico, en un período determinado.

Para medir los procesos deformativos que ocurren en un volcán (inflación o deflación), se emplean métodos geodésicos y topográficos de alta precisión (estaciones GNSS permanentes, vectores de nive-

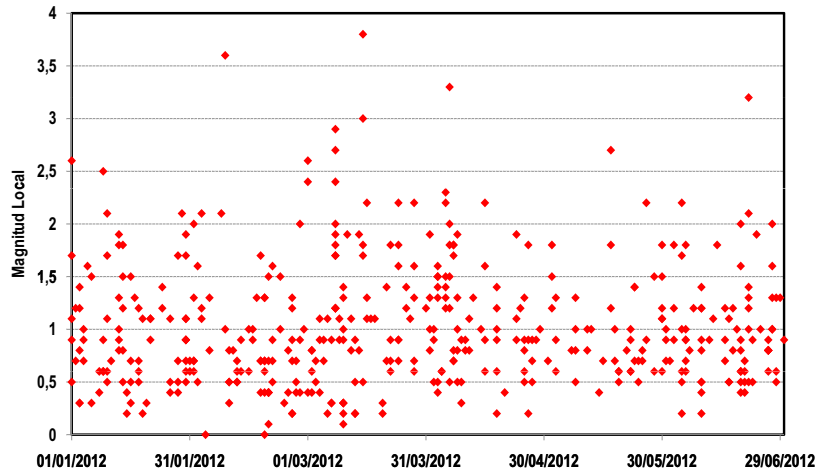


Figura 7: Dispersión de los valores de magnitud local para los eventos de fractura localizados en el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.

lación, EDM, entre otros) y métodos electrónicos de alta sensibilidad (inclinómetros electrónicos); ya que las deformaciones volcánicas son muy pequeñas, del orden de los *mm*, décimas y centésimas de *mm* y en microradianes.

En la actualidad el volcán Nevado del Huila, cuenta con un inclinómetro electrónico ubicado en el sector denominado Caloto. El mapa de la Figura 8 muestra la localización geográfica de este equipo de monitoreo.

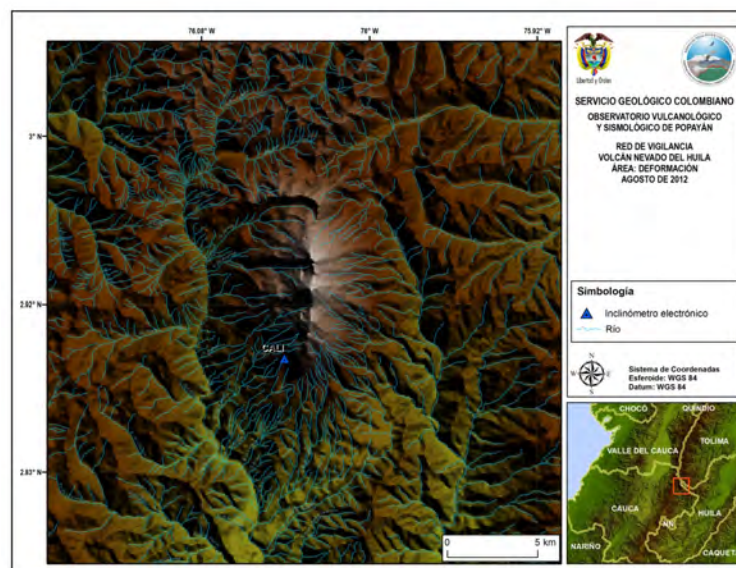


Figura 8: Equipo para el monitoreo en deformación del volcán Nevado del Huila. Primer semestre de 2012.



1.3.1. Inclínometría electrónica.

Durante el primer semestre del año 2012, se contó con el funcionamiento del inclinómetro Caloto en el volcán Nevado del Huila, este inclinómetro se encuentra generando líneas base para posteriormente definir una comportamiento.

1. *Inclinómetro Caloto:*

Localizado a 3.7 km al S-SW del pico central del volcán Nevado del Huila (4188 *msnm*), desde su instalación la componente *norte* muestra una tendencia ascendente con un acumulado hasta la fecha de 40 μ rad mientras que la componente *este* presenta ligeras variaciones alrededor de su línea base. Este comportamiento se asocia a variaciones causadas por fenómenos atmosféricos como la lluvia. Su funcionamiento durante el primer semestre de 2012 fue del 33 % (Figura 9).

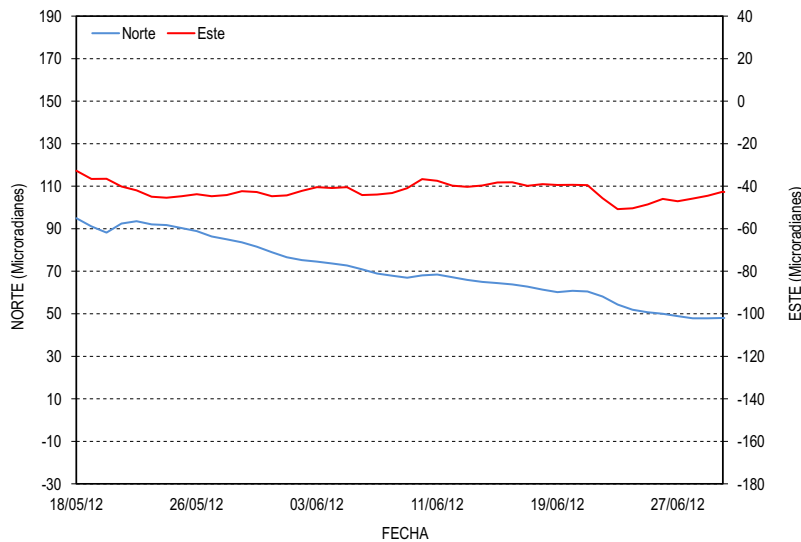


Figura 9: Comportamiento del inclinómetro electrónico Caloto hasta junio de 2012.

1.4. Actividad Superficial.

Durante el primer semestre de 2012 se realizó el monitoreo de la actividad superficial asociada a la dinámica interna del volcán, a través de las cámaras web instaladas en el edificio volcánico y su área de influencia: Taxfnú, Maravillas y Caloto, esta última instalada el 21 de mayo para apoyar las labores de vigilancia desde el costado sur-occidental del edificio a 3.7 km del domo emplazado sobre el Pico Central. El mapa de la Figura 10 permite apreciar la distribución geográfica de dichas cámaras.

1.4.1. Cámaras de seguimiento superficial.

En las imágenes captadas durante el I semestre, fue posible observar algunas descargas del sistema en forma de columnas fumarólicas de color blanco, las cuales alcanzaron alturas menores a dos kilómetros (2.0 km), emitidas principalmente desde la superficie del cuerpo dómico y desde grietas localizadas sobre el Pico Central. En algunas ocasiones, estas columnas presentaron una tendencia preferencial de

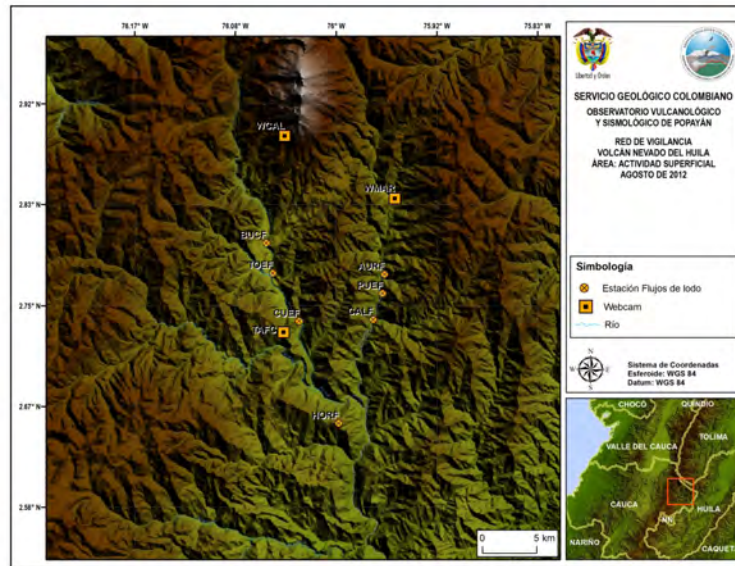


Figura 10: Mapa de localización de las cámaras web para monitoreo de la actividad superficial en el volcán Nevado del Huila. Semestre I de 2012.

dispersión hacia el costado occidental y noroccidental (NW-SW) del edificio, esto debido al patrón de vientos predominante en la zona. Cabe resaltar que esta actividad fumarólica se asocia principalmente a vapor de agua y puede estar acompañada por emisiones de gases.

Debido a las condiciones climáticas de la zona durante el primer semestre de 2012, fue posible captar algunas imágenes con línea de vista al edificio volcánico en horas de la mañana y al caer la tarde, en una escala de tiempo entre las 5:30 am y las 6:30 pm. Algunas de las imágenes captadas por las cámaras web del volcán Nevado del Huila se presentan en las Figuras 11, 12 y 13.

1.4.2. Sobrevuelos.

Por medio de los sobrevuelos que se realizan a la zona de influencia del volcán con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), el OVS-Popayán hace un seguimiento especial a los diferentes cambios morfológicos y estructurales del edificio volcánico y sus alrededores, a fin de obtener información complementaria para el desarrollo de las labores de vigilancia volcánica. El día 14 de enero de 2012, fue posible realizar un sobrevuelo que permitió continuar con el seguimiento que se le venía haciendo al emplazamiento de los domos extruidos en noviembre de 2008 y octubre de 2009, así como de la actividad en las fuentes fumarólicas y de emisiones de material a superficie. Los principales cambios observados a través de los registros filmicos y fotográficos obtenidos en cada sobrevuelo se detallan en las Figuras 14, 15 y 16.

1.5. Geoquímica y Físicoquímica.

Las medidas de concentración de Dióxido de Azufre (SO_2) constituyen una importante herramienta para el proceso de vigilancia y monitoreo de un complejo volcánico, toda vez que este compuesto químico en estado gaseoso se halla presente en las columnas de gases emitidas por los volcanes activos

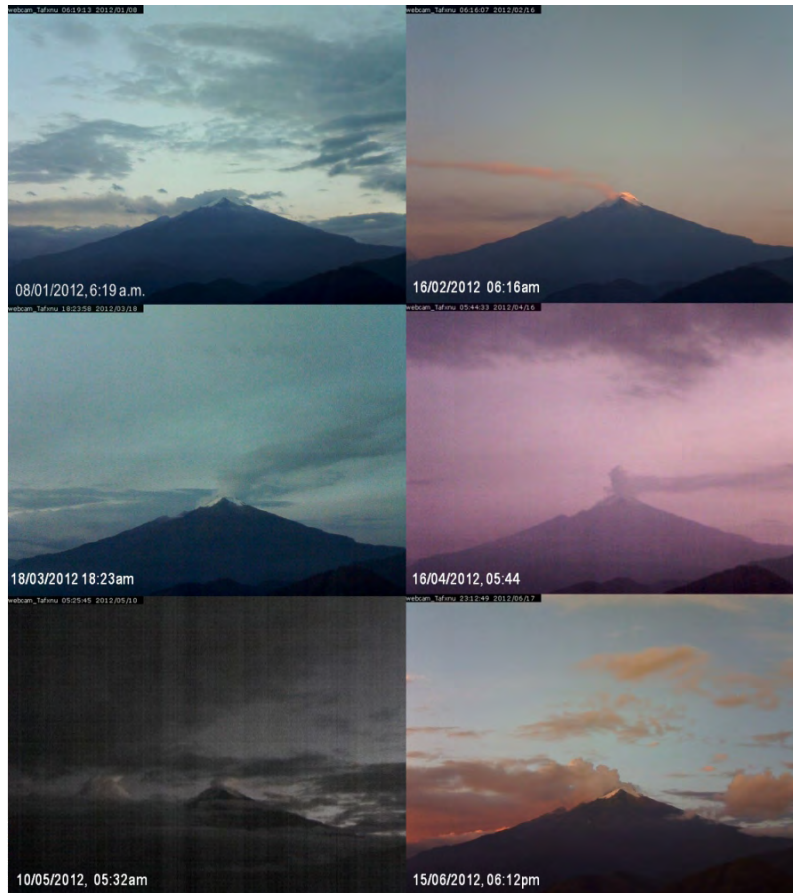


Figura 11: Imágenes del volcán Nevado del Huila captadas por la cámara web Tafxnú durante el primer semestre de 2012.

y algunas veces se relacionan con incrementos en la actividad sísmica interna y/o superficial del mismo, o con procesos eruptivos en evolución.

Dentro del proceso de monitoreo y estudio de los gases en el volcán Nevado del Huila, se vienen empleando técnicas de medición conocidas como el DOAS (Differential Optical Absorption Spectrometer -MovilDOAS), y FLYSPEC (Espectrómetro ultravioleta de correlación), la primera de ellas se viene realizando de manera periódica desde el 2007, en las carreteras del norte del Cauca y suroriente del Valle, la segunda técnica se implementó desde el primer semestre de 2010

1.5.1. Medidas móviles de flujo de SO_2 .

Durante el I Semestre de 2012 en el Volcán Nevado del Huila se realizaron 6 mediciones del flujo de SO_2 a través de la técnica MobileDOAS, el valor máximo obtenido se realizó el día 20 de marzo, sobre la vía Panamericana entre las poblaciones de Florida (Valle del Cauca) y Santander de Quilichao; en ella El flujo total fue estimado fue de 611 toneladas diarias con una velocidad del viento de 5.8 m/s en una

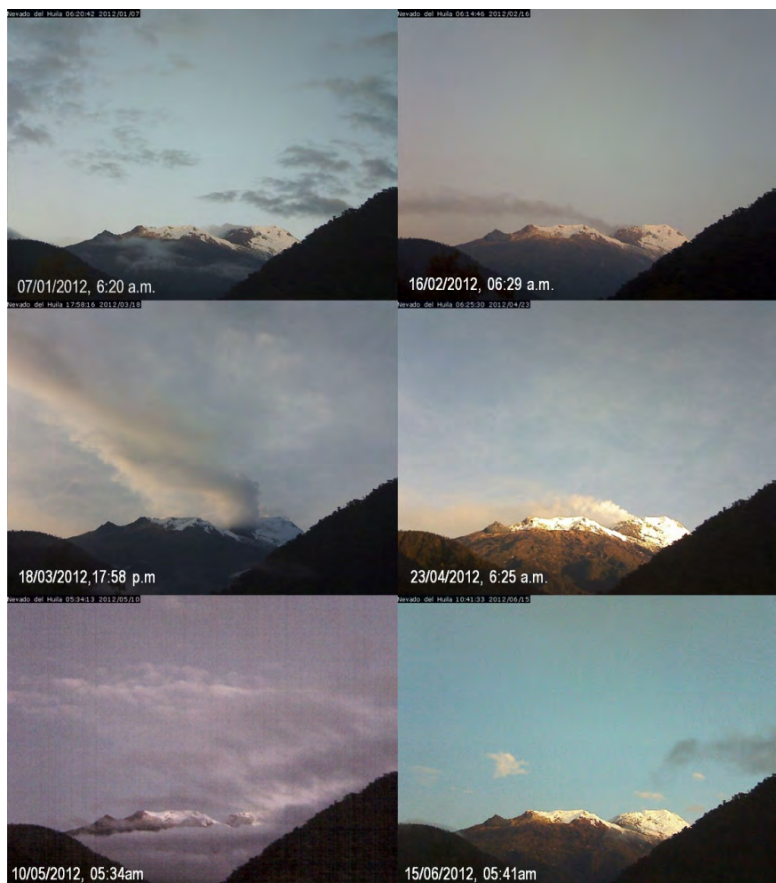


Figura 12: Imágenes del volcán Nevado del Huila captadas por la cámara web Maravillas durante el primer semestre de 2012.

columna con dispersión preferencial hacia el noroccidente del edificio volcánico, y cuyo espectrograma se muestra en la Figura 17.

Los detalles de las mediciones realizadas durante el primer semestre de 2012 y el resultado de los cálculos efectuados a los flujos de dióxido de azufre se compilan en la Tabla 3.

En la Figura 18 se muestran los valores de flujos de SO_2 calculados durante el I semestre 2012; el área sombreada resalta las seis (6) mediciones realizadas durante este periodo. Estos valores muestran a un sistema con bajos aportes de dióxido de azufre SO_2 a la atmosfera, el cual se sostiene, comparándolo con lo históricamente registrado en estados de crisis (2007-2008) y post-crisis (2009-2011) para este volcán, (valores menores a las ≤ 800 t/día).

Los flujos de SO_2 fueron calculados con valores de velocidad del viento reportados por el Modelo WRF (Weather Research and Forecasting), pronóstico diario suministrado por el IDEAM para el volcán Nevado del Huila. Teniendo en cuenta la altura del edificio volcánico (5365 msnm) se asumen las velocidades del modelo a 18000 pies, las cuales se presentan en nudos y se convierten en m/seg.

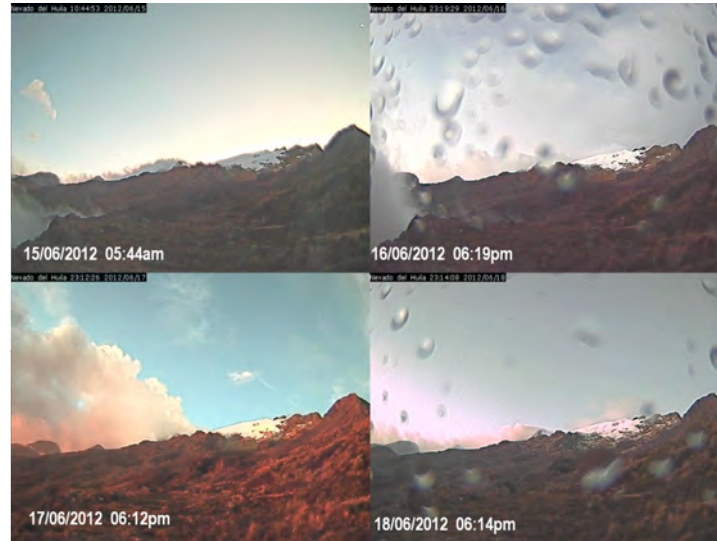


Figura 13: Imágenes del volcán Nevado del Huila captadas por la cámara web Caloto durante el primer semestre de 2012.



Figura 14: Panorámica del volcán Nevado del Huila tomada desde el SW del edificio volcánico.

Durante el primer semestre de 2012 las velocidades alcanzaron valores entre los 2.5 a 10.5 m/seg, como se puede observar en la Figura 19.



Figura 15: Parte alta del edificio volcánico donde se aprecia el domo lávico que se emplaza entre los Picos Central y Sur.



Figura 16: . Detalle del domo y del material estruido (espinas), acompañado de focos de emisión de gases.

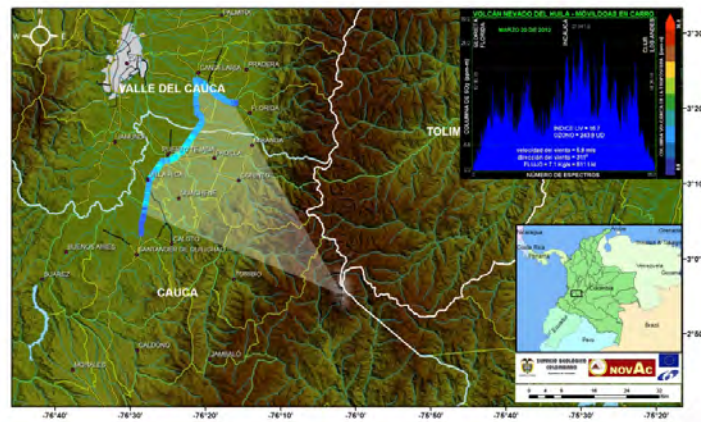


Figura 17: Espectrograma de la medida móvil de flujo de SO_2 emitido por el volcán Nevado del Huila, realizada el 20 de marzo de 2012.



Fecha	Recorrido	Columna SO_2 Max (ppm-m)	Dirección del Viento (°)	Velocidad del Viento (m/s)	Flujo SO_2 (t/día)	Flujo SO_2 (kg/día)	Dispersión Columna	Ancho de Columna (km)
05/03/2013	La Agustina - peaje de Villarrica (Cauca)	19.0	285	4.6	184	2.1	NW	25.4
12/03/2012	Mandiva - Santander de Quilichao (Cauca)	30.5	284	5.6	203	2.4	NW	23.2
20/03/2012	Florida (Valle) - Club Los Andes (Cauca)	27.9	311	5.8	611	7.1	NW	57.3
02/04/2012	Santander de Quilichao - Puerto Tejada (Cauca)	17.7	304	7.0	348	4.0	NW	21.7
06/06/2012	Villarrica - Mondomo (Cauca)	13.7	279	2.5	78	0.9	NW	45.4
26/06/2012	Caloto - La Agustina (Cauca)	17.5	275	10.5	185	2.1	NW	17.8

Tabla 3: Resultado de la medición de SO_2 realizada durante el Semestre I de 2012.

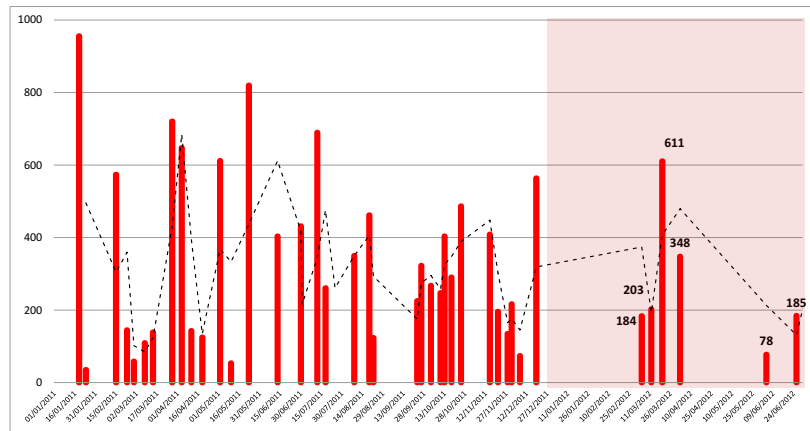


Figura 18: Medidas móviles del flujo de SO_2 emitido por el volcán Nevado del Huila hasta junio de 2012.

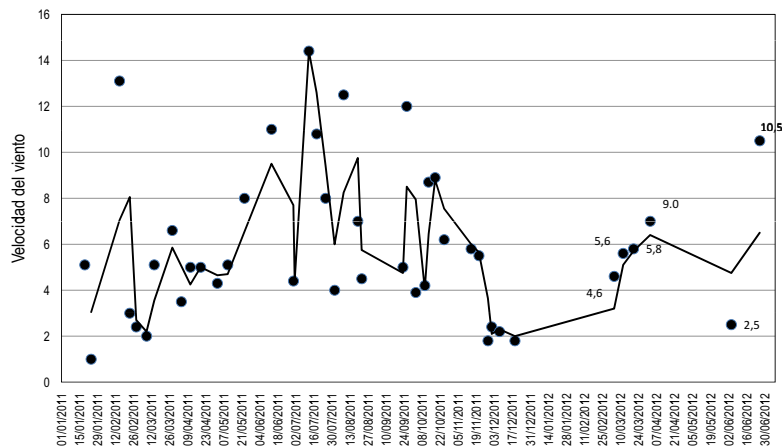


Figura 19: Velocidad del viento según modelo WRF para el volcán Nevado del Huila durante el primer semestre de 2012.



Las columnas detectadas de flujo de SO_2 emitido por el volcán Nevado del Huila en el primer semestre de 2012, presentaron una tendencia dominante hacia el costado occidental y noroccidental del edificio tal y como se muestran en los mapas de dispersión reportados en la página web <http://www.ingeminas.gov.co/Popayan/Volcanes/Nevado-del-huila/fisicoquimica/2012.aspx>

1.6. Conclusión.

De acuerdo al análisis de la información derivada de las diferentes técnicas de vigilancia utilizadas en el monitoreo del volcán Nevado del Huila, se concluye que durante el primer semestre de 2012 los niveles de actividad sísmica continuaron siendo bajos, destacándose el evento sísmico de fractura registrado el día 9 de febrero con magnitud local de 3.6 grados en la escala de Richter, el cual fue localizado entre los picos Norte y Central del volcán Nevado del Huila. Del seguimiento realizado a la actividad superficial, no se registraron cambios en la columna de gases emitida desde la parte alta del volcán. Por lo tanto, el OVS-Popayán mantiene el nivel de actividad en **NIVEL III: CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA.**

2. VOLCÁN PURACÉ.



Figura 20: Volcán Puracé. Imagen captada durante sobrevuelo del 22 de octubre de 2011.

El volcán Puracé se encuentra ubicado en el departamento del Cauca, en las coordenadas geográficas $2^{\circ} 22' N$ y $76^{\circ} 23' W$, a una distancia de 26 *km* al sur-oriente de la ciudad de Popayán; hace parte de la cadena volcánica de los Coconucos, compuesta por 15 centros eruptivos alineados con una orientación 40° nor-occidente - sur-oriente, siendo el Puracé el más joven y septentrional de la cadena (Figura 20).

El Puracé es un estrato-volcán activo, cuyo registro más reciente muestra actividad predominantemente explosiva. Su edificio tiene forma de cono truncado con laderas de 30° de inclinación, presenta un cráter interno y otro externo, ambos concéntricos de 500 *m* y 900 *m* de diámetro, respectivamente.

La actividad fumarólica está concentrada en una grieta que atraviesa el fondo del cráter y en un importante campo fumarólico ubicado en el flanco nor-occidental externo del volcán (denominada Fumarola Lateral). Su actividad volcánica ha sido reportada desde el siglo XVIII, con la ocurrencia de al menos 15 erupciones históricas bien documentadas, las cuales han causado daños materiales y pérdidas de vidas humanas; la última erupción ocurrió en marzo de 1977.

Existen al menos 15 fuentes termales ubicadas alrededor del edificio volcánico, que presentan temperaturas comprendidas entre 20 y 90 $^{\circ}C$, siendo las más destacadas las fuentes termales San Juan, Pilimbalá, Agua Tibia y Agua Hirviendo.



2.1. Red de Vigilancia.

El volcán Puracé cuenta en la actualidad con una red de vigilancia compuesta por 35 estaciones, las cuales se emplean para medir los diferentes parámetros mediante técnicas tales como sismología, deformación, magnetotelúrica, geoquímica y actividad superficial (ver Tabla 4). Esta red presentó un nivel óptimo de funcionamiento durante el primer semestre del 2012, alcanzando el 93.1 %.

2.1.1. Red de estaciones sísmicas.

Durante el primer semestre del año el volcán Puracé contó con una red operativa de diez estaciones sismológicas, seis de ellas de Corto Periodo y cuatro de Banda Ancha. Su promedio de funcionamiento fue de 89.4 %.

2.1.2. Red de deformación.

Esta red se encuentra conformada por cuatro inclinómetros electrónicos, tres estaciones GNSS permanentes, así como una base y tres reflectores EDM. Entre los meses de enero y junio de 2012 todas las estaciones estuvieron operativas, y presentaron un promedio de funcionamiento de 94.8 %.

2.1.3. Cámaras web.

Para el monitoreo de la actividad superficial se cuenta con dos cámaras con conexión IP, las cuales se encuentran instaladas en la estación La Mina (2 km al NW del cráter activo) y en el sector denominado Lavas Rojas (2 km al W del cráter activo). Las cámaras web tuvieron un buen nivel de funcionamiento durante los seis primeros meses del año, con un porcentaje promedio del 98.3 %.

2.1.4. Magnetotelúrica.

Con el fin de monitorear las variaciones tanto del campo natural del potencial eléctrico como del campo magnético local, el volcán Puracé contó durante el mes de febrero con un sensor de potencial eléctrico espontáneo, denominado Cóndor (localizado a 1.1 km al norte del cráter del volcán Puracé), y con un magnetómetro, denominado Laguna (ubicado a 1.3 km al norte de la cima del volcán). Estos equipos presentaron un buen nivel de funcionamiento durante el semestre I de 2012, con un porcentaje del 99.4 %.

2.1.5. Termometría.

Para el monitoreo de las variaciones de temperatura del campo fumarólico lateral, el volcán Puracé cuenta con una termocupla localizada a 0.1 km del cráter. Los tres primeros meses del 2012, este sensor presentó problemas en la telemetría de los datos, por lo cual, el porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre del año fue del 50 %.

2.1.6. Geoquímica.

Durante los seis primeros meses del año se realizó una ampliación de la red para el monitoreo del gas radón, con la instalación de seis nuevas estaciones isotópicas en el área de influencia del volcán Puracé, quedando conformada por un total de 13 estaciones isotópicas, las cuales permanecieron operativas al 100.0 %.

La Tabla 4 describe la metodología y localización de cada una de las estaciones que conforma la red de vigilancia del volcán Puracé.



Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altura (msnm)	Distancia al Cráter (km)
Cocuy	Estación Banda Ancha	2,3202	76,3866	4289	1.4
Cóndor	Estación Banda Ancha	2,3248	-76,3938	4294	1,1
	Estación Corto Periodo				
	Sensor de Potencial Eléctrico Espontaneo	2,3241	-76,3928	4049	1.1
	Estación Isotópica de Radón	2,3248	-76,3947	4317	1.0
Lavas Rojas	Estación Banda Ancha	2,3171	-76,4166	4049	2,0
	Cámara web				
	Estación Corto Periodo	2,3171	-76,4165	4046	2,0
	Inclinómetro electrónico				
	Estación GNSS				
Curiqinga	Estación Banda Ancha	2,3010	-76,3908	4507	1.9
	Inclinómetro electrónico	2,3018	-76,3913	4482	1.8
Agua Blanca	Estación Corto Periodo	2,3108	-76,4005	4374	0.7
	Estación GNSS	2,3105	-76,4005	4380	0.7
La Mina	Estación Corto Periodo	2,3330	-76,4099	4049	2.2
	Base EDM	2,3320	-76,4090	4075	2.1
	Vector de Nivelación	2,3381	-76,4138	3844	2.9
	Cámara web	2,3317	-76,4089	4082	2.0
	Estación Isotópica de Radón	2,3473	-76,4072	3670	3.56
San Rafael	Estación Corto Periodo	2,3771	-76,3527	3518	8.5
	Estación Isotópica de Radón	2,3592	-76,3504	3425	7.16
Shaka	Estación Corto Periodo	2,2873	-76,3756	4445	4.1
Guañarita	Inclinómetro electrónico	2,3251	-76,3964	4248	1,0
	Estación GNSS				
	Estación Isotópica de Radón	2,3229	-76,3953	4393	0.8
Reflector 1RA	Reflector EDM	2,3223	-76,4113	4087	1.5
Reflector 1RB	Reflector EDM	2,3240	-76,4123	4067	1.7
Reflector 1RC	Reflector EDM	2,3256	-76,4135	4019	1.9
Campamento	Vector de Nivelación	2,3821	-76,4210	3050	7.7
Estación	Vector de Nivelación	2,3366	-76,3975	3933	2.2
Pilimbalá	Vector de Nivelación	2,3720	-76,4093	3279	6.3
Vinagre	Vector de Nivelación	2,3297	-76,3993	3938	1.5
Laguna	Magnetómetro	2,3283	-76,3963	4177	1.3
	Estación Isotópica de Radón	2,3279	-76,3954	4196	1.3
Agua Hirviendo	Estación Isotópica de Radón	2,3301	-76,4896	2649	10.2
Agua Tibia	Estación Isotópica de Radón	2,3041	-76,5088	2683	12.3
Tabio	Estación Isotópica de Radón	2,3816	-76,4445	2861	8.8
Base	Estación Isotópica de Radón	2,3318	-76,3941	4056	1.8
Paletará	Estación Isotópica de Radón	2,2074	-76,4977	2986	16.37
Pozo Azul	Estación Isotópica de Radón	2,2867	76,4642	3125	8.0
San Juan	Estación Isotópica de Radón	2,3397	76,3133	3237	9.83
Pululo	Estación Isotópica de Radón	2,3851	-76,43015	2867	8.39
Cráter	Termocupla	2,3166	-76,3959	4545	0.1

Tabla 4: Características de la red de vigilancia del volcán Puracé.

2.2. Sismología

El volcán Puracé cuenta con una red operativa de diez estaciones sismológicas, de las cuales, seis están equipadas con sensores de corto periodo: Cóndor, Lavas Rojas 2, Agua Blanca, Mina, San Rafael y Shaka, así como con cuatro estaciones con sensores de banda ancha: Cóndor, Lavas Rojas, Cocuy y Curiqinga. El mapa de la Figura 21 muestra la distribución geográfica de dichas estaciones.

2.2.1. Actividad Sísmica.

Durante el primer semestre del 2012, la actividad sísmica del volcán Puracé se caracterizó por mantener un predominio en la sismicidad relacionada al movimiento de fluidos al interior de los conductos volcánicos. En el periodo evaluado, la red de estaciones sismológicas instaladas en el volcán Puracé registró un total de 2460 eventos sísmicos, de los cuales, 476 estuvieron asociados con procesos de fracturamiento de roca (tipo VT), y 1984 con la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos; de estos últimos,

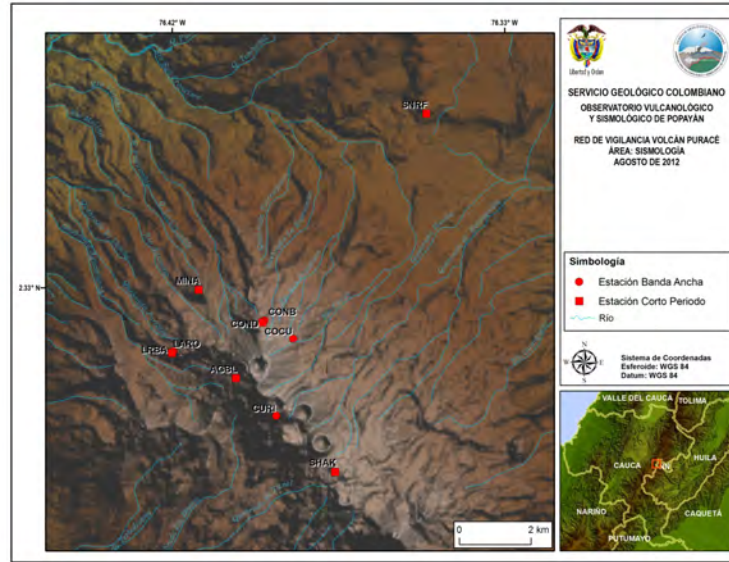


Figura 21: Red de vigilancia en sismología del volcán Puracé. Primer semestre de 2012.

1512 fueron catalogados como eventos de Largo Periodo (tipo LP), 123 eventos asociados tanto a mecanismos de fractura como a dinámica de fluidos (tipo Híbrido), 256 como eventos Tornillo (tipo TO), y 93 como pulsos de Tremor de baja magnitud (tipo TR).

La Tabla 5 y la Figura 22, detallan el comportamiento sísmico en cuanto a la ocurrencia de eventos sísmicos registrados en el volcán Puracé durante el periodo evaluado. En la gráfica de la Figura 22 se aprecia que la ocurrencia diaria de eventos asociados a la dinámica de fluidos no presento variaciones a destacar, excepto durante los meses de enero y marzo, cuando se presentó un leve aumento en la frecuencia de ocurrencia de este tipo de sismicidad.

Fecha	Tipos de eventos				
	VT	LP	HB	TO	TR
Número de eventos registrados en el volcán Puracé entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2012.	476	1512	123	256	93

Tabla 5: Número de eventos sísmicos registrados en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.

2.2.2. Energía sísmica liberada.

El aporte energético realizado durante el primer semestre del 2012, tanto por la sismicidad asociada a procesos de fractura, como por aquella relacionada a la dinámica de fluidos en los conductos volcánicos, se caracterizó por mantenerse en niveles considerados como bajos, mostrando un comportamiento estable, como se puede observar en las Figuras 23 y 24.

En la Figura 23 se aprecia que la energía liberada diariamente por la actividad sísmica asociada con la dinámica de fluidos fue, en su mayoría, superior a librada por la sismicidad de fractura. Se observa también que la tendencia de las curvas de energía VT y LP, mantienen respectivamente, una relación directa y coherente con la recurrencia de estos tipos de eventos durante el periodo evaluado; sin embargo, se puede apreciar que los aportes energéticos de ambas clases son equiparables, a pesar

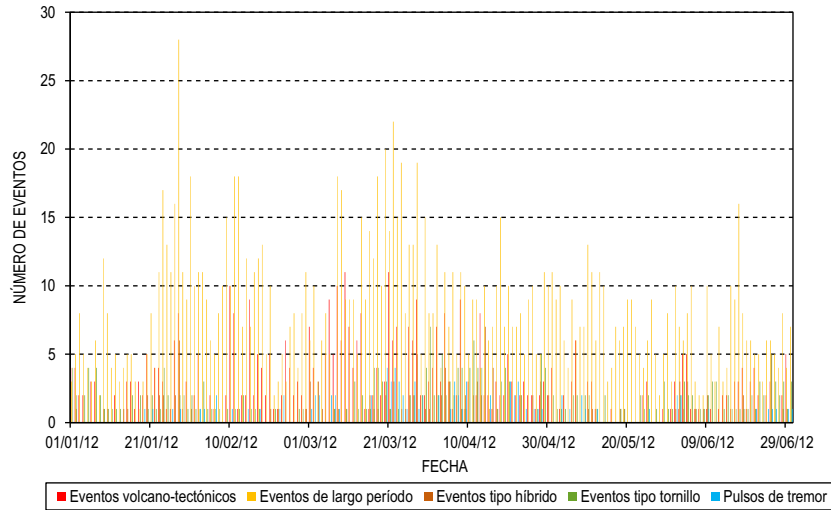


Figura 22: Número de eventos registrados diariamente en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.

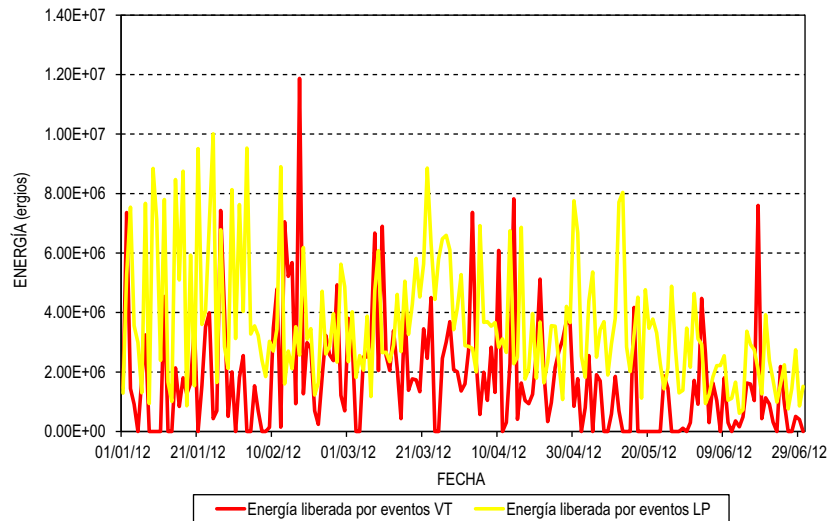


Figura 23: Energía sísmica liberada diariamente por eventos VT y LP en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.

de que el número de eventos de fractura presentado es mucho menor que el LP. Esto que indica que, en general, los sismos VT presentados hicieron un aporte de energía importante.

En la gráfica mencionada se puede observar que durante enero y febrero de 2012, la sismicidad de fluidos mantuvo un nivel mayor de energía sísmica liberada, debido a la ocurrencia de sismos LP con duraciones superiores a los promedios alcanzados durante el semestre; el valor máximo de energía liberada diariamente por la sismicidad de fluidos fue de $1.00E+07$ ergios, alcanzado el día 25 de enero, y que está asociado a la ocurrencia de 13 eventos sísmicos con duraciones de hasta 62 s. Por su parte, la sismicidad tipo VT registró la máxima energía diaria liberada durante el periodo evaluado el día 17

de febrero, alcanzando un valor de $1.19\text{E}+07$, el cual se asocia a cinco sismos con duraciones entre 13 y 45 s.

En cuanto a la tendencia observada en las curvas de energía sísmica liberada de forma acumulada durante el primer semestre del 2012, se evidencia la predominancia de la sismicidad asociada al tránsito de fluidos al interior de los conductos volcánicos durante todo el periodo evaluado, mostrando que las variaciones en los aportes de energía presentadas por la sismicidad VT que superaba el promedio, no fueron representativas. Dicha tendencia puede apreciarse en la gráfica contenida en la Figura 24.

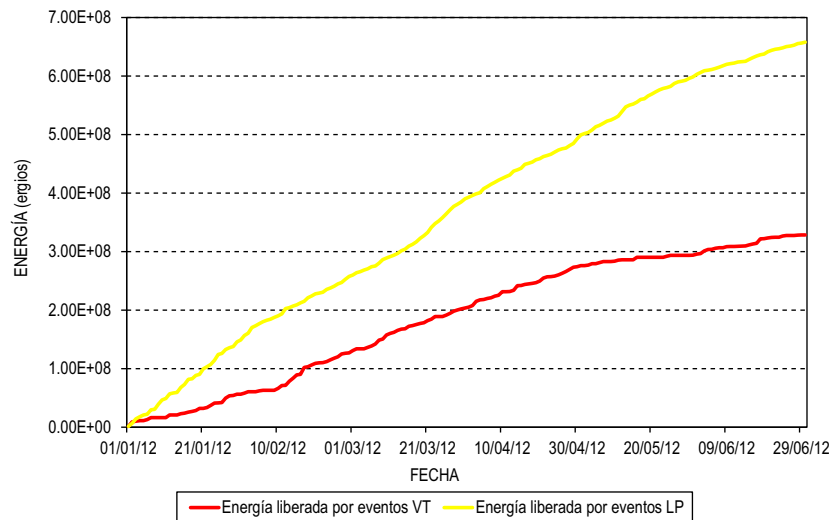


Figura 24: Gráfica de energía sísmica liberada calculada de forma acumulada por eventos VT y LP en el volcán Puracé durante el primer semestre 2012.

2.2.3. Localización de eventos sísmicos.

2.2.3.1. Localización de sismicidad de fluidos. Durante el primer semestre de 2012 se realizó la localización epicentral de 1031 eventos sísmicos asociados con la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos, las cuales fueron obtenidas mediante el proceso de atenuación de las amplitudes relativas. De este total, 818 corresponden a localizaciones de eventos catalogados como de Largo Periodo, y 213 de eventos tipo Tornillo (TO). Esta sismicidad, tanto LP como TO, mostró una concentración epicentral restringida a un área de aproximadamente 3 km a partir del cráter activo.

La Figura 25 muestra los mapas de localización epicentral para la sismicidad tipo LP y los eventos tipo Tornillo localizados durante los primeros seis meses del 2012; en ellas se puede apreciar que la actividad de fluidos se mantiene concentrada en el área del cráter.

2.2.3.2. Localización de sismicidad asociada a procesos de fractura. Durante el primer semestre de 2012 se realizó la localización hipocentral y epicentral de 234 eventos sísmicos asociados a procesos de fracturamiento de roca, los cuales se concentraron principalmente en cuatro zonas. La primera de ellas se restringe al edificio volcánico, alrededor del cráter activo; dichos eventos se caracterizaron por ocurrir en un rango hipocentral que oscila entre 1 y 6 km, y por alcanzar un valor máximo de magnitud local de 2.2 grados en la escala de Richter, el cual corresponde a un evento registrado el 21 de marzo, siendo esta la máxima magnitud registrada durante el periodo evaluado. El segundo sector se localizó al norte del edificio volcánico, aproximadamente a 4 km del cráter del

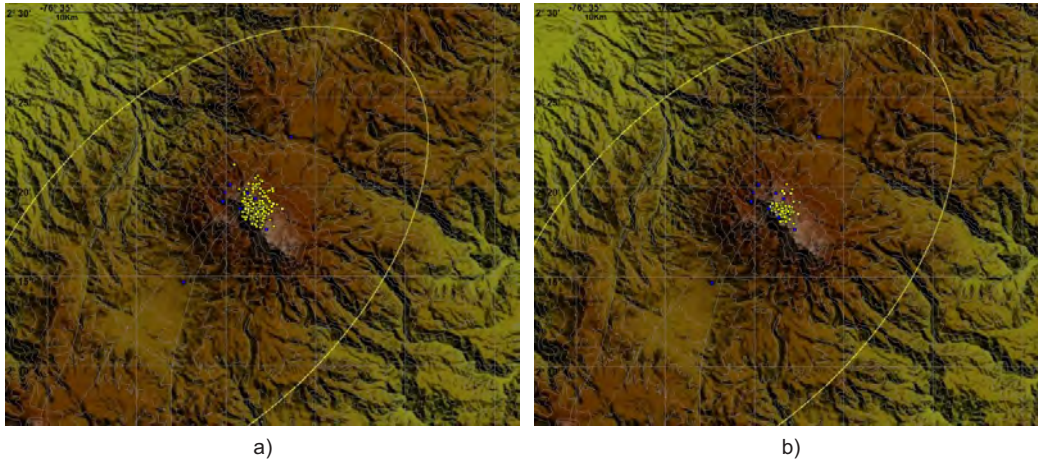


Figura 25: Mapa de localizaciones de eventos asociados a dinámica de fluidos en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012. A) Mapa de localizaciones de eventos tipo LP. B) Mapa de localizaciones de eventos tipo Tornillo.

volcán Puracé; los sismos localizados en esta zona tuvieron un rango hipocentral de carácter superficial que osciló entre 1 y 3 km y no superaron los 0.8 grados M_L . El resto de sismicidad fue localizada en los sectores del valle de Paletará, hacia el sector suroccidente del edificio volcánico, y hacia el sector nororiental del volcán, en el valle de San Rafael, eventos sísmicos que presentaron hipocentros profundos de hasta 15 km y una máxima magnitud local de 1.4 grados.

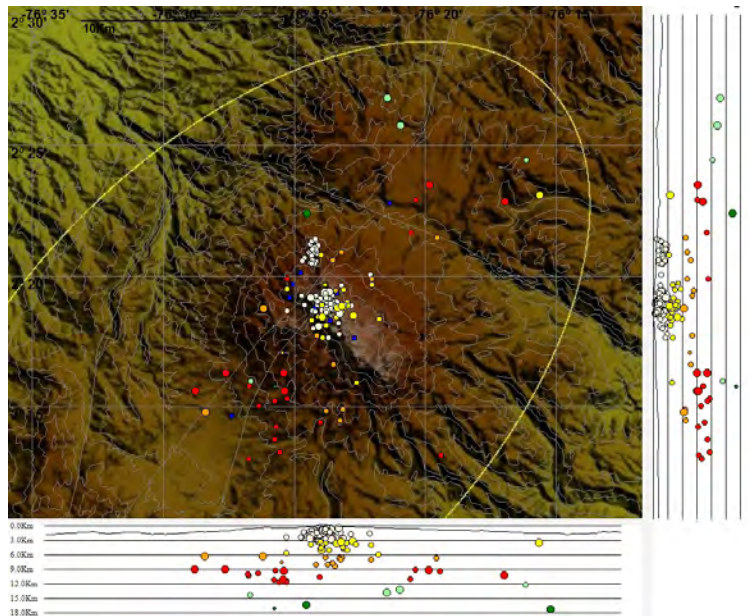


Figura 26: Mapa de localización de eventos de fractura registrados en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.

La Figura 26 muestra el mapa de localización epicentral e hipocentral de los eventos de fractura localizados durante el primer semestre de 2012; en este se puede apreciar la distribución de las fuentes sismogénicas descritas anteriormente, al igual que los sectores en los que ocurrieron eventos sísmicos de manera aislada. En la Figura 27 se muestra la dispersión de la magnitud local de los eventos localizados, en la cual se aprecia que durante el período evaluado los eventos volcano-tectónico se caracterizaron por presentar, en su mayoría, magnitudes locales inferiores a 1.5 grados en la escala de Richter.

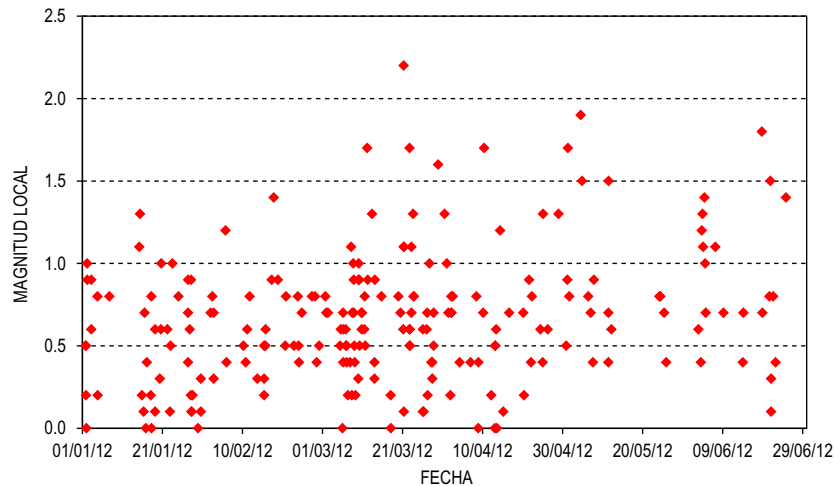


Figura 27: Dispersión de los valores de magnitud local para los eventos de fractura localizados en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.

2.3. Deformación.

Durante el primer semestre de 2012 se contó con el funcionamiento de los cuatro inclinómetros electrónicos y las cuatro estaciones GNSS permanentes y se realizaron mediciones periódicas de control topográfico (EDM). La Figura 28 muestra la distribución geográfica de las diferentes estaciones que conforman la red de vigilancia en deformación para el volcán Puracé.

2.3.1. Inclinometría electrónica.

En general, los inclinómetros de la red de vigilancia del volcán Puracé se han caracterizado por presentar ligeras fluctuaciones en sus dos componentes (*norte* y *este*); esto, debido a que su instalación física es a nivel superficial y por ello están propensos a efectos ambientales que pueden generar variaciones en magnitud de decenas de microradianes. Comúnmente se presentan deformaciones de la superficie de la roca expuesta causada por tensiones térmicas cuando el sol incide directamente sobre la misma. A la presente fecha se han generando líneas base de comportamiento en cada sensor y al respecto se informa lo siguiente:

1. Inclinómetro Lavas Rojas:

Localizado a 2.4 km al W-NW del cráter del Volcán Puracé (4046 m.s.n.m), desde finales del mes de octubre de 2011 hasta finales del mes de abril de 2012, este inclinómetro presento una tendencia descendente en sus dos componentes alcanzando valores aproximados de $-90 \mu rad$ y $-70 \mu rad$ para las componentes norte y este respectivamente. Durante los siguientes meses las dos componentes del inclinómetro tienden a mostrar estabilidad. Su funcionamiento durante el primer semestre fue del 99% (Figura 29).

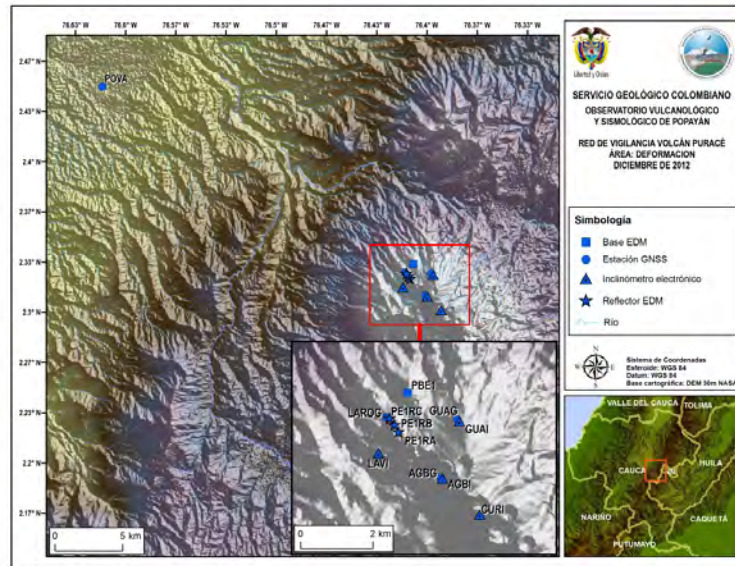


Figura 28: Red de vigilancia en deformación del volcán Puracé. Primer semestre de 2012.

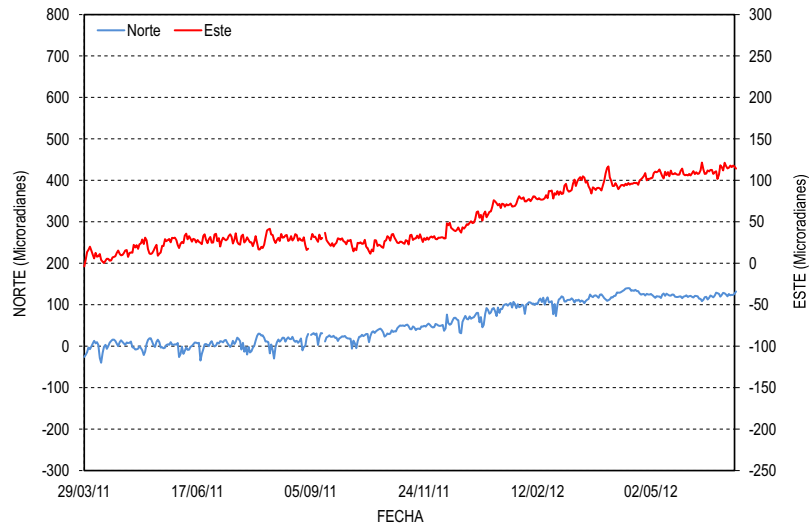


Figura 29: Comportamiento del inclinómetro electrónico Lavas Rojas hasta junio de 2012.

2. Inclinómetro Guañarita:

Localizado a 1.24 km al N del cráter del volcán Puracé (4248 msnm), sus dos componentes mostraron una tendencia descendente desde finales del mes de octubre de 2011 hasta finales de abril de 2012, acumulando una variación de $-70 \mu\text{rad}$ para la componente norte y $-80 \mu\text{rad}$ para la componente este. Durante los siguientes meses sus dos componentes tienden a estabilizarse. Su funcionamiento durante el primer semestre fue del 100 % (Figura 30).

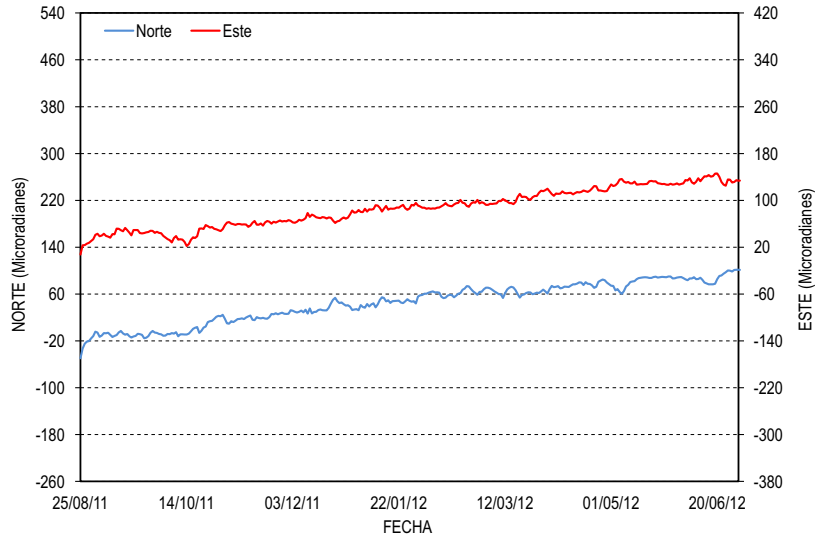


Figura 30: Comportamiento del inclinómetro electrónico Guañarita hasta junio de 2012.

3. *Inclinómetro Curiqinga:*

Localizado a 1.42 km al SE del cráter del volcán Puracé (4482 msnm), sus dos componentes muestran ligeras fluctuaciones asociadas a los cambios de temperatura en el lugar pero en general su línea base de comportamiento es estable para las dos componentes. Su funcionamiento durante el primer semestre de 2012 fue del 95 % (Figura 31).

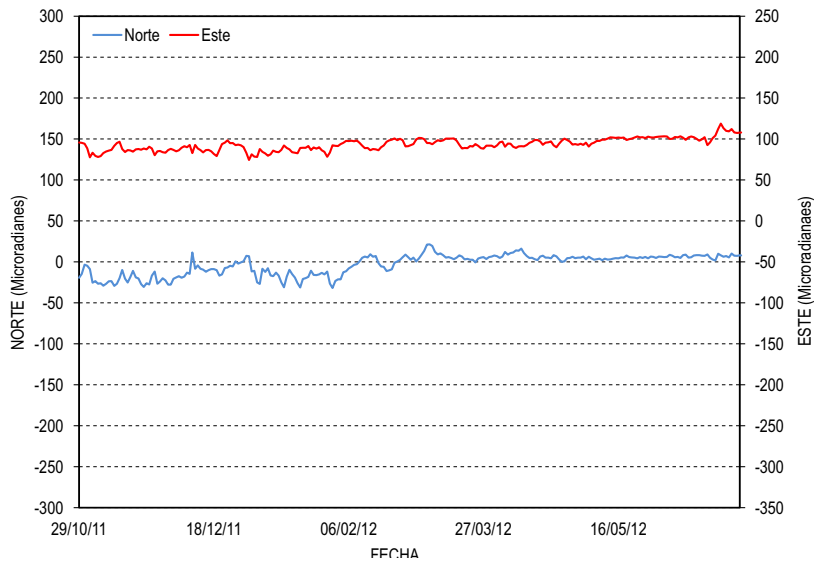


Figura 31: Comportamiento del inclinómetro electrónico Curiqinga hasta junio de 2012.



4. *Inclinómetro Agua Blanca:*

Localizado a 0.72 km al W del cráter del volcán Puracé (4380 msnm), desde su instalación la componente *norte* muestra una tendencia descendente acumulando hasta la fecha -20 μrad mientras que la componente *este* no presenta grandes fluctuaciones alrededor de su línea base. Su funcionamiento durante el primer semestre de 2012 fue del 60 % (Figura 32).

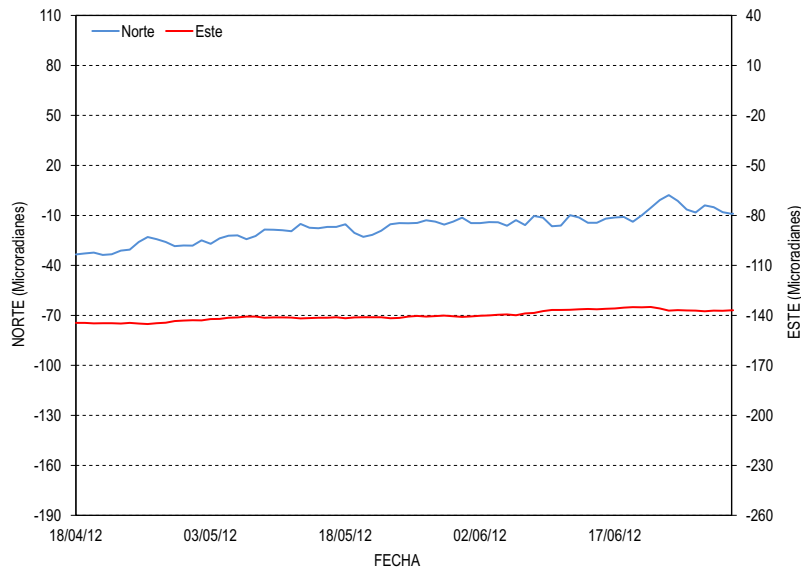


Figura 32: Comportamiento del inclinómetro electrónico Moras hasta junio de 2012.

Durante el primer semestre de 2012, la red de inclinómetros del volcán Puracé evidencio cambios en algunos inclinómetros, los cuales hasta el momento no han tenido correlación con la actividad volcánica.

2.3.2. Estaciones GNSS permanentes.

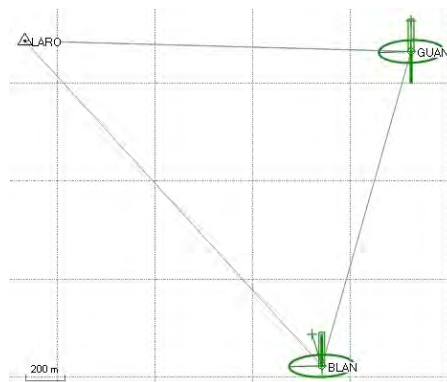


Figura 33: Detalle de la estación de GNSS de referencia y de las estaciones GNSS de monitoreo.



Actualmente el volcán Puracé cuenta tres estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por satélite) permanentes para monitorear la deformación de la corteza del edificio volcánico. Durante el primer semestre de 2012 el funcionamiento para las mismas fue del 100 %. Respecto al procesamiento diferencial de la información, se observa que durante el primer semestre de 2012 la línea base de la estación GNSS GUAN presento un ligero desplazamiento ascendente sobre su línea base (se espera observar la evolución de este cambio para determinar si se debe a actividad volcánica y/o agentes atmosféricos) mientras que la estación GNSS BLAN permaneció estable, tal como lo muestran las siguientes figuras:

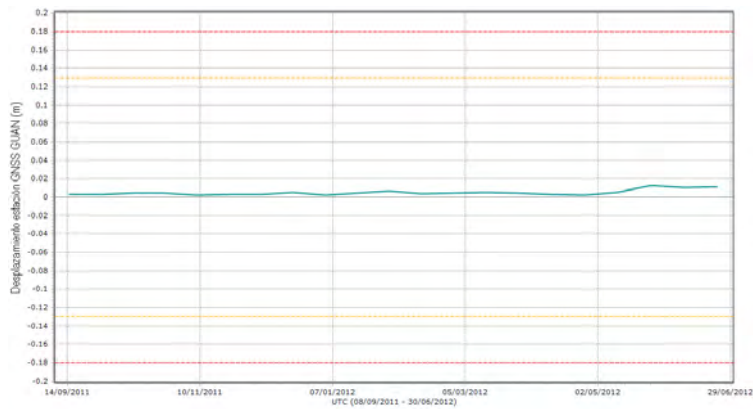


Figura 34: Línea Base de comportamiento para la estación GNSS permanente Guañarita hasta junio de 2012.

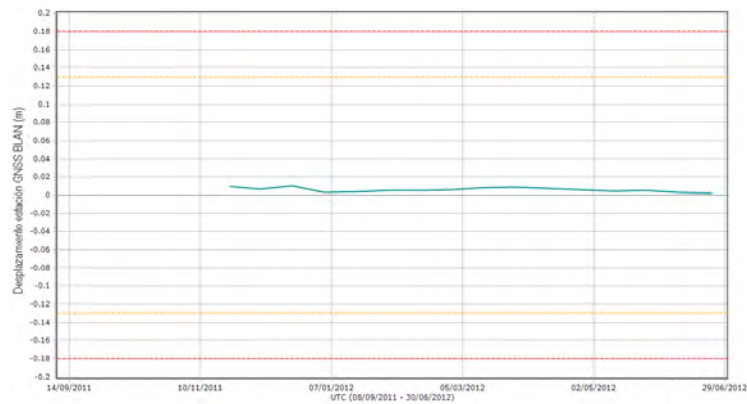


Figura 35: Línea Base de comportamiento para la estación GNSS permanente Agua Blanca hasta junio de 2012.

2.3.3. Medición electrónica de distancias.

Durante el mes de febrero se realizó una campaña para ocupación de las líneas de EDM en el volcán Puracé, por el momento se están generando líneas base de comportamiento y hasta la fecha las variaciones de las medidas se encuentran dentro del rango de precisión del equipo (Figura 36).

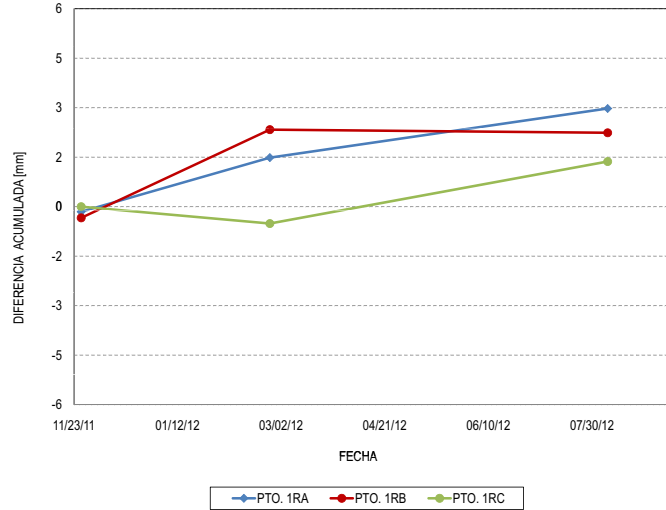


Figura 36: Mediciones EDM desde la base La Mina en el volcán Puracé realizadas hasta junio de 2012.

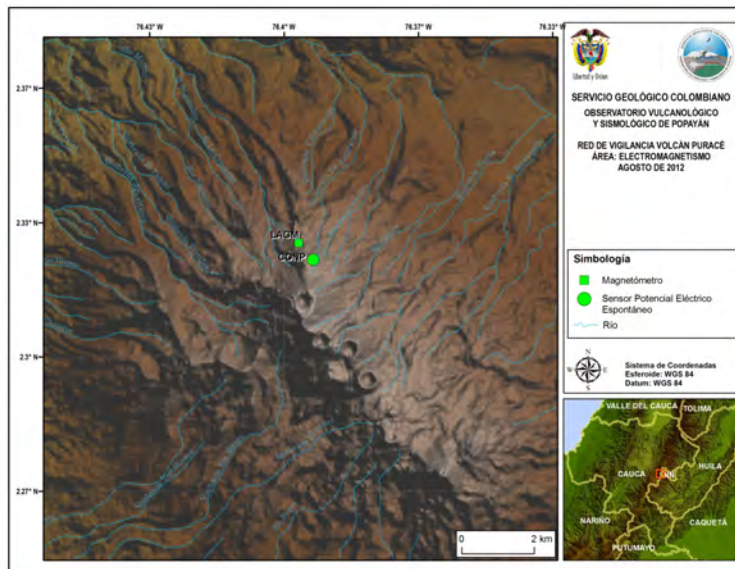


Figura 37: Red de vigilancia en magnetotelúrica del volcán Puracé. Primer semestre de 2012.

2.4. Magnetotelúrica.

El volcán Puracé cuenta con una estación para la detección de potenciales eléctricos espontáneos denominada Condor, así como con un magnetómetro (denominado Laguna), que es utilizado para el monitoreo del campo magnético residual local. La Figura 37 muestra la ubicación geográfica de dichos sensores.

2.4.1. Potenciales eléctricos espontáneos.

El método geofísico que mide el campo natural de Potencial Eléctrico Espontáneo (PE) se ha implementado como una metodología dentro de la vigilancia volcánica, ya que los volcanes tienen dos fuentes de generación de señales PE: una por el sistema hidrotermal (para volcanes activos) y otra por el sistema hidrogeológico. Para un volcán activo, el hecho de contar con una cámara magmática, permite que los fluidos dentro de esta cámara, o los que se ponen en contacto con ella, incrementen su temperatura y generen movimientos ascendentes dando origen a las señales PE.

El potencial eléctrico espontáneo al inicio del periodo muestra valores de alrededor de 11 mV, valor que se incrementa hasta llegar a los 20.53mV el día 4 de febrero, a una tasa de aumento de 0.23mV/día, seguido inicia una etapa de disminución de su valor de potencial con una tasa de -0.15mV/día hasta el 2 de julio cuando alcanza en promedio 1.5mV, día cuando empieza a demostrar un comportamiento estable alrededor de 1 mV. La Figura 38 muestra el historial del registro de la estación Cónдор entre el 01 de enero y el 31 de julio 2012.

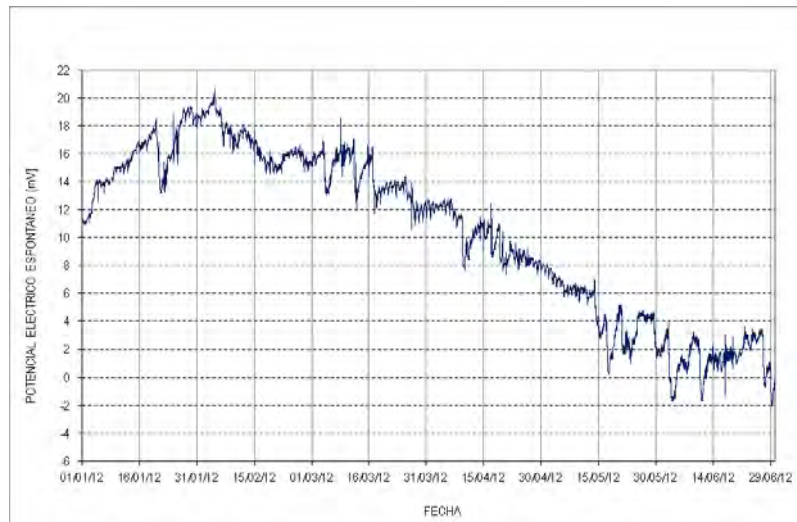


Figura 38: Potencial eléctrico espontáneo registrado en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.

Se resalta que, por el momento, este equipo inicia una etapa de registro que busca establecer una línea base de comportamiento, la cual sea adecuada y permita identificar cambios posiblemente asociados a la actividad volcánica.

2.4.2. Magnetometría.

Durante el primer semestre del 2012, el magnetómetro Laguna mostró un comportamiento relativamente estable; su campo magnético resultante local registró valores en su línea base, en promedio, alrededor de 50 a 60 nano-Teslas (nT). Se observaron ciclos de fluctuaciones día-noche, debidos a las variaciones de radiación solar, junto con fluctuaciones más esporádicas, asociables a tormentas solares, consistentes en eyección de masa de la corona solar (CME, por sus siglas en inglés: Coronal Mass Ejection), de acuerdo con los datos de la estación magnetométrica de referencia Kourou (instalada en Guyana Francesa y administrada por el Instituto Central del Magnetismo Terrestre, con sede en París-Francia) y los datos de Campo Magnético Interplanetario (IMF, por sus siglas en inglés: Interplanetary

Magnetic Field) registrados por el magnetómetro AceRt acoplado al satélite GOES. Las principales tormentas solares registradas de enero a junio de 2012 se produjeron en las siguientes fechas: 19 de enero, con efectos en la Tierra desde el 22 de enero; el 27 y 28 de febrero; el 7,8 y 13 de marzo; 17 y 27 de mayo; 11 y 16 de junio. Lo anterior fue reportado por NOAA / Space Weather Prediction Center como tormentas de protones que ha afectado el ambiente terrestre.

La Figura 39 muestra un histograma de los datos registrados por la estación Laguna para campo magnético y temperatura ambiente, junto con los datos de la estación Kourou en Guyana Francesa (puesta en funcionamiento nuevamente desde el 11 de junio), el magnetómetro satelital AceRt y la estación Cónдор para medición de PE en el volcán Puracé.

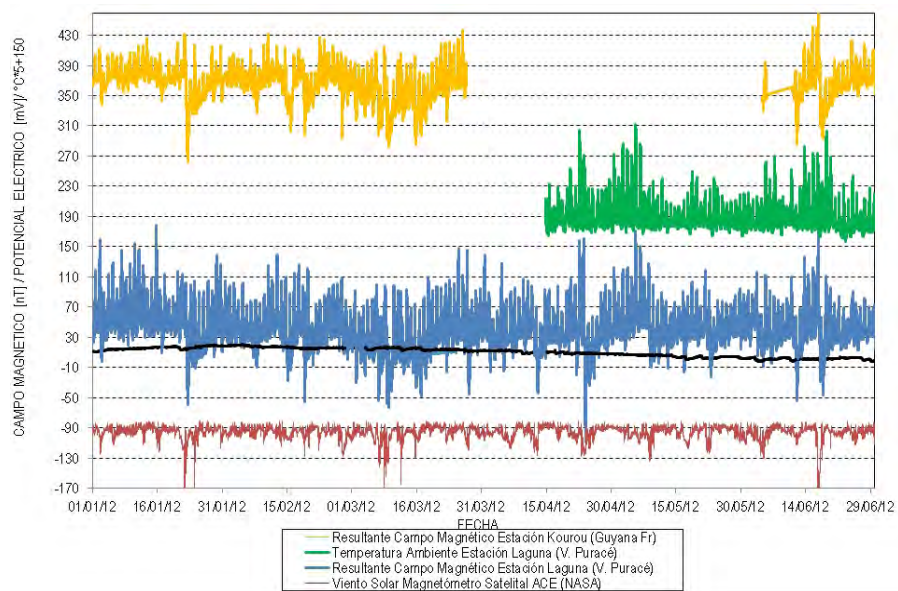


Figura 39: Mediciones magnetotélúricas del volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.

Se resalta que, por el momento, este equipo se encuentra en una etapa de registro que busca establecer una línea base de comportamiento, la cual sea adecuada y permita identificar cambios posiblemente asociados a la actividad volcánica.

2.5. Actividad Superficial.

Durante el primer semestre de 2012 se continuó realizando el monitoreo de la actividad superficial en el volcán Puracé, mediante las cámaras de conexión IP instaladas en los sectores denominados Mina y Lavas Rojas. La Figura 40 muestra la distribución geográfica de estos equipos.

2.5.1. Cámaras de seguimiento superficial.

El monitoreo continuo de la actividad superficial se efectúa a través de dos cámaras web: Mina y Lavas Rojas, ubicadas a 2.5 km del cráter Puracé. El objetivo principal de estas cámaras es monitorear el comportamiento del campo fumarólico ubicado en la cima del flanco noroccidental. En el primer semestre de 2012, no se observaron cambios destacables en la actividad superficial; la emisión de

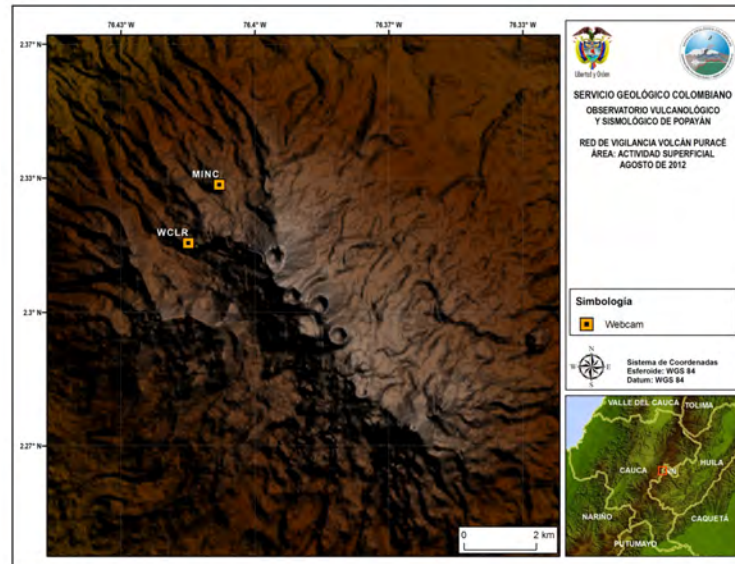


Figura 40: Mapa de localización de las cámaras web para monitoreo de la actividad superficial en el volcán Puracé. Primer semestre de 2012.

gases desde este campo fumarólico fue constante, y la dirección de su dispersión se vio condicionada solamente por la incidencia del viento.

En estas cámaras fue posible observar - cuando las condiciones climáticas lo permitieron - pequeñas columnas de color blanco, emitidas desde el campo fumarólico lateral que bordea el cráter (ver Figura 41); esta pequeña pluma se dispersó por influencia de los fuertes vientos ocurridos en esta época del año. En las imágenes captadas por las cámaras web no se evidenciaron cambios a resaltar a nivel superficial.



Figura 41: Detalle del campo fumarólico lateral del volcán Puracé.

En las Figuras 42 y 43, se pueden apreciar algunas de las imágenes más representativas registradas por las cámaras durante el I semestre de 2012.



Figura 42: Imágenes del volcán Puracé captadas por las cámaras web Lavas Rojas (columna derecha) y Mina (columna izquierda) durante los primeros tres meses del 2012.



Figura 43: Imágenes del volcán Puracé captadas por las cámaras web Lavas Rojas (columna derecha) y Mina (columna izquierda) durante abril, mayo y junio de 2012.

2.6. Conclusión.

Del análisis de la información obtenida a través de las diversas técnicas empleadas en el monitoreo del volcán Puracé y su zona de influencia, se concluye que durante el primer semestre de 2012, éste continuo presentando un comportamiento estable. Los parámetros de monitoreo tales como sismología, deformación, magneto telúrica y actividad superficial, no presentaron variaciones relevantes a lo largo del periodo evaluado. Por lo tanto, el OVS-Popayán, mantiene el nivel de actividad en **NIVEL IV: VOLCÁN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE**.



3. VOLCÁN SOTARÁ.



Figura 44: Imagen panorámica del volcán Sotará.

El volcán Sotará (Figura 44) se encuentra ubicado en la Cordillera Central, en las coordenadas $2^{\circ}, 12'$ de Latitud Norte y $76^{\circ}, 31'$ de Longitud Oeste, con una elevación máxima de 4580 msnm , a una distancia de 25 km al sureste de Popayán.

El Sotará es un estrato volcán activo rico en lavas, (domina la actividad efusiva sobre la explosiva) que posee tres calderas de 4.5 , 2.5 y 1 km de diámetro, las cuales le dan a la cima una forma irregular, además de varios domos exógenos, y conforma un complejo volcánico junto con los volcanes Cerro Gordo, Cerro Negro y Azafatudo. Sus calderas externa y media se hallan parcialmente fosilizadas por la actividad posterior a su formación; y la más moderna (interna) se encuentra rota hacia el costado suroccidental, provocando con su derrumbe la formación de lahares. De este volcán no existe registro histórico eruptivo, sin embargo presenta fumarolas y actividad térmica. Ocasionalmente se le puede ver cubierto de nieve en las temporadas invernales.

Las labores de monitoreo se iniciaron en noviembre de 1993 con la instalación de la estación sismológica telemétrica Sotará, en el sector nororiental del volcán. En mayo de 1994 esta estación fue robada y reinstalada en diciembre del mismo año. En 1995 se empieza a registrar valores importantes en la actividad sísmica, y se instala temporalmente una segunda estación sismológica en cercanías del volcán Cerro Negro. A partir del año 2007 hasta la fecha se ha reinstalado la red de monitoreo permanente en el volcán Sotará. Anualmente, desde 1996 se realiza análisis geoquímico en las fuentes termales Las Amarillas y Aguas Calientes. Así mismo, en 1999 se inició el muestreo del campo fumarólico.

De la información obtenida durante el primer semestre de 2012 a través de la red vigilancia instalada en el volcán Sotará, se resalta que a partir del día 24 de junio, el volcán presentó un comportamiento importante en el registro de eventos volcano-tectónicos superficiales ($2 - 6 \text{ km}$), localizados en la proximidad del edificio volcánico (Dirección NE), esta actividad, junto con la evaluación de los demás parámetros del monitoreo volcánico, no indica, por el momento, cambios significativos que comprometan la estabilidad del sistema, lo cual no motiva un cambio de nivel.



3.1. Red de Vigilancia.

El volcán Sotará cuenta en la actualidad con una red de vigilancia compuesta por ocho estaciones, las cuales, se emplean para medir los diferentes parámetros mediante técnicas tales como: sismología, deformación y la actividad superficial (ver Tabla 6). Esta red presentó un nivel óptimo de funcionamiento durante el primer semestre de 2012, alcanzando el 94.7 %.

3.1.1. Red de estaciones sísmicas.

Actualmente el volcán Sotará cuenta con cuatro estaciones sismológicas: una de Corto Período (Oso) y tres estaciones de Banda Ancha (Sotará, Cerro Gordo y Oso). En el primer semestre estas estaciones presentaron un porcentaje de funcionamiento del 90.5 %.

3.1.2. Red de deformación.

Esta red se encuentra conformada por dos Inclinómetros electrónicos (Oso y Sotará), dos bases y dos reflectores EDM. Durante el primer semestre todas las estaciones estuvieron operativas, y presentaron un porcentaje de funcionamiento de 98.8 %.

3.1.3. Cámaras web.

Para el monitoreo de la actividad superficial se cuenta con una cámara con conexión IP controlada desde el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, la cual se encuentra instalada en el sector denominado Cerro Crespo (3 km al NW del edificio volcánico). La cámara web presentó un buen nivel de funcionamiento durante los seis primeros meses del 2012, con un porcentaje 99.2 %.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altura (msnm)	Distancia al Cráter (km)
Oso	Estación Corto Período	2.111190	76.596840	4106	0.8 NW
	Inclinómetro electrónico				
	Estación Banda Ancha				
Sotará	Estación Banda Ancha	2.132200	76.604220	3795	3.2 NW
	Inclinómetro electrónico				
Cerro Gordo	Estación Banda Ancha	2.095495	76.567868	3874	2.9 SE
Cerro Crespo	Cámara web	2.132200	76.604220	3795	3.2 NW
Base EDM1	Base EDM	2.129950	76.617283	3408	3.88 NW
Base EDM2	Base EDM	2.144433	76.633133	3225	6.26 NW
Reflector A	Reflector EDM	2.112933	76.598950	4050	1.10 NW
Reflector B	Reflector EDM	2.112617	76.601017	3916	1.28 NW

Tabla 6: Características de la red de vigilancia del volcán Sotará.

3.2. Sismología

La red de monitoreo sísmico del volcán Sotará cuenta con siete estaciones sismológicas: Estumo y Oso las cuales cuentan con sensores de corto periodo, y las cinco restantes: Sotará, Triangulo, Cerro Gordo, Agua Bonita y Oso, las cuales se encuentran equipadas con sensores de banda ancha. La Figura 45 muestra el mapa de localización de las estaciones que conforman esta red de monitoreo.

3.2.1. Actividad Sísmica.

Durante el semestre I de 2012, la red de estaciones sismológicas instaladas en el volcán Sotará registraron un total de 801 eventos asociados a procesos de fracturamiento de roca.

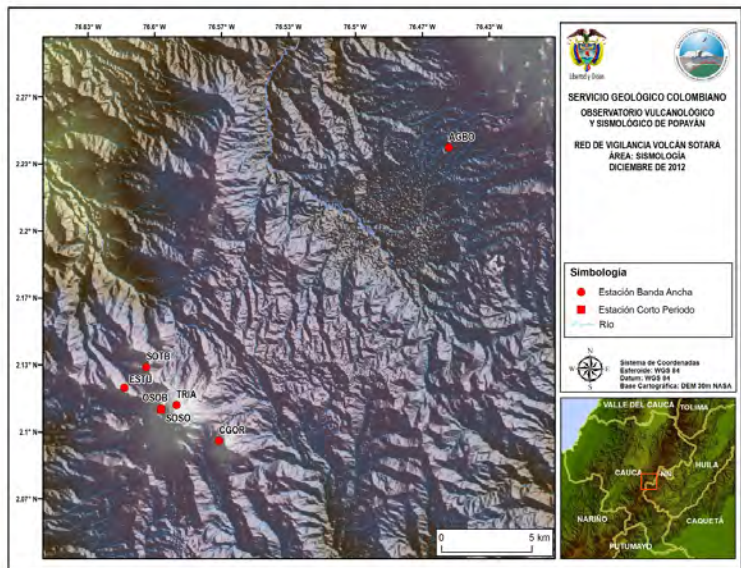


Figura 45: Red de vigilancia en sismología del volcán Sotará. Primer semestre de 2012.

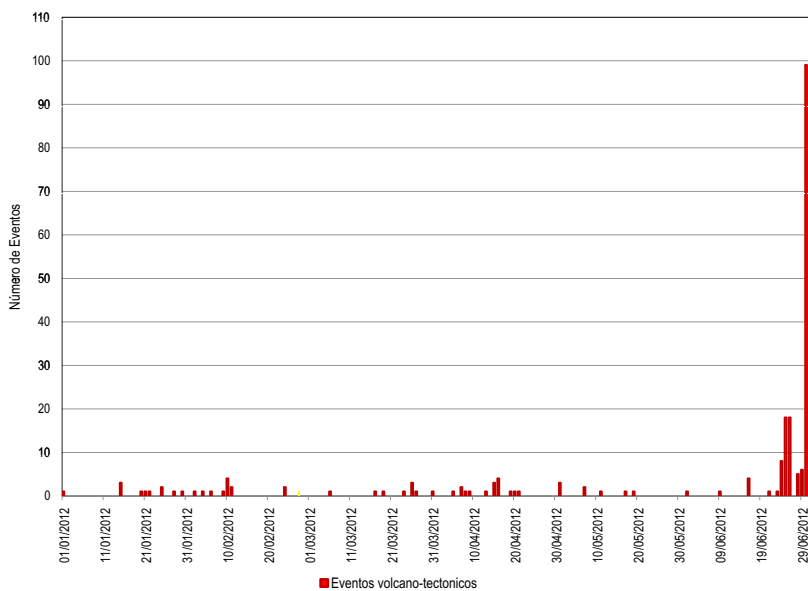


Figura 46: Número de eventos registrados diariamente en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.

La Figura 46 y la Tabla 7 detallan el comportamiento sísmico en cuanto a la ocurrencia de eventos registrados en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.

Los valores de sismicidad ocurridos durante el primer semestre corresponden a lo que comúnmente se ha registrado en este volcán, sin embargo, a partir del día 24 de junio se evidencia un incremento

Fecha	Tipos de eventos	
	Eventos VT	
Número de eventos registrados en el volcán Sotará entre el 1 de enero y el 30 de junio de 2012.	Muy bajo nivel energético	Bajo nivel energético
	218	583

Tabla 7: Número de eventos sísmicos registrados en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.

importante en la actividad volcano-tectónica, estos eventos se caracterizaron por su recurrencia en el tiempo y aumento gradual en magnitud dentro de niveles considerados bajos. La red de monitoreo sísmico del volcán Sotará registro entre el 24 y 30 de junio un total de 744 sismos de este tipo, de los cuales 582 eventos se consideraron como “No Clasificables” (de muy bajo aporte energético) y 162 eventos clasificables (que cumplen con parámetros preestablecidos para el procesamiento sísmico). Para los eventos clasificados se ha establecido una zona de ocurrencia ubicada aproximadamente a 3 km en dirección nor-oriente de la cima volcánica, con profundidades entre 2 y 6 km y magnitudes locales entre 0.1 y 2.1 M_L grados en la escala de Richter.

Es importante resaltar que ninguno de estos eventos fue reportado como sentido por las comunidades que habitan el área de influencia del volcán Sotará. En la Figura 47 se muestra un sismograma en el que se evidencia el incremento en el número de sismos que han sido registrados por las estaciones del volcán Sotará.

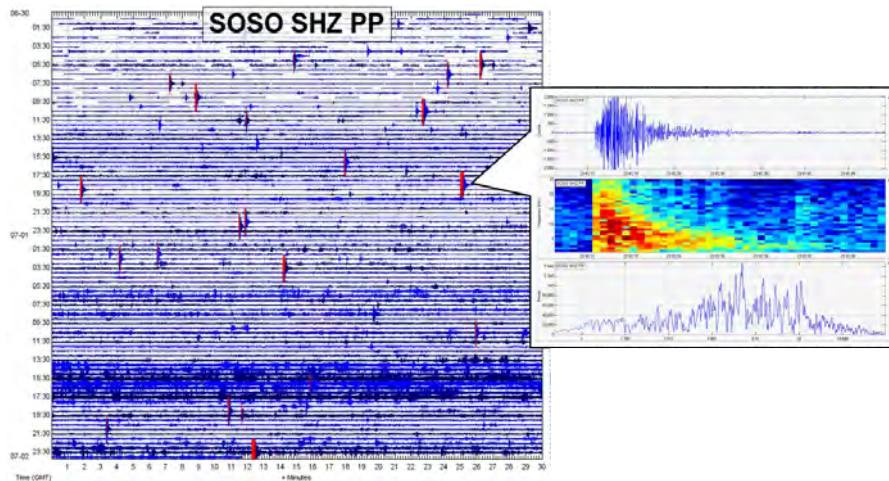


Figura 47: Sismograma de la estación sismológica de referencia OSO (volcán Sotará) y señal digital de evento volcano-tectónico registrado.

3.2.2. Energía sísmica liberada.

El aporte energético realizado por el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012 correspondió exclusivamente a procesos relacionados con fracturamiento de roca. En la gráfica de la figura 5 se aprecian dos picos que conservan la mayor liberación de energía diaria, para los días 15 de abril con un valor aproximado $8.22E+06$ y 30 de junio con un valor aproximado de $8.23E+06$ ergios, este último valor asociado a la ocurrencia de 99 eventos que alcanzaron magnitudes locales entre 0.3° y 2.1° en la escala de Richter. Este comportamiento de la energía puede observarse en la gráfica de la Figura 48



En cuanto a la tendencia observada para la energía acumulada liberada, se evidencian dos momentos importantes en la curva: el primero registrado durante el mes de abril, este comportamiento esta asociado con el registro de tres eventos volcano-tectonicos en la zona próxima al edificio del volcán Sotará alcanzando magnitudes locales de 2.0 M_L grados en la escala de Richter. El segundo cambio gradual apreciado en la curva de energía corresponde con el registro de eventos volcano-tectónicos registrados especialmente a partir del día 24 de junio de 2012, el cual motivo un boletín extraordinario, de carácter informativo hacia la comunidad. La energía acumulada alcanzó un máximo de 8.86E+07 ergios para el día 30 de junio (ver Figura 49).

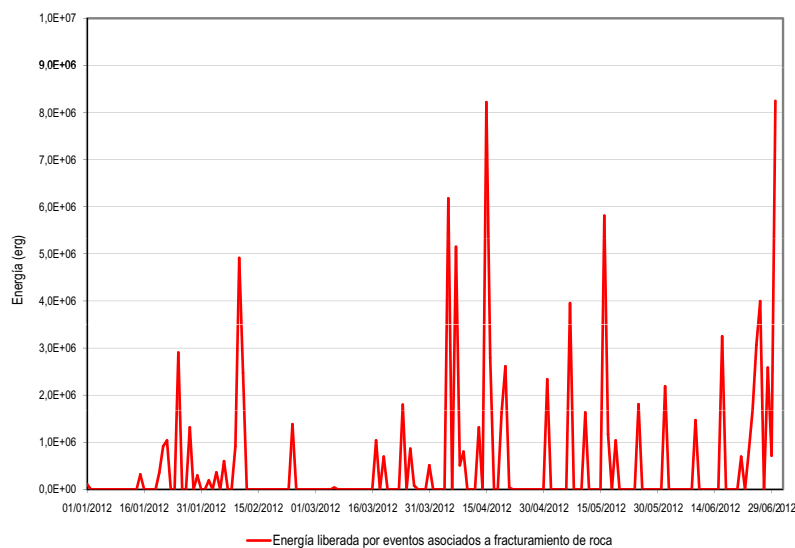


Figura 48: Gráfica de energía sísmica liberada diariamente por eventos VT en el volcán Sotará. Junio de 2012.

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

3.2.3. Localización de eventos sísmicos.

3.2.3.1. Localización de eventos asociados con fracturamiento de roca. De la sismicidad registrada por las estaciones sismológicas del volcán Sotará durante el primer semestre de 2012, fue posible localizar 147 de los 218 eventos sísmicos asociados a procesos de fracturamiento de roca, con parámetros clasificables, los cuales se concentraron principalmente en tres zonas. La primera zona se localiza entre 0.1 y 2 km al nororiente de la cima volcánica; estos eventos se caracterizaron por presentar hipocentros entre 2 y 6 km, con magnitudes locales que oscilaron entre 0.1 y 2.0 grados en la escala de Richter. La segunda zona se localiza en dirección NE a 15 Km del edificio volcánico en la zona comprendida como El valle del Paletará. Aquí los eventos presentan hipocentros entre 6 y 15 km, acompañado de magnitudes locales que oscilan entre 0.2 y 1.3 grados en la escala de Richter. El resto de la sismicidad se localizo en una tercera zona, localizada al sur-occidente del edificio volcánico a 9 km, con magnitudes locales hasta de 2.1 grados en la escala de Richter.

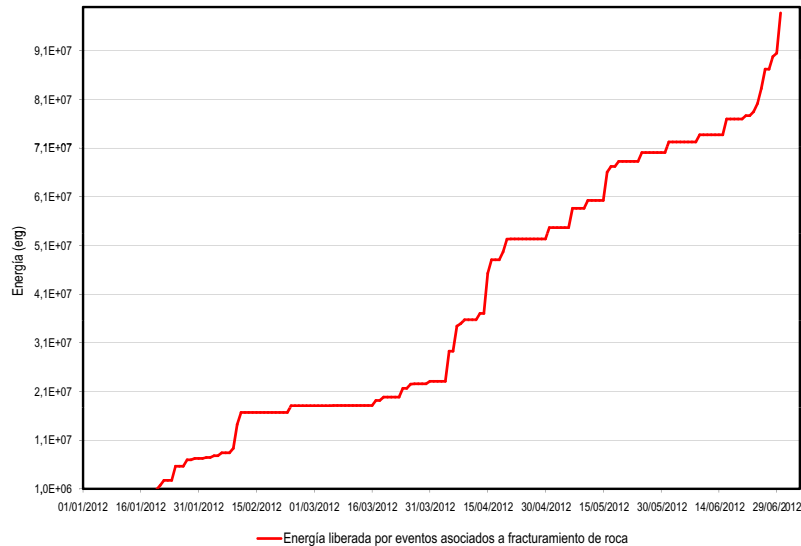


Figura 49: Gráfica de energía sísmica liberada calculada de forma acumulada por eventos VT en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.

La Figura 50 muestra el mapa de localización epicentral e hipocentral de los eventos localizados en el volcán Sotará para el mes de diciembre, apreciándose la distribución espacial de la sismicidad concentrada principalmente hacia el costado nororiental del edificio.

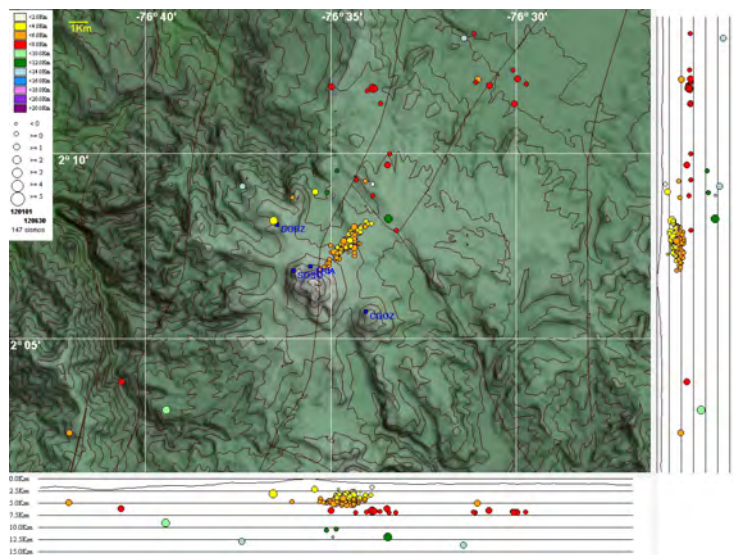


Figura 50: Mapa de localización de eventos de fractura registrados en el volcán Puracé durante el primer semestre de 2012.

De la sismicidad registrada por las estaciones sismológicas del volcán Sotará durante el mes de junio, fue posible localizar 120 de los 162 eventos sísmicos asociados a procesos de fracturamiento de roca, los cuales se concentraron principalmente en dos zonas: la primera, se encuentra en la zona conocida como Valle de Paletará en dirección NE del edificio volcánico (11 *km* aproximadamente). Estos eventos distales, se caracterizaron por presentar en su mayoría hipocentros entre 6 y 8 *km*, y un rango de magnitudes locales entre 0.6 y 2.1 grados en la escala de Richter, este último registrado del día 26 de junio. La segunda zona se aproxima al área de influencia del edificio volcánico en dirección NE a 3 *km* del edificio volcánico; aquí se concentró la sismicidad más importante en cuanto a recurrencia y magnitud del periodo evaluado, con registro de eventos que se caracterizaron por presentar hipocentros entre 2 y 6 *km*, y magnitudes locales que oscilaron entre -0.5 y 2.0 grados en la escala de Richter, este último registrado el día 30 de junio de 2012.

3.3. Deformación.

Durante el primer semestre de 2012, se contó con el funcionamiento de los dos inclinómetros electrónicos (Sotará y Oso), y no se realizaron mediciones de control topográfico (EDM). El mapa de la Figura 51 muestra la localización geográfica de estas estaciones de monitoreo.

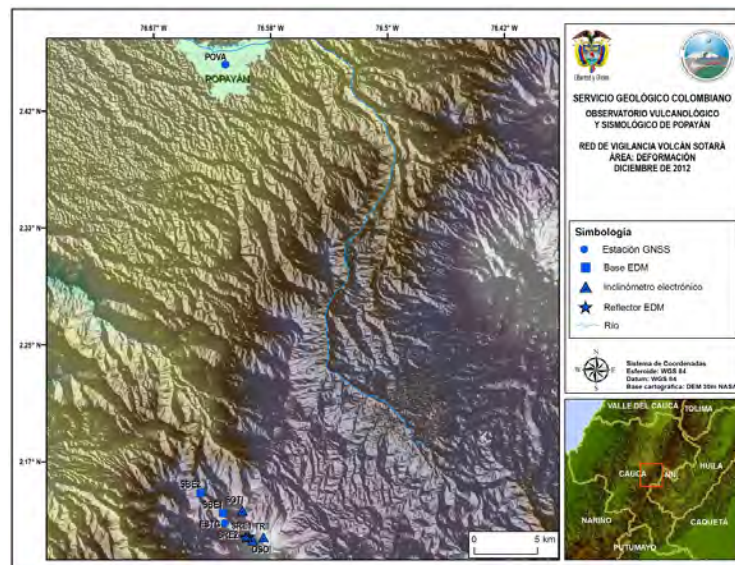


Figura 51: Red de vigilancia en deformación del volcán Sotará. Primer semestre de 2012.

3.3.1. Inclinometría electrónica.

En general los inclinómetros de la red de vigilancia del volcán Sotará se han caracterizado por presentar ligeras fluctuaciones en sus dos componentes (*norte* y *este*), esto, debido a que su instalación física es a nivel superficial y por ello están propensos a efectos ambientales y variaciones en magnitudes de decenas de micro radianes debidas a cambios de temperatura. Hasta la presente fecha se tiene una línea base de comportamiento y al respecto se puede decir lo siguiente:

1. *Inclinómetro Sotará*: Localizado a 3.3 *km* al NW del cráter del volcán Sotará (3795 *msnm*), durante el mes de junio la componente *este* empezó a mostrar una ligera tendencia ascendente



mientras que la componente *norte* permanece estable con ligeras variaciones alrededor de su línea base. Su funcionamiento durante el primer semestre fue del 100.0% (ver Figura 52).

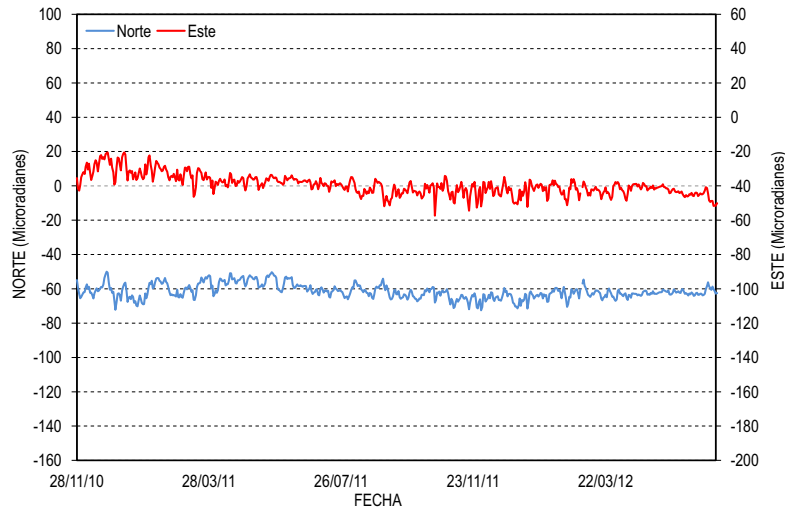


Figura 52: Comportamiento del inclinómetro electrónico Sotarà hasta junio de 2012.

2. *Inclinómetro Oso*: Localizado a 1.2 km al NW del volcán Sotarà (4153 msnm), la componente *norte* de este inclinómetro muestra un ligero descenso con un acumulado de $-10 \mu\text{rad}$ desde enero hasta junio de 2012, mientras que la componente *este* muestra un cambio ascendente de $30 \mu\text{rad}$ para el mismo rango de fechas. Su funcionamiento durante el primer semestre fue del 100.0% (ver Figura 53).

Los cambios registrados por los inclinómetros anteriores para los últimos meses son pequeños y se necesita observar la evolución de la sismicidad volcánica y cambios en otras técnicas de vigilancia para poder correlacionarlos y asociarlos con procesos inflacionarios en el volcán que es el fenómeno que posiblemente están mostrando por ahora las resultantes de estos equipos.

3.4. Actividad Superficial.

El volcán Sotarà cuenta actualmente con una cámara con conexión IP para el seguimiento de la actividad superficial, equipo que se encuentra instalado en el sector denominado Cerro Crespo al NW del edificio volcánico. El mapa de la Figura 54 muestra la localización geográfica de este equipo de monitoreo.

3.4.1. Cámaras de seguimiento superficial.

Durante el primer semestre de 2012, se continuó realizando el monitoreo de la actividad superficial en el volcán Sotarà, empleando la cámara web instalada en el sitio denominado Cerro Crespo, localizada a 3.5 km al noroccidente del volcán Sotarà. Cuando las condiciones climáticas lo permitieron, fue posible captar imágenes del edificio volcánico, en las cuales no se evidenciaron cambios morfológicos ni procesos asociados con emanaciones de gases. La Figura 55 muestra algunas de las imágenes más representativas captadas durante el período evaluado.

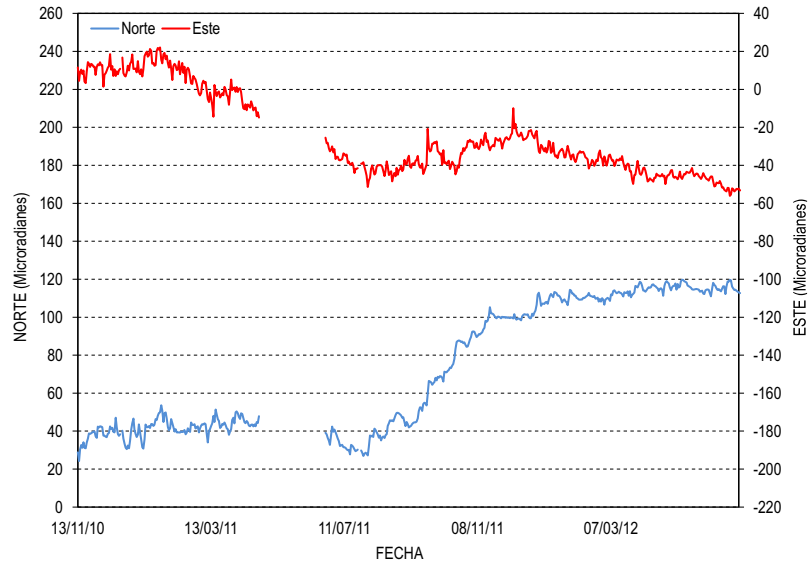


Figura 53: Comportamiento del inclinómetro electrónico Oso hasta junio de 2012.

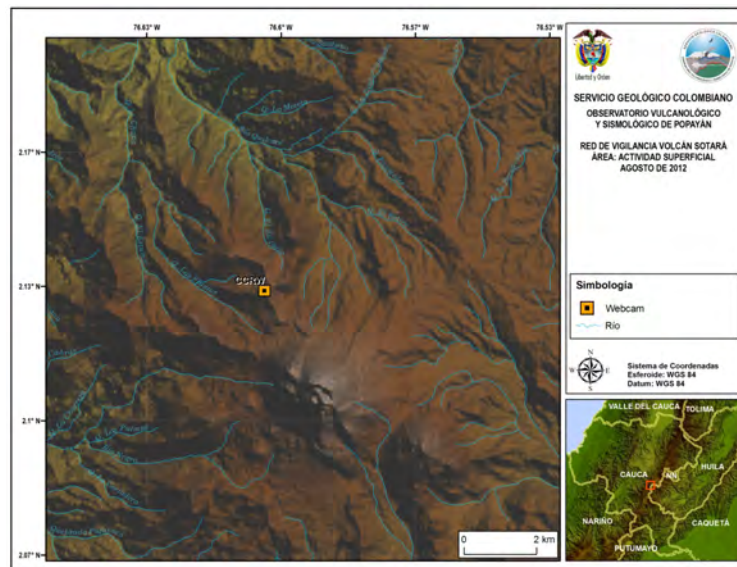


Figura 54: Mapa de localización de las cámaras web para monitoreo de la actividad superficial en el volcán Sotará durante el primer semestre de 2012.

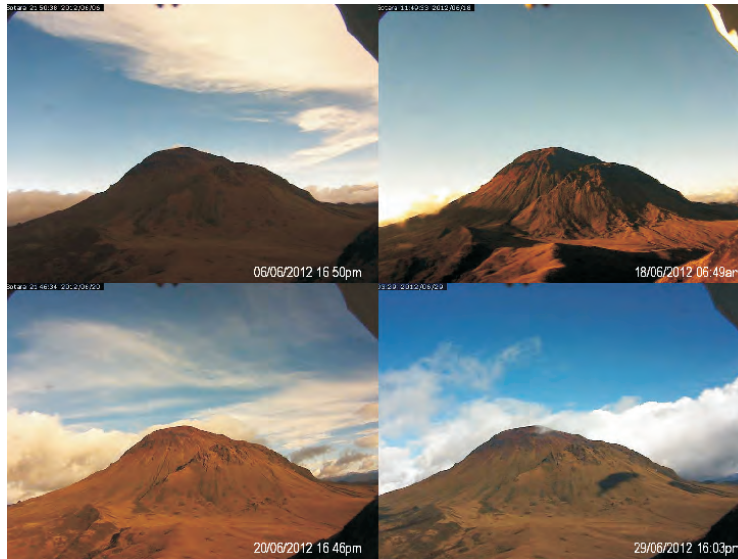


Figura 55: Imágenes del volcán Sotará captadas por la cámara web Cerro Crespo durante el primer semestre de 2012.

3.5. Conclusión.

Durante el primer semestre de 2012 el volcán Sotará presentó un comportamiento estable, con un registro importante en su actividad sísmica asociada a procesos de fractura; se destaca que esta actividad, junto con el análisis técnico y evaluación de los demás parámetros del monitoreo volcánico como deformación y seguimiento de la actividad superficial, no manifiestan cambios que motiven a un cambio de nivel y no representa procesos potencialmente peligrosos para las comunidades ubicadas en su área de influencia. Por lo tanto, el nivel de actividad se mantiene en **NIVEL IV: VOLCÁN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE**.

El Servicio Geológico Colombiano (SGC) - *Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán*, continúa atento a la evolución del fenómeno volcánico e informará de manera oportuna los cambios que se puedan presentar.