



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
INGEOMINAS**

**OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**BOLETIN DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES  
NEVADO DEL HUILA, PURACÉ Y SOTARÁ  
SEGUNDO SEMESTRE DE 2010<sup>i</sup>**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1. VOLCÁN NEVADO DEL HUILA .....	2
1.1 RED DE VIGILANCIA VOLCANICA.....	3
1.1.1 Red de estaciones sismológicas.....	3
1.1.2 Red de Estaciones Sensoras de Flujos de Lodo.....	4
1.1.3 Estaciones de ScanDOAS.....	4
1.1.4 Cámaras de Seguimiento Superficial.....	4
1.1.5 Inclinómetro Electrónico y Estación Acústica. ....	5
1.2 ACTIVIDAD SÍSMICA.....	7
1.2.1 Localización de eventos de Fractura.....	9
1.3 ACTIVIDAD SUPERFICIAL.....	16
1.3.2 Cambios morfológicos en superficie.....	20
<b>REPORTES DE EMISIONES DE CENIZAS EN EL VOLCAN NEVADO DEL HUILA</b>	
<b>DADOS POR EL VOLCANIC ASH ADVISORY CENTER (VAAC).....</b>	<b>41</b>
<b>HOT-SPOTS VOLCÁN NEVADO DEL HUILA.....</b>	<b>42</b>
CONCLUSIONES .....	43
2. VOLCÁN PURACÉ.....	45
2.1 RED DE VIGILANCIA .....	47
2.2 ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN PURACÉ.....	50
2.2.1 LOCALIZACIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS.....	54
2.2.2 ACTIVIDAD SÍSMICA RELEVANTE REGISTRADA DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE DE 2010. 57	
2.3 DEFORMACIÓN DEL SUELO.....	62
2.3.1 INCLINOMETRÍA ELECTRÓNICA.....	63
2.3.1.1 INCLINÓMETRO GUAÑARITA.....	63
2.3.1.2 INCLINÓMETRO LAVAS ROJAS.....	64
2.3.1.3 INCLINÓMETRO CURIQUINGA.....	64
2.3.2 VECTORES DE NIVELACIÓN.....	64
2.4 ACTIVIDAD SUPERFICIAL.....	67
2.4.1 CÁMARA DE SEGUIMIENTO SUPERFICIAL: .....	67
2.5 MAGNETOMETRIA.....	69
2.6 TEMPERATURA FUENTES TERMALES.....	70
3. VOLCÁN SOTARÁ.....	73
1. RED DE ESTACIONES.....	74
2. ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN SOTARÁ.....	75
3. ENERGÍA LIBERADA POR EL VOLCÁN SOTARÁ.....	76
4. LOCALIZACIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS.....	78
5.2. SISMICIDAD DESTACADA .....	80
CONCLUSIÓN.....	83



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**INDICE DE ILUSTRACIONES**

Figura 1. Volcán Nevado del Huila.....	2
Figura 2. Valor de funcionamiento de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila, primer semestre de 2010.....	5
Figura 3. Mapa de la red de vigilancia volcánica instalada en el volcán Nevado del Huila. ....	6
Figura 4. Número y tipo de eventos registrados en el VNH durante el segundo semestre de 2010. ....	7
Figura 5. Energía liberada por el volcán Nevado del Huila a través de la sismicidad relacionada con procesos internos de fractura de material y de tránsito de fluidos durante el segundo semestre de 2010.....	8
Figura 6. Acumulado de la energía sísmica liberada diariamente por el VNH a través de la sismicidad asociada a procesos de fractura y de la sismicidad asociada a la dinámica de fluidos durante el segundo semestre de 2010. ....	9
Figura 7. Mapa de localización de eventos registrados durante el segundo semestre de 2010, en el volcán Nevado del Huila. ....	10
Figura 8. Relación de profundidad vs fecha de los eventos tipo VT localizados en el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2010.....	11
Figura 9. Relación de magnitud vs fecha de los eventos localizados en el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2010. ....	11
Figura 10. Relación de la actividad sísmica registrada en el VNH durante el segundo semestre de 2010.....	13
Figura 11. Histograma acumulado de los cuadrados de las amplitudes RSAM para la componente norte-sur de la estación Verdún, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2010. ....	13
Figura 12. Eventos tipo Drumbeat y pulsos de tremor espasmódico registrados durante la última semana de agosto....	14
Figura 13. Sismograma digital de la estación Verdun2 para los días 21, 22 y 23 de septiembre. ....	15
Figura 14. Simulación y espectro del flujo medido el día 21 de septiembre de 2010. ....	18
<b>Figura 15.</b> Flujos de dióxido de azufre contra velocidad del viento.....	19
Figura 16. Emisiones del dióxido de azufre 2007 - 2010.....	19
Figura 17. Imágenes infrarrojas captadas a través de la cámara <i>FLIR</i> , durante el sobrevuelo realizado al VNH el 21 de julio de 2010, en ellas se observan las anomalías térmicas (zonas más brillantes en las imágenes de la derecha), en la parte alta del domo. (a) Vista desde el sur. (b) Detalle de la superficie del domo, visto desde el suroriente.....	21
<b>Figura 18.</b> (a) Detalle del domo de lava emplazado en la superficie de la parte alta del edificio volcánico visto desde el sur. (b) Se observan las emisiones de gases volcánicos provenientes de la superficie del domo. (c) Parte del domo extendida sobre el costado oriental del volcán, en esta imagen se aprecia el empuje mecánico que el domo mismo ejerce sobre la capa glacial. ....	22
Figura 19. Imágenes del sobrevuelo realizado el 19 de agosto de 2010.....	22
<b>Figura 20.</b> Detalle del domo de lava emplazado en la superficie de la parte alta del edificio volcánico visto desde el costado oriental. ....	23
<b>Figura 21.</b> Detalles de la actividad a nivel superficial, vistos desde los costados occidental y oriental. ....	24
<b>Figura 22.</b> Imágenes fotográficas tomadas en el sobrevuelo realizado el 15 de septiembre. (a) Actividad fumarólica que se presenta en la parte alta del Pico Central, en el costado occidental. (b) Columna de gases en la parte alta del cráter, visto desde el sector sur del volcán. ....	25
<b>Figura 23.</b> Imágenes del sobrevuelo efectuado el 29 de septiembre de 2010.....	27
Figura 24. Imágenes fotográficas tomadas en el sobrevuelo realizado el 01 de octubre. (a) tendencia de la columna de desgasificación VNH. (b) apreciación de gases liberados por colapso. (c) vista panorámica del costado oriental del domo. (d) detalle costado oriental del domo. (e) acumulación de material nuevo en la parte alta del domo, nótese el cambio en el color del nuevo material. ....	28
Figura 25. Imágenes fotográficas tomadas en el sobrevuelo realizado el 29 de octubre. (a) tendencia de la columna de desgasificación del VNH. (b) detalle focos de desgasificación en la superficie del domo. (c) apreciación de gases liberados por colapsos en el domo. (d) detalle costado occidental del domo. (e) detalle focos de desgasificación en la superficie del domo costado occidental. (f) panorámica del domo en extrusión, costado occidental y oriental. (g) vista costado oriental VNH en sentido Norte – Sur. (h) detalle costado oriental del domo en sentido Norte – Sur. ....	30



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Figura 26. A) Detalle del volcán Nevado del Huila y su proceso de desgasificación en imágenes obtenidas durante los sobrevuelos realizados en el mes de noviembre. En ellos no se apreciaron cambios representativos en la actividad superficial del mismo, destacándose la recarga de la masa glaciar .....	31
Figura 27. Imagen térmica procesada del flanco oriental del domo. Los colores dentro del recuadro central muestran las zonas más calientes. Los valores indican la temperatura en grados Celsius.....	32
Figura 28. Imágenes obtenidas empleando una cámara termográfica en la que se aprecian anomalías térmicas de hasta 252°C, localizadas en la parte inferior del sector occidental del domo. ....	32
Figura 29. Detalle de la parte baja del domo lávico, se aprecia un incremento en la temperatura de emisión hacia los límites del mismo, coincidiendo con los focos de emisión de gases a superficie. ....	33
<b>Figura 30.</b> Fotografías tomadas en el sobrevuelo al Volcán Nevado del Huila, el día 6 de diciembre de 2010 .....	34
Figura 31. Imágenes infrarrojas captadas a través de la cámara IR, durante el sobrevuelo realizado al VNH el 6 de diciembre de 2010, en ellas se observan las anomalías térmicas (zonas más brillantes), en la superficie del domo. (a), (b) Costado occidental del edificio volcánico. (c) Vista desde el costado sur. (d) Parte alta del domo en el sector suroriental .....	35
Figura 32. Mapa de localización de cámaras web para apoyar el seguimiento especial de la actividad superficial en el Volcán Nevado del Huila. ....	36
Figura 33.....	37
Figura 34.....	38
Figura 35.....	39
Figura 36.....	40
<b>Figura 37.</b> Incandescencias captadas a través de la cámara instalada en Maravillas (Páez - Cauca), agosto 29 de 2010 .....	41
Figura 38. Imágenes satelitales suministradas por el VAAC, durante los días 28 y 29 de julio de 2010, se puede observar la posible evolución de la pluma a través del tiempo.....	42
<b>Figura 40.</b> Historial de hot-spots para el volcán Nevado del Huila, detectados por el sensor satelital MODIS. ....	43
<b>Figura 40.</b> Volcán Puracé y parte de la cadena volcánica de los Coconucos, fotografía del 29 de septiembre de 2010. .	45
<b>Figura 41.</b> Cadena volcánica de los Coconucos .....	46
<b>Figura 42.</b> Red de vigilancia del volcán Puracé. ....	49
<b>Figura 43.</b> Valor de funcionamiento de la red de vigilancia del volcán Puracé, segundo semestre de 2010. ....	50
Figura 44. Gráfica que relaciona el número y tipo de eventos registrados en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010. ....	51
Figura 45. Energía sísmica liberada diariamente por el volcán Puracé, segundo semestre de 2010. ....	52
Figura 46. Energía sísmica acumulada por el Volcán Puracé, segundo semestre de 2010.....	52
Figura 47. Distribución de la magnitud de coda para eventos VT, volcán Puracé, segundo semestre de 2010.....	53
Figura 48. Distribución de la magnitud de coda para eventos de Largo Periodo (LP), volcán Puracé, segundo semestre de 2010. ....	53
Figura 49. Relación de S-P presentada por los eventos VT en el volcán Puracé, segundo semestre de 2010.....	54
<b>Figura 51.</b> Mapa de localización de eventos Volcano -Tectónicos registrados durante el segundo semestre de 2010 en el volcán Puracé.....	55
Figura 52. Mapa de localización de los eventos LP, segundo semestre de 2010 en el volcán Puracé.....	56
Figura 53. Mapa de localización de los eventos tipo Tornillo, segundo semestre de 2010 en el volcán Puracé .....	56
Figura 54. Eventos sísmicos mensuales, volcán Puracé año 2010.....	57
Figura 55. Frecuencia asociada a la máxima amplitud en eventos LP – segundo semestre de 2010. ....	58
Figura 57. Registro sísmico que comprende: la señal sísmica, el espectrograma de la misma y su respectivo espectro de frecuencias. (a) Tornillo registrado el 17 de agosto a las 11:08 UT (b) Tornillo registrado el 2 de diciembre a las 13:53 UT. ....	59
Figura 57. Registro sísmico que comprende: la señal sísmica, el espectrograma de la misma y su respectivo espectro de frecuencias. (a) Tornillo registrado el 17 de agosto a las 11:08 UT (b) Tornillo registrado el 2 de diciembre a las 13:53 UT. ....	59



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Figura 58. Evento de fractura del volcán Puracé registrado el 2 de diciembre a las 21:24 UT. Señal digital, espectrograma y espectro de frecuencia. ....	60
Figura 59. Eventos de fractura registrados en el volcán Puracé durante el año 2010, vista en el sentido W-E. ....	61
Figura 60. Eventos de fractura registrados en el volcán Puracé durante el año 2010, vista en el sentido N-S. ....	62
<b>Figura 61.</b> Inclínometro electrónico Guañarita, ubicado sobre el costado norte del edificio volcánico. ....	63
<b>Figura 62.</b> Inclínometro electrónico Lavas Rojas, ubicado sobre el costado occidental del edificio volcánico. ....	64
<b>Figura 63.</b> Vector de nivelación Campamento. ....	65
<b>Figura 64.</b> Vector de nivelación Pilimbalá. ....	66
<b>Figura 65.</b> Vector de nivelación La Mina. ....	66
<b>Figura 66.</b> Vector de nivelación La Estación. ....	67
<b>Figura 67.</b> Algunas de las imágenes fotográficas del volcán Puracé captadas a través de la cámara WEB instalada en la estación La Mina, durante el segundo semestre de 2010. ....	69
<b>Figura 68.</b> Comportamiento de la resultante teórica del campo magnético terrestre para el sitio de la estación Laguna (de acuerdo con el modelo de referencia mundial IGRF), respecto a la resultante medida por el magnetómetro, entre el 17 y el 31 de diciembre de 2010. Se observan variaciones día-noche, generadas por los cambios diarios en la radiación solar. ....	70
<b>Figura 71.</b> Temperaturas de fuentes termales, Volcán Puracé, 25 de Noviembre de 2010. ....	72
Figura 70. Volcán Sotará. ....	73
Figura 70. Mapa de la red de estaciones del Volcán Sotará – 2010. ....	74
Figura 74. Porcentaje de funcionamiento de cada una de las estaciones durante el segundo semestre de 2010. ....	75
Figura 72. Número de eventos acumulados durante el segundo semestre 2010. ....	76
<b>Figura 73.</b> Energía liberada diaria por los eventos Volcano-Tectónicos y Largo Periodo, del segundo semestre de 2010. ....	77
Figura 74. Raíz de la energía sísmica acumulada diaria, liberada por el Volcán Sotará a través de los eventos VT's registrados durante el segundo semestre de 2010 (Julio - Diciembre). ....	77
Figura 75. a) Distribución de la magnitud y b) Distribución de la S-P para la sismicidad VT del Volcán Sotará (II Semestre 2010). ....	79
Figura 76. Localización de eventos VT del volcán Sotará del segundo semestre de 2010. ....	80
Figura 77. Evento de fractura del 15 de septiembre de 2010. ....	81
<b>Figura 78.</b> Comportamiento del inclínometro electrónico "Sotará" hasta diciembre de 2010. ....	82
<b>Figura 79.</b> Comportamiento del inclínometro electrónico "Oso" hasta diciembre de 2010. ....	82



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Características de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila.....	5
<b>Tabla 2.</b> Número de eventos registrados en el volcán Nevado del Huila.....	7
Tabla 3. Principales características de los eventos Volcano-tectónicos, con magnitudes locales superiores a 2, que se registraron durante el segundo semestre de 2010.....	16
<b>Tabla 4.</b> Características generales de las mediciones realizadas con movilDOAS.....	17
<b>Tabla 5.</b> Resultados de los cálculos de los flujos de dióxido de azufre.....	18
Tabla 6. Características de la red de vigilancia del volcán Puracé.....	49
<b>Tabla 7.</b> Número de eventos sísmicos registrados por el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010.....	50
<b>Tabla 8.</b> Eventos VT del segundo semestre de 2010 con Magnitud Local mayor o igual a 2.0.....	55
Tabla 9. Características principales de los eventos tipo VT registrados en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010 y que presentaron magnitudes locales mayores o iguales a 1.5.....	60
Tabla 11. Coordenadas aproximadas de algunas fuentes termales WGS84.....	70
Tabla 12. Características de la Red de Vigilancia del Volcán Sotará.....	74
Tabla 13. Número de eventos registrados en el volcán Sotará - Segundo Semestre 2010.....	75
Tabla 14. Número de eventos y Energía liberada en el volcán Sotará en el Segundo Semestre de 2010.....	76
Tabla 15. Parámetros de localización de eventos Volcano – tectónicos registrados del 1 de julio al 31 de diciembre de 2010, con magnitudes superiores a 2.0.....	78



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

## INTRODUCCIÓN

El Instituto Colombiano de Geología y Minería "INGEOMINAS", entidad de orden gubernamental adscrita al Ministerio de Minas y Energía, tiene dentro de sus deberes misionales el evaluar y monitorear las amenazas geológicas existentes dentro del territorio nacional. Tal es el caso de los volcanes potencialmente activos que se hallan localizados sobre los Andes colombianos.

La labor de evaluación y monitoreo de los citados volcanes se inició luego de la erupción del volcán Nevado del Ruiz en noviembre de 1985, con la creación de lo que hoy se conoce como la red de Observatorios Vulcanológicos y Sismológicos de Colombia, entes activos adscritos a la Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental del INGEOMINAS. Entre ellos se encuentra el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán (OVS-Popayán), creado en 1993 con el objetivo de establecer un sistema de vigilancia que permitiera hacer un seguimiento continuo a los volcanes Nevado del Huila, Puracé y Sotará, localizados sobre el eje de la cordillera Central en el sector suroccidental del territorio nacional, los cuales han manifestado actividad reciente.

Para cumplir con el objetivo propuesto, el OVS-Popayán ha implementado redes de vigilancia en cada volcán a fin de obtener información continua y en tiempo real del comportamiento presentado por ellos. Esta información es analizada e interpretada por personal técnico que labora en el Observatorio, y posteriormente es dada a conocer a la comunidad a través de los diferentes documentos que se publican regularmente.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

## 1. VOLCÁN NEVADO DEL HUILA



Figura 1. Volcán Nevado del Huila.

El volcán Nevado del Huila 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. Su cima está cubierta por un casquete glaciar de 11 km<sup>2</sup>, en el 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 como consecuencia del retroceso glaciar de los últimos años, además del domo extruido en los procesos volcánicos ocurridos en noviembre de 2008 y octubre de 2009, este domo se halla emplazado en la parte alta del edificio volcánico entre los Picos Central y Sur.

El Pico Central que tiene una altura de 5364 m.s.n.m. (máxima altura del complejo volcánico), se constituye en la mayor altura de la cadena montañosa de los Andes en Colombia y en el eje central de la actividad volcánica del Nevado del Huila, pues en él confluyen los focos de localización de la actividad sísmica asociada a procesos internos de fracturamiento de material a niveles más superficiales, que se registra en el edificio volcánico, así como parte de la actividad fumarólica observada.

El volcán Nevado del Huila inició un período de reactivación en el primer semestre de 2007, con las dos erupciones freáticas ocurridas en los meses de febrero y abril. Posteriormente, continuó presentando altos niveles de actividad sísmica, los cuales fueron disminuyendo paulatinamente en los meses siguientes, hasta alcanzar niveles considerados como estables, durante el segundo semestre de 2007 y primeros meses de 2008.

A partir de la última semana del mes de marzo de 2008, el volcán Nevado del Huila inició una nueva etapa en su actividad, la cual se caracterizó por el registro de eventos sísmicos asociados a fracturamiento de roca con magnitudes locales que alcanzaron valores de hasta 4.8 en la escala de Richter, también se destacó un incremento súbito en esta actividad con alternancia en el registro de sismicidad asociada a fracturamiento de





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

roca y de la sismicidad asociada a movimiento y tránsito de fluidos; además de fluctuaciones importantes en las concentraciones de SO<sub>2</sub> emanadas por el volcán; este comportamiento se observó hasta inicios del mes de noviembre, cuando ocurrió un nuevo cambio en la actividad sísmica, caracterizado por la ocurrencia de eventos tipo Drumbeat - asociados a salida de material magmático a superficie - lo cual antecedió a la erupción freatomagmática del 20 de noviembre de 2008, con la cual se dio la extrusión de un domo lávico en el costado suroccidental del Pico Central.

En el primer semestre de 2009 el volcán tuvo un periodo de relajación, que se caracterizó por presentar baja ocurrencia de la actividad relacionada con procesos asociados a la dinámica de fluidos y bajas tasa de emisión de gases a la atmósfera. Sin embargo, a mediados de octubre se dio un nuevo incremento en estos parámetros, prevaleciendo en el registro de eventos asociados a dinámica de fluidos, tales como: tremor continuo, eventos LP y sismicidad tipo Drumbeat; así mismo se registraron grandes incrementos en los valores de emisión de SO<sub>2</sub> y ocasionales pequeñas emisiones de ceniza a la atmósfera. Este nuevo hecho culminó con una nueva extrusión de material magmático en la parte alta del domo preexistente.

En el año 2010 el comportamiento sísmico del volcán continuó presentando un claro dominio de los procesos asociados a la dinámica de fluidos, con alternancia entre periodos de alta ocurrencia de eventos sísmicos y periodos de baja ocurrencia; sin embargo, los cambios a nivel energético fueron casi imperceptibles. Por otro lado, se registraron señales asociadas con actividad superficial en la parte alta del edificio volcánico, proceso que fue verificado con las imágenes adquiridas por las cámaras web, evidenciando la ocurrencia de incandescencias y desplomes de material del cuerpo dómico en la parte alta del Pico Central.

## **1.1 RED DE VIGILANCIA VOLCANICA.**

La red de vigilancia volcánica está compuesta por un conjunto de equipos que implementan técnicas correspondientes a las diferentes disciplinas utilizadas en las labores de monitoreo volcánico, tales como: *geofísica* con la red de estaciones sismológicas de corto período y banda ancha, que permiten hacer un seguimiento a la dinámica interna que presenta el volcán; *geodesia* con los inclinómetros electrónicos, utilizados para medir posibles deformaciones del suelo, *geoquímica* con estaciones de ScanDOAS y MóvilDOAS, que constan de escáneres fijos y móviles utilizados para realizar mediciones de gases volcánicos - especialmente SO<sub>2</sub> (Dióxido de azufre) - , *geomorfología* con cámaras digitales, sensores de flujos de lodos, sensores acústicos y registros fotográficos realizados a través de sobrevuelos, que en conjunto se utilizan para realizar seguimiento a los cambios estructurales del edificio volcánico así como los posibles flujos de lodo que se puedan formar como consecuencia de la actividad volcánica.

La conformación de cada una de las redes anteriormente descritas, así como el funcionamiento presentado por ellas (en términos porcentuales) durante el segundo semestre de 2010, se exponen a continuación:

### **1.1.1 Red de estaciones sismológicas.**

Para el segundo semestre de 2010 el OVS-Popayán contó con una red operativa de cuatro estaciones sismológicas, las cuales se hallan instaladas en los alrededores del edificio volcánico: dos estaciones triaxiales de corto periodo conocidas como “Verdún 2” y



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

“Diablo”, ubicadas en el sector norte, y dos estaciones triaxiales de Banda Ancha: Buco y Maravillas, localizadas en el sector sur. (Tabla 1, Figura 3). Además de ellas se tiene la estación de Cerro Negro, ubicada en el costado oriental del Pico Sur. Esta estación presenta un funcionamiento por debajo del nivel mínimo aceptado como óptimo - 50% -, debido a inestabilidades del terreno donde se encuentra instalada.

La red de estaciones sismológicas presentó en conjunto, óptimos niveles de funcionamiento durante el semestre, con un valor aproximado del 84 % (Figura 2). En este período se realizaron labores de mantenimiento correctivo al sistema repetidor de las estaciones de Banda Ancha ubicado en Belalcázar y a la estación repetidora de las estaciones de corto período en La Meseta (Jamundí – Valle).

#### **1.1.2 Red de Estaciones Sensoras de Flujos de Lodo.**

La red de estaciones sensoras de flujos de lodo instalada en octubre de 2006 bajo el convenio interinstitucional suscrito por INGEOMINAS (OVS-Popayán), la Corporación NASA KIWE, la DGPAD y la Alcaldía de Páez, consta de siete (7) estaciones fijas ubicadas a lo largo de las cuencas de los ríos Páez y Símbola (Figura 3), con el objetivo de monitorear y detectar posibles cambios volumétricos en los caudales de los mismos. La recepción inicial de la información que suministra la red se realiza en la cabecera municipal de Belalcázar y posteriormente se envía a través de un enlace satelital al Observatorio en Popayán, para su correspondiente análisis.

Durante el segundo semestre de 2010, esta red presentó un óptimo nivel de funcionamiento, con un valor aproximado del 93 % para todas las estaciones (Figura 2). Se destaca que en los meses de julio y agosto se realizaron mantenimientos correctivos en las estaciones de la Mesa de Toéz y Buco.

#### **1.1.3 Estaciones de ScanDOAS.**

Estos equipos se emplean en la medición de las emisiones de Dióxido de Azufre, que efectúa el volcán a la atmósfera. Los datos obtenidos a través de los cálculos que se hacen de manera continua, se utilizan en el análisis del comportamiento del sistema volcánico.

El nivel de funcionamiento presentado por las estaciones SCANDOAS durante el semestre fue óptimo, con valores del 100 % para cada estación (Figura 2).

#### **1.1.4 Cámaras de Seguimiento Superficial.**

En el mes de julio se instaló una nueva cámara web, en el sitio conocido como Maravillas, al suroriente del edificio volcánico; que junto con la cámara instalada en el segundo semestre de 2008, en sector conocido como Tafxnú (Taravira), al suroccidente del volcán (Tabla 1 y Figura 3), permitieron realizar el seguimiento a los fenómenos vulcanológicos



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

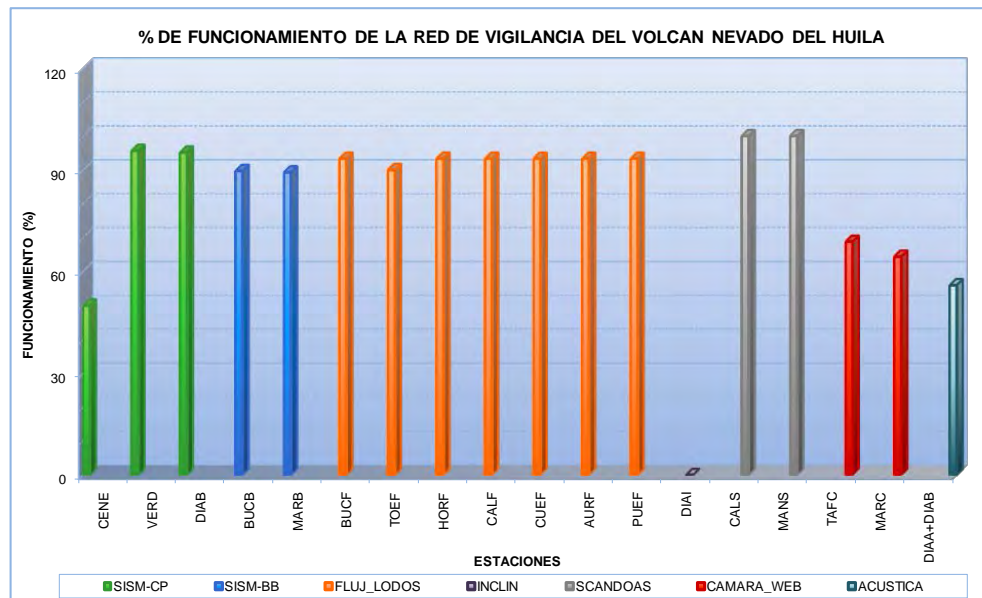
más importantes ocurridos en superficie y a la dinámica del campo fumarólico ubicado en la parte alta del complejo volcánico. La información obtenida, se recolecta en forma de imágenes fotográficas que son enviadas periódicamente a Belalcázar y posteriormente al OVS-Popayán a través de enlace satelital, para su respectivo análisis.

En el segundo semestre de 2010 las cámaras Web presentaron buenos niveles de funcionamiento, con porcentajes aproximados de 69 % y 64 %, respectivamente, tal como se observa en la figura 2.

### 1.1.5 Inclinómetro Electrónico y Estación Acústica.

Durante el segundo semestre de 2010, el inclinómetro electrónico instalado en Diablo, continuó fuera de servicio; mientras que la estación acústica instalada en el mismo lugar, presentó fallas en su funcionamiento, debido a problemas de estabilización y ajustes en los equipos. Por tanto, el porcentaje de funcionamiento para el semestre fue de 56 %.

Los valores de funcionamiento de cada una de las estaciones que componen la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila, así como las características de cada una de ellas y su localización, se pueden apreciar en las figuras 2, 3 y la tabla 1.



**Figura 2.** Valor de funcionamiento de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila, primer semestre de 2010. Códigos: **SISM-CP** (Sismológica de corto período), **SISM-BB** (Sismológica de Banda Ancha), **FLUJO\_LODOS** (Sensores flujos de lodo), **INCLIN** (Inclinómetro electrónico), **SCANDOAS** (Escáneres para SO<sub>2</sub>), **CAMARA** (Cámara Web), **ACUSTICA** (Sensor acústico).

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

Nombre	Tipo	Latitud	Longitud	Operativa
--------	------	---------	----------	-----------



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

<i>Diablo</i>	Corto Periodo Triaxial	2°58'30"	76°03'40.4"	Sí
<i>Verdún 2</i>	Corto Periodo Triaxial	2°58'10.3"	76°01'55.7"	Sí
<i>Buco</i>	Banda Ancha	2°50'26.7"	76°03'81.7"	Sí
<i>Maravillas</i>	Banda Ancha	2°50'33"	75°57'16"	Sí
<i>Diablo</i>	Inclinómetro	2°58' 30"	76°03'40.4"	No
<i>Diablo</i>	Acústica	2°58' 30"	76°03'40.4"	Sí
<i>Tafxnú</i>	Cámara WEB	2°43'41.3"	76°02'37.3"	Sí
<i>Maravillas</i>	Cámara WEB	2°50'33"	75°57'16"	Sí
<i>Cali</i>	ScanDOAS	3°22'9.3"	76°31'35.3"	Sí
<i>Manantía</i>	ScanDOAS	2°59'48.8"	76°29'37.8"	Sí
<i>Buco</i>	Monitor Flujos Lodo	2°49'35.5"	76°3'17.3"	Sí
<i>Tóez</i>	Monitor Flujos Lodo	2°46'35.4"	76°3'8.2"	Sí
<i>Cohetandyó</i>	Monitor Flujos Lodo	2°44'13.7"	76°1'49.7"	Sí
<i>Aurora</i>	Monitor Flujos Lodo	2°46'31.9"	75°57'35.2"	Sí
<i>Pueblo Nuevo</i>	Monitor Flujos Lodo	2°45'34.6"	75°57'41.1"	Sí
<i>Calderitas</i>	Monitor Flujos Lodo	2°44'18.7"	75°58'8.8"	Sí
<i>Muralla</i>	Monitor Flujos Lodo	2°39'9.5"	75°59'51.8"	Sí



Figura 3. Mapa de la red de vigilancia volcánica instalada en el volcán Nevado del Huila.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

## 1.2 ACTIVIDAD SÍSMICA

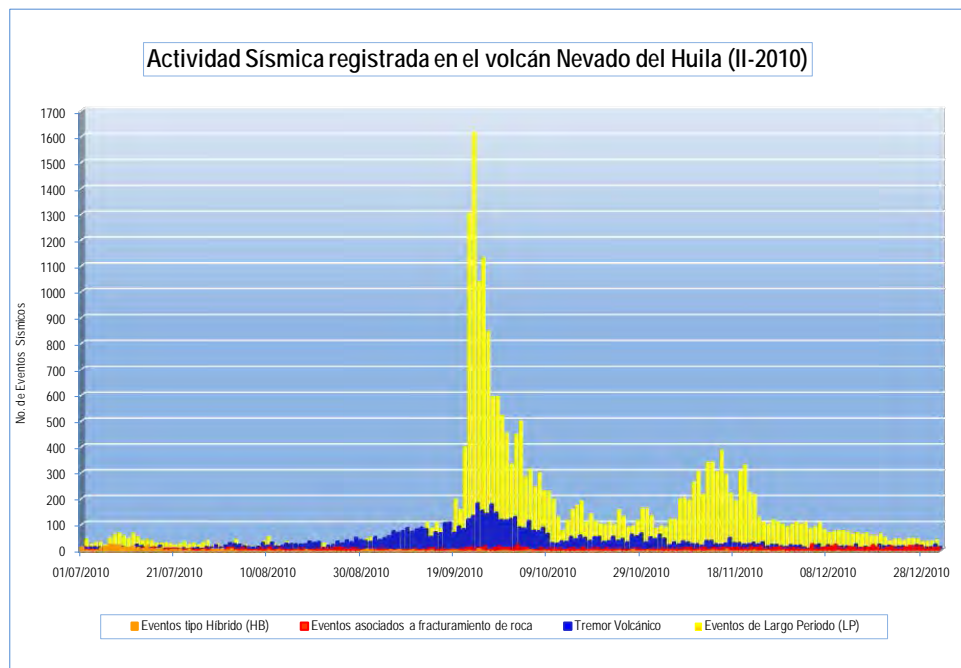
El comportamiento presentado por el volcán Nevado del Huila, durante el segundo semestre de 2010 se caracterizó por mostrar un marcado dominio de la actividad sísmica asociada a la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos, con periodos de baja actividad sísmica alternados con periodos donde se incrementa significativamente la actividad, tal como se observa en los meses de septiembre y noviembre (Figura 4). En cuanto a la sismicidad asociada a los procesos de fracturamiento de roca, esta tuvo niveles bajos de ocurrencia.

Por lo anterior, en el segundo semestre de 2010 se registraron 31519 eventos sísmicos, de los cuales, 1222 estuvieron asociados a procesos internos de fracturamiento de roca (VT), y 30297 a procesos que involucran movimiento y tránsito de fluidos dentro de los conductos volcánicos. De estos últimos, 23645 fueron catalogados como eventos de Largo Periodo (LP), 531 como eventos con mecanismos compuestos de fracturamiento de roca y dinámica de fluidos (HB), 2 (dos) eventos como LP de baja frecuencia (BF), y 6119 pulsos de tremor de baja magnitud (TR), muchos de ellos asociados con la posible extrusión de material incandescente que se observó en la parte alta del volcán durante los meses de agosto, septiembre y octubre, a través de imágenes captadas por las cámaras web.

La tabla 2 y la figura 4 detallan el comportamiento sísmico en cuanto a la ocurrencia de eventos registrados en el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2010.

**Tabla 2.** Número de eventos registrados en el volcán Nevado del Huila.

Tipo de Evento	VT	LP	HB	BF	TR
Número de Eventos	1222	23645	531	2	6119



**Figura 4.** Número y tipo de eventos registrados en el VNH durante el segundo semestre de 2010.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

El aporte energético realizado diariamente por la sismicidad asociada a procesos de fracturamiento de roca durante el segundo semestre de 2010 tuvo dos periodos definidos, el primero de ellos comprendió la primera parte del semestre hasta septiembre, y muestra un sistema relajado con bajos aportes de energía, el segundo período que inició a finales del mes de septiembre, se caracterizó por presentar algunas fluctuaciones como consecuencia del registro ocasional de eventos que alcanzaron magnitudes locales entre 2.7 y 3.4. Es importante anotar que la mayor liberación de energía, relacionada con este tipo de sismicidad, se dio el 4 de diciembre (Figura 5), con un valor aproximado de  $1.56 \text{ E}+16$  ergios; en este día, se tuvo el registro de un evento que alcanzó una magnitud local de 3.4, junto a 23 eventos más, con magnitudes locales menores. En cuanto a la energía sísmica liberada por los eventos relacionados con la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos, ésta presentó una tendencia estable con bajos aportes energéticos hasta finales del mes de agosto, a partir de esta fecha se observó un incremento gradual en la energía liberada, hasta alcanzar un máximo el 22 de septiembre, con un valor aproximado de  $6.71 \text{ E}+15$  ergios, en este día se dio el registro de 1605 eventos tipo LP. Posteriormente, se aprecia como la energía va decayendo hasta llegar a niveles similares a los observados en los meses de julio y agosto (Figura 5).

(Nota: con el objetivo de visualizar mejor los detalles en los cambios de energía, las gráficas se realizan con la raíz cuadrada de la misma).

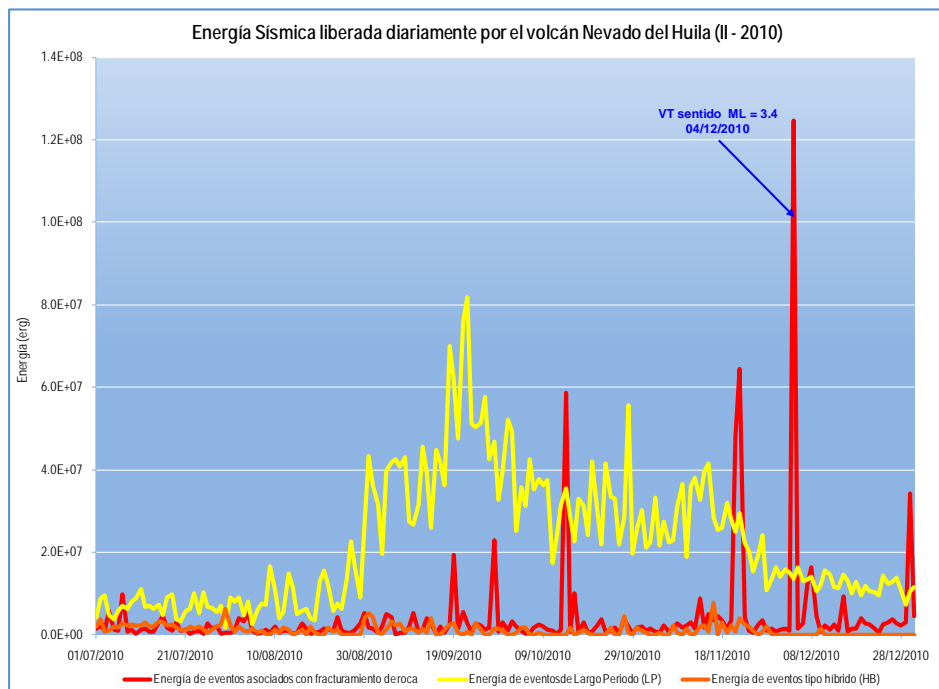


Figura 5. Energía liberada por el volcán Nevado del Huila a través de la sismicidad relacionada con procesos internos de fractura de material y de tránsito de fluidos durante el segundo semestre de 2010.

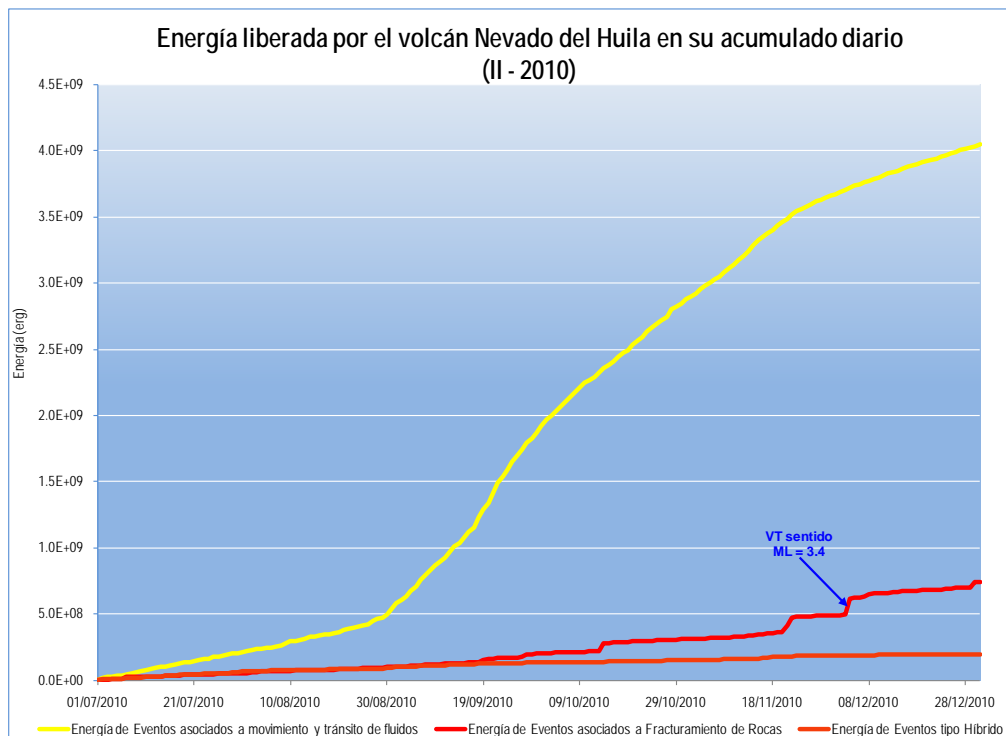
En la gráfica de la figura 6 se puede apreciar el comportamiento general de la energía sísmica liberada por el volcán Nevado del Huila, a través del acumulado diario de la misma. Se observa que los aportes energéticos realizados tanto por los eventos asociados a fracturamiento de roca, como por los eventos tipo HB, fueron



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

pequeños y mostraron tendencias estables, pues los pequeños incrementos que se ven en la curva correspondiente a la sismicidad de fractura, fueron ocasionados por el registro de eventos con magnitudes locales superiores a 2.7, que no comprometieron la estabilidad del sistema.

En cuanto a la energía liberada por los eventos de Largo Periodo, su comportamiento fue diferente, pues además del dominio que ella representó en la dinámica del volcán; también tuvo un cambio importante en la tendencia observada durante los meses de julio y agosto, el cual incrementó en los meses de septiembre y octubre. Este cambio se caracterizó por ser más energético que procesos observados anteriormente y por ocurrir a niveles superficiales que involucraron salidas de material incandescente en la parte alta del volcán, algunas de las cuales fueron apreciadas a través de las cámaras web instaladas en Taxfnú y Maravillas. Este proceso se prolongó hasta mediados del mes de noviembre, cuando la tendencia energética empieza a retornar a los niveles observados en la primera parte del semestre (Figura 6).



**Figura 6.** Acumulado de la energía sísmica liberada diariamente por el VNH a través de la sismicidad asociada a procesos de fractura y de la sismicidad asociada a la dinámica de fluidos durante el segundo semestre de 2010.

### 1.2.1 Localización de eventos de Fractura.

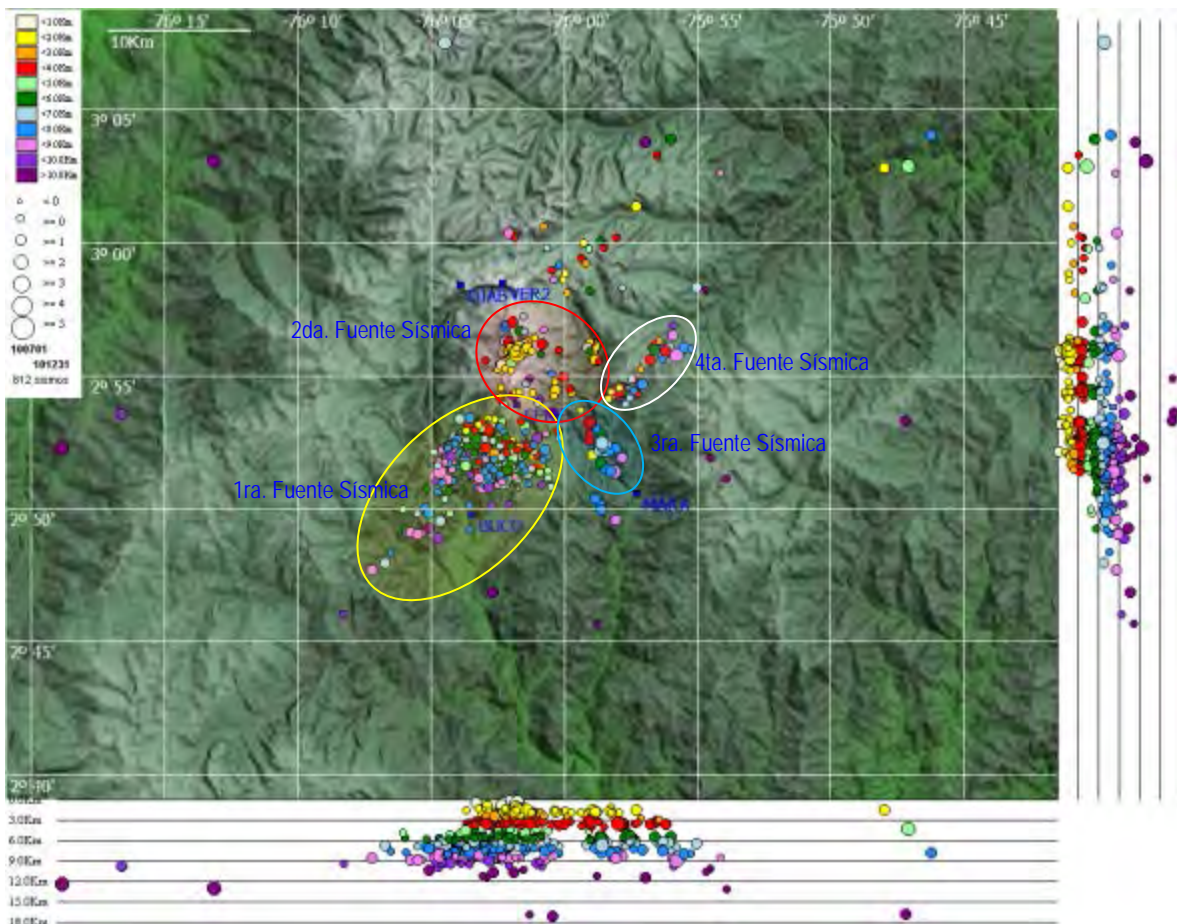
Los eventos asociados a procesos de fracturamiento de roca que se localizaron durante el segundo semestre de 2010, presentaron focos epicentrales tanto dentro del edificio volcánico como en el área circundante (Figura 7). Se presume una relación bastante estrecha con la actividad de la falla Moras que cruza el complejo volcánico en dirección SW-NE.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

La sismicidad localizada dentro del edificio volcánico presentó cuatro zonas epicentrales ó fuentes sísmicas principales para este período, las cuales son fácilmente identificables en el mapa de localización de la figura 7. La primera fuente sísmica se encuentra ubicada en el sector suroccidental del edificio volcánico, en ella se da la mayor concentración de eventos asociados a fracturamiento de roca, los cuales presentan focos hipocentrales que oscilan entre 5 y 12 km principalmente. Esta fuente podría estar relacionada con el fenómeno de intrusión profunda de material magmático. La segunda fuente, se localiza en la parte alta del edificio, en torno al Pico Central, los eventos aquí localizados tienen hipocentros más superficiales, esto es, entre 0.5 y 6 km. Las dos fuentes restantes, se localizan en el costado oriental del edificio, sobre la cuenca del río Símbola, estas fuentes son poco consistentes en el tiempo y la cantidad de eventos que aquí se localizan son menores en comparación con las fuentes anteriores.

La sismicidad asociada a fracturamiento de roca que se localizó durante el semestre, se caracterizó por presentar una gran concentración sísmica en focos hipocentrales que oscilaron entre 5 y 9 km de profundidad (Figura 8), y magnitudes locales en el rango de 0 y 1.5 en la escala de Richter (Figura 9).

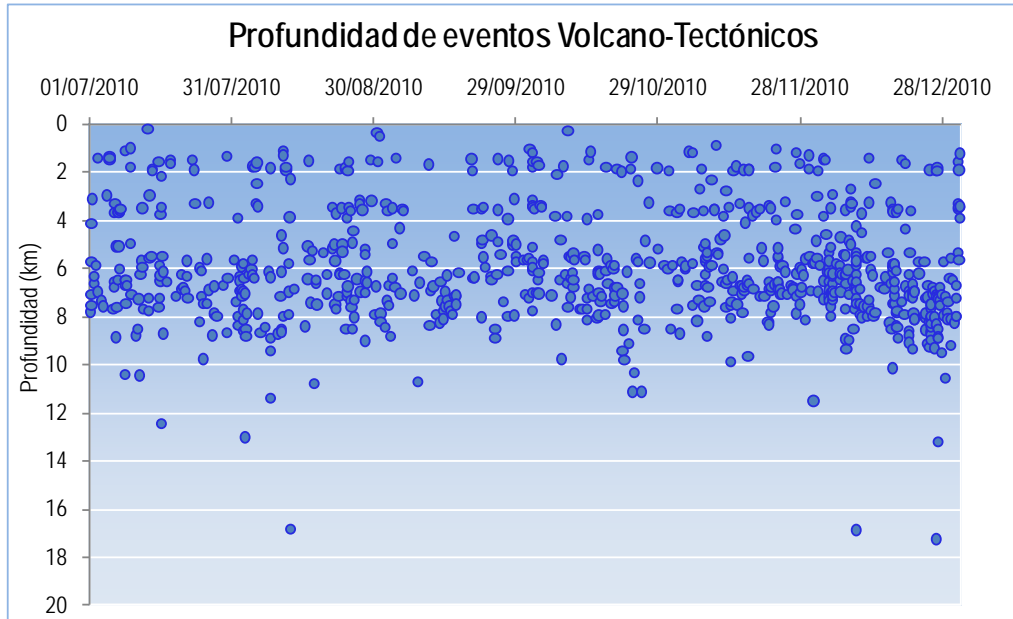


**Figura 7.** Mapa de localización de eventos registrados durante el segundo semestre de 2010, en el volcán Nevado del Huila.

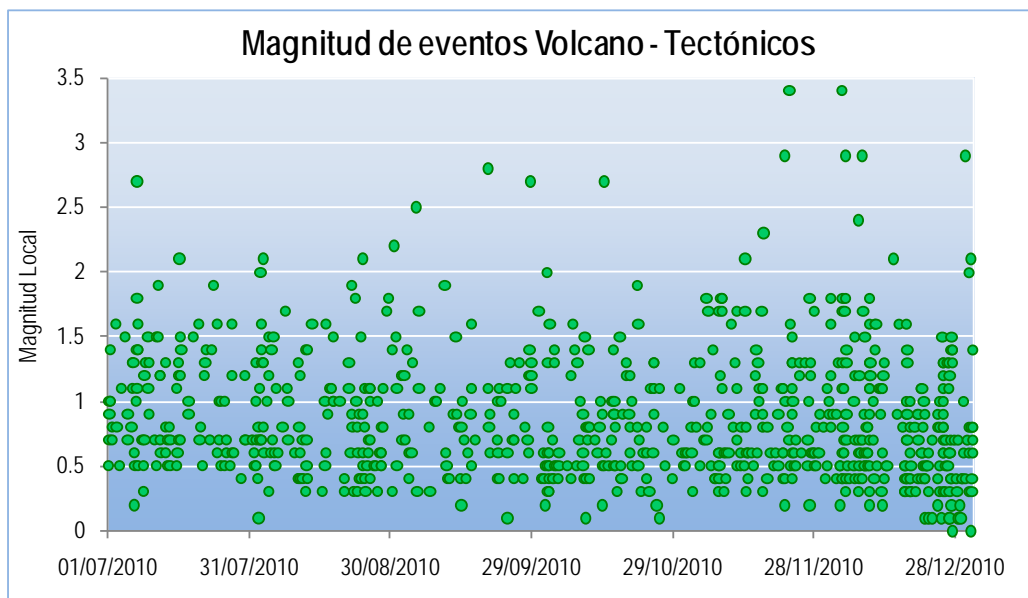




**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 8.** Relación de profundidad vs fecha de los eventos tipo VT localizados en el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2010.



**Figura 9.** Relación de magnitud vs fecha de los eventos localizados en el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2010.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

### 1.2.2 Actividad sísmica relevante registrada durante el segundo semestre de 2010.

Durante el segundo semestre de 2010 la actividad sísmica continuó siendo caracterizada por el predominio de eventos asociados con la dinámica de gases y fluidos dentro de los conductos volcánicos, destacándose principalmente la sismicidad registrada durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, en los cuales se presentaron los incrementos más notables de eventos LP y pulsos de tremor espasmódico, sismicidad que estuvo acompañada de notable actividad superficial como emisiones de gases ocasionalmente acompañados de cenizas y material incandescente. En contraste, los eventos sísmicos relacionados con fracturamiento de roca presentaron una tendencia estable en cuanto a su frecuencia de ocurrencia y energía sísmica asociada, situación que mostró una leve variación hacia los meses de noviembre y diciembre, en los cuales se presentó un incremento en el número de eventos y un cambio en la curva de energía sísmica liberada, debido a la ocurrencia de dos sismos con magnitud local igual a 3.4 en la escala de Richter.

Pese a que en términos generales los procesos dominantes en el volcán Nevado del Huila durante todo el año 2010 estuvieron relacionados con el fenómeno de ascenso y extrusión de material magmático, la sismicidad asociada con la evolución del cuerpo dómico emplazado en superficie desde finales del 2009, presentó niveles energéticos mayores en la segunda mitad del año; particularmente entre los meses de septiembre y octubre durante los cuales la sismicidad registrada se pudo asociar con una tasa de extrusión de material alta, lo que conllevó a cambios en morfología y volumen del domo. Finalmente, para los meses de noviembre y diciembre el nivel de actividad alcanzado por el volcán presentó un marcado descenso en el número de eventos asociados con la dinámica de fluidos y el aporte energético de los mismos, lo cual estuvo acompañado por una disminución en la actividad superficial: niveles bajos de emisión de SO<sub>2</sub> y procesos de desgasificación tranquila, indicando que el sistema volcánico entró en un periodo de relajación que marca las etapas finales del proceso de migración de material magmático hacia niveles más superficiales que se había iniciado desde el pasado mes de mayo.

En la figura 10 se puede apreciar la variación del tipo de actividad sísmica presentado durante el año 2010. En ella puede notarse como para el primer semestre la sismicidad predominante corresponde a la de fluidos, destacándose el incremento en la recurrencia de la actividad tipo Híbrido que se presentó en el mes de junio. En contraste, durante el segundo semestre el predominio de los eventos LP estuvo acompañado de un incremento en la ocurrencia de pulsos de tremor espasmódico, sismicidad enmarcada dentro de los procesos de extrusión de material magmático y desgasificación intensa que se presentaron durante esta época. La figura 11 muestra el histograma acumulado de los cuadrados de las amplitudes del sistema de registro sísmico RSAM (Real-time Seismic-Amplitude Measurement), para la componente norte-sur de la estación Verdún. El aumento de pendiente involucra un incremento en la energía sísmica. Por definición la suma de los cuadrados de las amplitudes RSAM es proporcional a la energía sísmica liberada.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

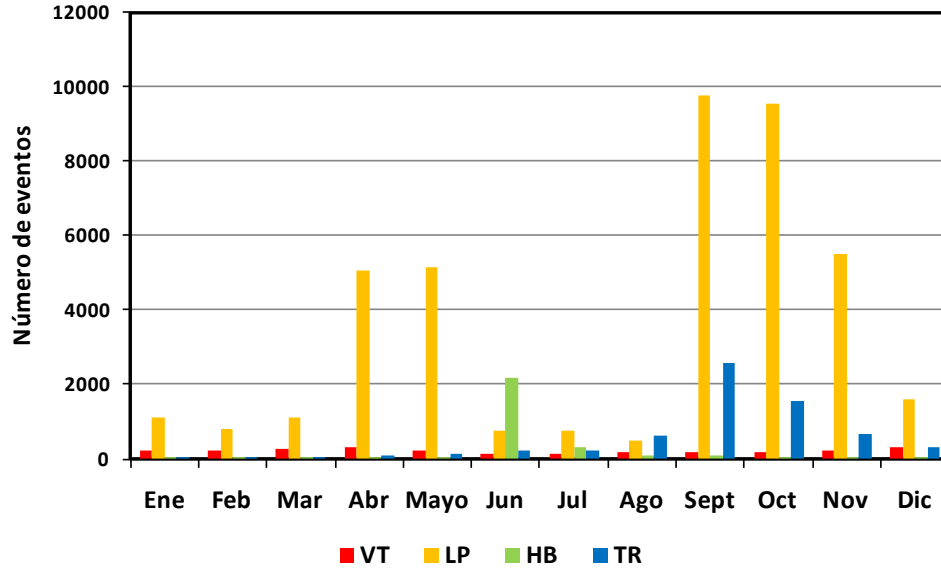


Figura 10. Relación de la actividad sísmica registrada en el VNH durante el segundo semestre de 2010.

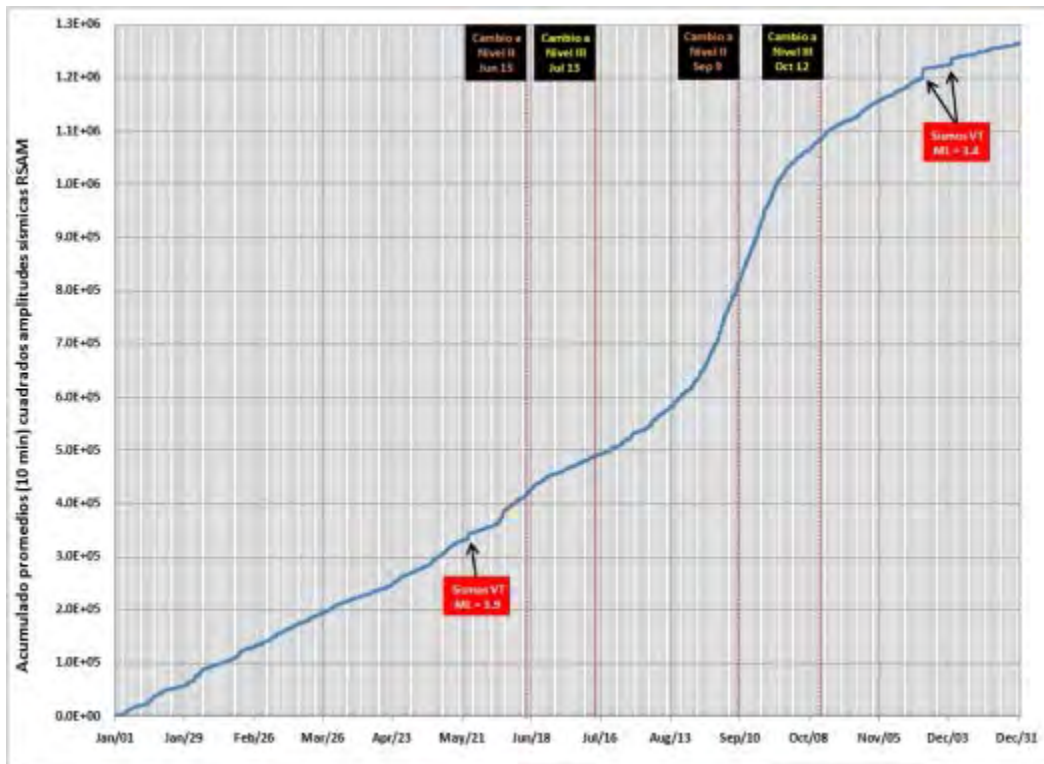


Figura 11. Histograma acumulado de los cuadrados de las amplitudes RSAM para la componente norte-sur de la estación Verdún, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2010.

El cambio en el nivel de actividad sísmica que inició desde la última semana de agosto continuó su tendencia incremental durante todo el mes de septiembre, los pulsos de temblor espasmódico se volvieron más



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

recurrentes y energéticos asociándose algunos de ellos con emisiones pulsátiles de gases y cenizas a superficie, indicando la evolución del sistema a un estado de mayor excitación lo que conllevó a realizar el cambio a Nivel de actividad II el día 9 de septiembre. La figura 12 muestra el registro de los eventos LP "tipo Drumbeat" y los pulsos de tremor espasmódico registrados durante la última semana de agosto, los cuales corresponden al primer incremento en la sismicidad de fluidos registrado durante el segundo semestre de 2010. La figura 13 muestra un sismograma representativo de la actividad "tipo Drumbeat" que se presentó de forma recurrente por un periodo de casi dos meses; en ella, se aprecia el registro digital de la estación Verdun2 para los días 21, 22 y 23 de septiembre de 2010, donde se puede observar el registro casi continuo de eventos Drumbeat intercalados con pulsos de tremor espasmódico

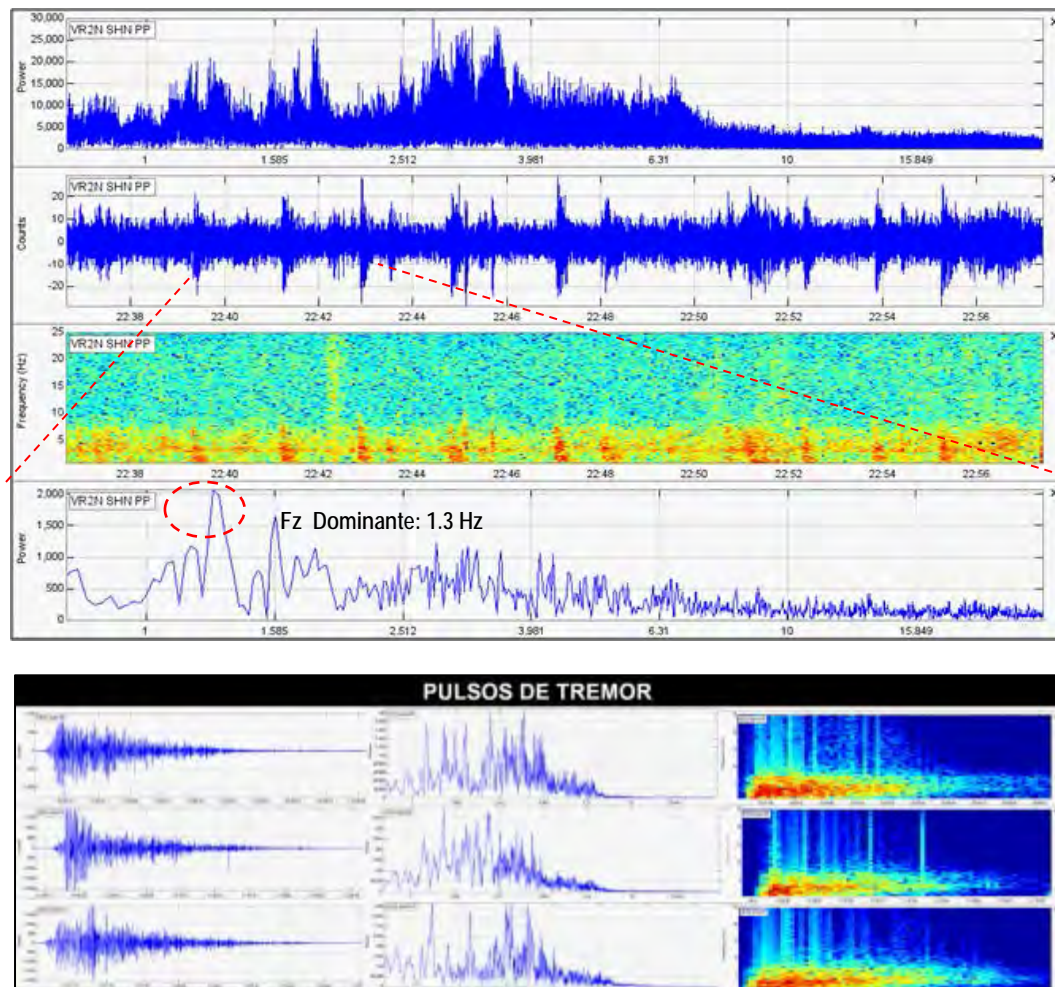


Figura 12. Eventos tipo Drumbeat y pulsos de tremor espasmódico registrados durante la última semana de agosto.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

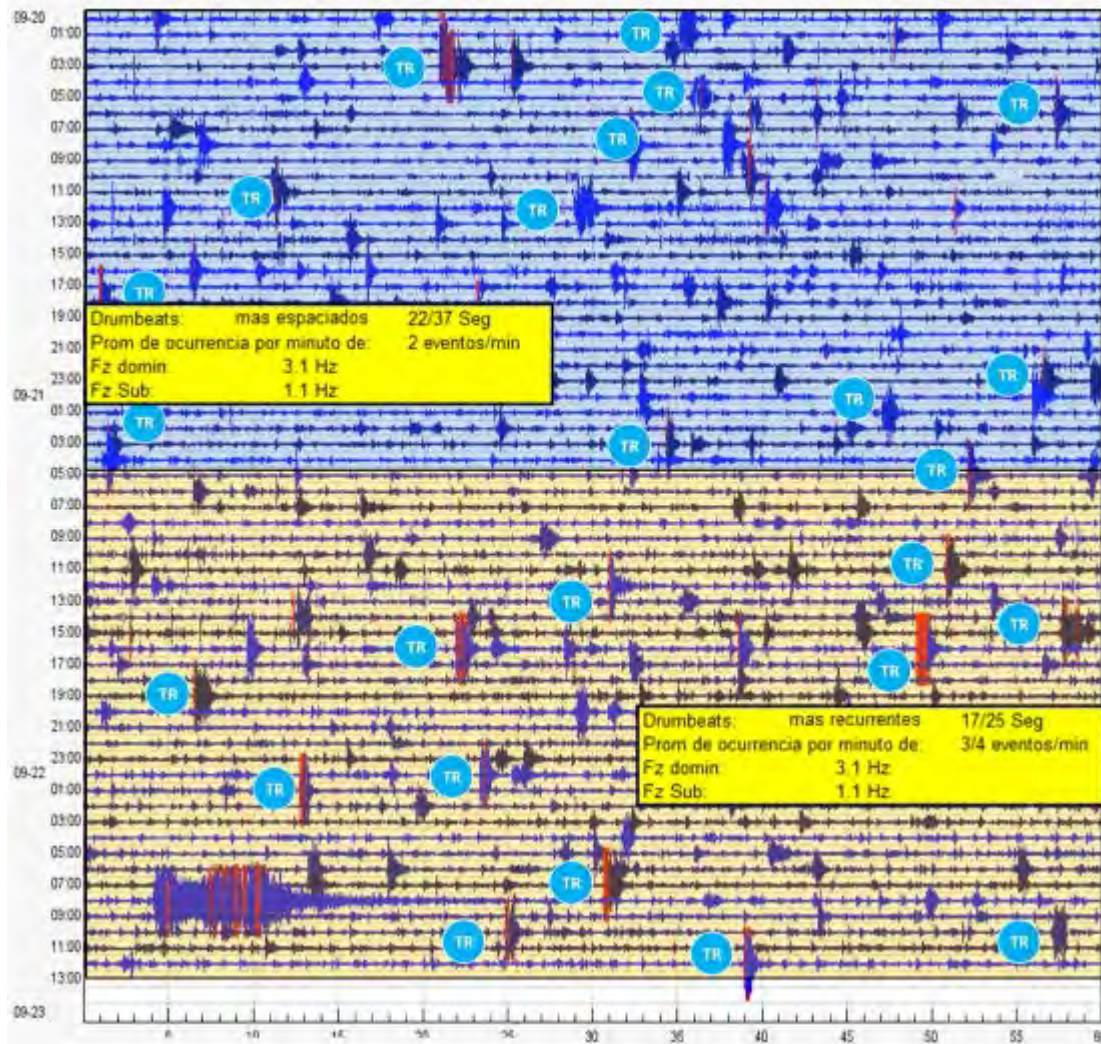


Figura 13. Sismograma digital de la estación Verdun2 para los días 21, 22 y 23 de septiembre.

El proceso de extrusión de material magmático a superficie se mantuvo de forma eficiente hasta finales del mes de octubre, no obstante desde inicios de dicho mes, los niveles energéticos de la sismicidad de fluidos, así como las manifestaciones superficiales que la acompañaban, empezaron a decaer de manera sostenida hasta finalmente retornar a niveles considerados como estables.

El comportamiento de la actividad relacionada con los procesos de fractura no presentó variaciones destacadas durante el semestre. El mayor aporte energético para este tipo de sismicidad se presentó en los meses de noviembre y diciembre, una vez que la actividad de fluidos había retornado a niveles considerados como estables. Se destaca el evento registrado el día 22 de noviembre el cual alcanzó una magnitud local de 3.4 en la escala de Richter, y se localizó en el sector del Pico Central a una profundidad de 1 km. Este evento sísmico coincidió con un drástico descenso en la actividad LP y los pulsos recurrentes de tremor, lo que podría indicar que la liberación de energía de este evento a niveles superficiales generó condiciones de cráter semi-abierto, en el que la sobre-presurización en los conductos del volcán disminuyó, dando lugar a la



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

ocurrencia de desgasificación de forma tranquila y a una menor movilización de gases y fluidos. Finalmente, es importante mencionar el evento de magnitud local 3.4 ocurrido el día 3 de diciembre, el cual se localizó al sur del edificio volcánico a una profundidad de 5 km y que fue reportado como sentido por los pobladores de la parte alta del río Páez. Es probable que este evento y aquellos de magnitud inferior que se localizaron recurrentemente en este sector y a profundidades alrededor de los 8 km, puedan estar asociados con pulsos de intrusión magmática profunda dadas las características del proceso volcánico iniciado desde 2007.

La tabla 3 detalla los eventos Volcano-tectónicos que alcanzaron magnitudes locales iguales o superiores a 2 durante el segundo semestre.

**Tabla 3.** Principales características de los eventos Volcano-tectónicos, con magnitudes locales superiores a 2, que se registraron durante el segundo semestre de 2010.

Fecha	Hora (UT)	Latitud N	Longitud W	Profundidad (km)	Magnitud Local
07/07/2010	04:52	2°54.67'	75°57.90'	4	2.7
02/08/2010	11:01	2°51.43'	75°58.16'	8.2	2.0
24/08/2010	03:34	2°56.17'	75°58.96'	1.8	2.1
30/08/2010	17:12	2°55.98'	76°01.81'	0.4	2.2
04/09/2010	13:33	2°02.91'	75°47.12'	3	2.5
19/09/2010	17:02	2°55.93'	76°16.30'	2	2.8
28/09/2010	16:25	2°51.87'	75°41.50'	8	2.7
02/10/2010	09:17	2°51.92'	76°02.34'	6	2.0
14/10/2010	10:15	2°56.06'	76°01.73'	1.3	2.7
17/11/2010	07:06	2°52.76'	75°58.66'	5.5	2.3
21/11/2010	17:35	2°52.13'	76°04.32'	6.9	2.9
22/11/2010	19:33	2°56.57'	76°01.27'	1	3.4
03/12/2010	01:54	2°52.23'	76°02.03'	5	3.4

### 1.3 ACTIVIDAD SUPERFICIAL

#### 1.3.1 Geoquímica y Físicoquímica.

La cuantificación de los gases provenientes de un volcán es una valiosa herramienta utilizada en los observatorios vulcanológicos del mundo para el monitoreo y la investigación de la actividad volcánica. El gas dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es una de las especies químicas de mayor interés en la evaluación de las columnas volcánicas debido a su relativa alta solubilidad en el magma, lo cual la define como un buen indicador del ascenso del magma a superficie. Cuando el ascenso de los fluidos volcánicos se produce a través de conductos abiertos, las señales sísmicas de largo período y los temblores correlacionan positivamente con los flujos de los gases por los conductos volcánicos.

El monitoreo del dióxido de azufre emitido por el volcán Nevado del Huila se ha estado realizando mediante dos estrategias de medición:



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

1. Con sistemas de escaneo.
2. Con un sistema móvil.

Las mediciones móviles se desarrollan desde un carro por la vía Panamericana que une los departamentos del Cauca y el Valle; mientras que las mediciones permanentes en horarios diurnos se realizan con sistemas permanentes instalados en Santander de Quilichao y Cali.

En la tabla 4 se indican las mediciones realizadas en forma móvil por la carretera Panamericana en el segundo semestre del 2010. Se observa que las mediciones se han realizado semanalmente en horarios cercanos al mediodía donde las condiciones atmosféricas y solares son las más favorables. Las columnas de gases del volcán Nevado del Huila en el segundo semestre del 2010 han estado dirigidas preferencialmente hacia el Océano Pacífico a alturas superiores a los 4 km. Las columnas volcánicas han tenido amplitudes entre 8.4 y 20.5 km de ancho, tal como se muestra en la última columna de la tabla 4.

**Tabla 4.** Características generales de las mediciones realizadas con movilDOAS.

FECHA (dd/mm/aa)	HORA		RECORRIDO	DIRECCION COLUMNA	ANCHO DE LA COLUMNA (km)
	INICIO (hh:mm:ss)	FIN (hh:mm:ss)			
14/07/10	12:41:05	13:06:20	Mandiva – P/Tejada	W	18.8
22/07/10	10:55:06	11:48:13	P/Tejada – Rio Ovejas	W	18.8
26/07/10	12:34:12	13:26:43	Mandiva – P/Tejada	NW	20.5
14/08/10	12:21:24	12:49:08	S/Quilichao - Villarrica	NW	9.8
24/08/10	14:19:58	14:50:27	Villarrica – Rio Ovejas	W	18.6
31/08/10	13:01:00	13:25:13	Mondomo - Villarrica	W	10.9
02/09/10	11:07:44	11:34:37	Villarrica - Mondomo	W	12.1
07/09/10	12:11:53	12:55:14	El Mango – S/Quilichao	W	15.0
15/09/10	10:31:07	10:51:39	C/Los Andes - Mandiva	W	9.1
21/09/10	12:05:59	12:57:16	P/Tejada – Rio Ovejas	NW	17.2
22/10/10	14:57:16	15:35:02	S/Quilichao - Corinto	NW	8.4
26/10/10	14:40:53	15:13:58	Pescador - Villarrica	W	8.7
26/11/10	11:44:40	12:17:42	Pescador - Piendamó	SW	6.3
20/12/10	14:05:54	14:54:35	S/Quilichao - Tunia	W	9.7
21/12/10	14:44:40	15:17:42	Pescador – P/Tejada	W	39.1
28/12/10	10:50:13	11:18:25	Villarrica – El Pital	W	12.0

En la Tabla 5 se muestran los resultados de los cálculos realizados para las fechas de las mediciones. Se observa que las columnas medidas en su corte vertical - de un metro - han tenido concentraciones del dióxido de azufre entre 23.9 y 409 ppm.

En la figura 14 se simula el flujo del dióxido de azufre medido el día 21 de septiembre de 2010 entre las 12:05:59 y las 12:57:16 el cual se extendía desde Puerto Tejada hasta el Rio Ovejas, con mayores concentraciones sobre la troposfera de la vía que une a las poblaciones de Villarrica con Santander de Quilichao. El flujo total fue estimado en 6447 toneladas diarias con una velocidad del viento de 4.0 m/s, registrados en 1088 espectros en la región ultravioleta.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Tabla 5. Resultados de los cálculos de los flujos de dióxido de azufre.

FECHA (dd/mm/aa)	ESPECTROS	SO <sub>2</sub> MAX (ppm-m)	DIRECCIÓN VIENTO (grados)	VELOCIDAD VIENTO (m/s)	FLUJO SO <sub>2</sub>	
					kg/s	t/d
14/07/10	444	63.8	284	6.5	10.5	906
22/07/10	916	56.8	283	10.8	32.4	2799
26/07/10	905	50.2	294	8.0	22.3	1929
14/08/10	476	103.3	294	10.8	28.2	1441
24/08/10	557	124.2	272	7.9	28.5	2466
31/08/10	405	333.8	281	5.3	51.5	4448
02/09/10	461	63.3	275	6.6	11.9	1036
07/09/10	857	290.4	262	4.5	43.9	3797
15/09/10	476	87.2	279	11.5	25.9	2238
21/09/10	1088	409.0	293	4.4	74.6	6447
22/10/10	669	135.3	292	4.5	17.6	1522
26/10/10	697	137.2	276	4.1	15.7	1356
26/11/10	708	43.1	249	4.0	4.1	352
20/12/10	846	48.2	260	4.3	9.2	799
21/12/10	750	48.8	276	7.3	9.1	786
28/12/10	517	23.9	280	8.0	7.5	648

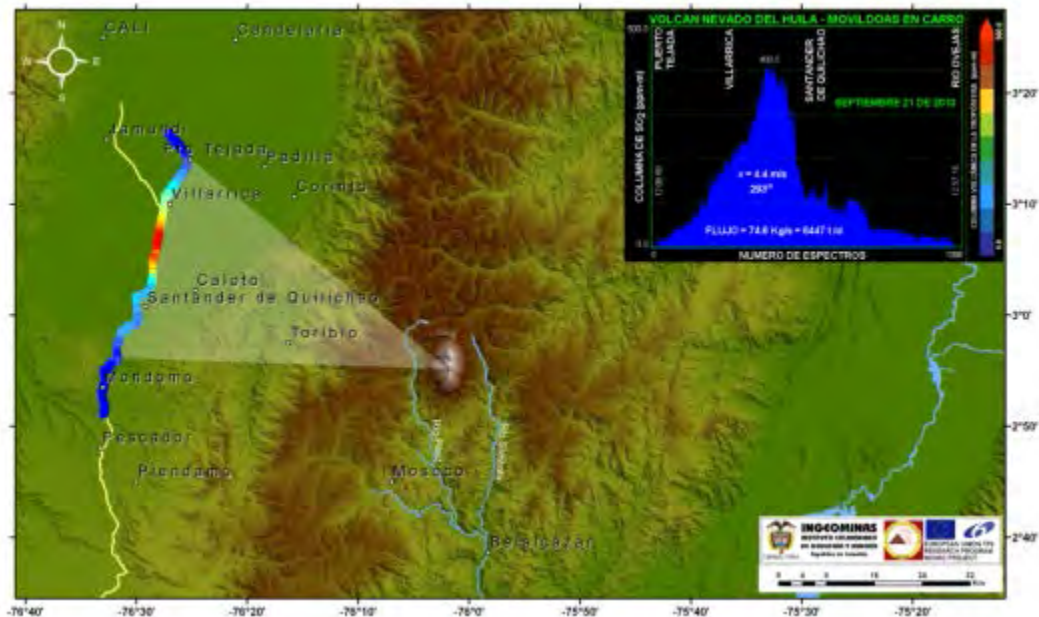


Figura 14. Simulación y espectro del flujo medido el día 21 de septiembre de 2010.

En la figura 15 se ilustran todos los resultados del segundo semestre del 2010, donde se puede observar que las velocidades de los vientos no han definido la tendencia de los flujos de dióxido, sino que estos han tenido una relación directa con el numero de moléculas medidas en el periodo de estudio. En el trimestre Julio –





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Septiembre se observó un incremento de las emisiones del dióxido de azufre desde 906 hasta 6447 toneladas diarias. Esta tendencia desapareció en el trimestre Octubre – Diciembre.

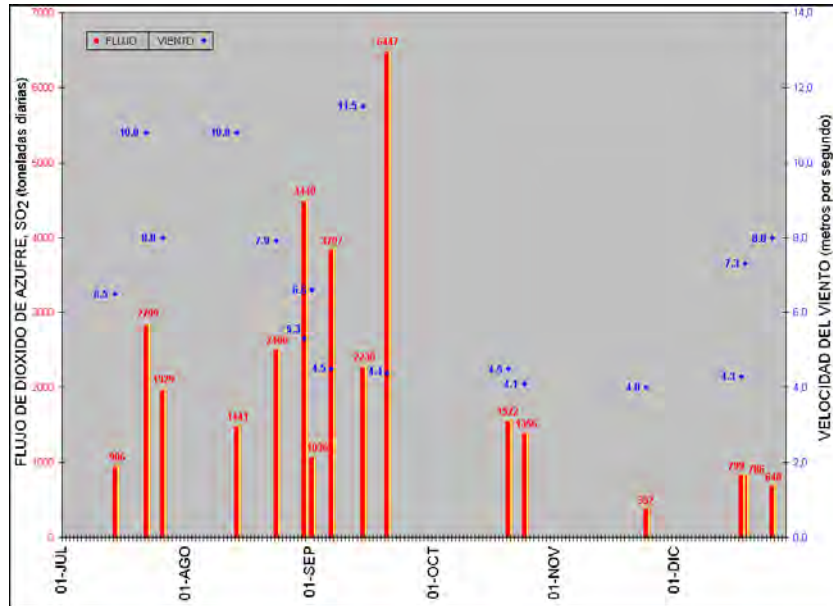


Figura 15. Flujos de dióxido de azufre contra velocidad del viento.

El incremento del dióxido de azufre observado entre julio y septiembre de 2010 es comparativamente mucho más pequeño que el incremento observado entre Julio y Septiembre de 2008 - el cual se relacionó con el surgimiento del primer domo-. En la figura 16 se pueden comparar estos dos procesos, donde se destaca la diferencia de los incrementos de los flujos del dióxido de azufre en el segundo semestre del 2008 con el reducido incremento en el segundo semestre del 2010.

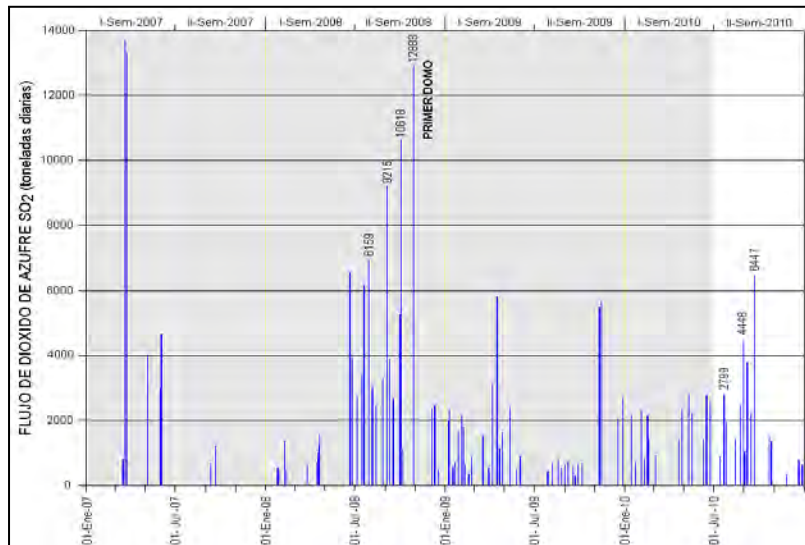


Figura 16. Emisiones del dióxido de azufre 2007 - 2010.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

### 1.3.2 Cambios morfológicos en superficie.

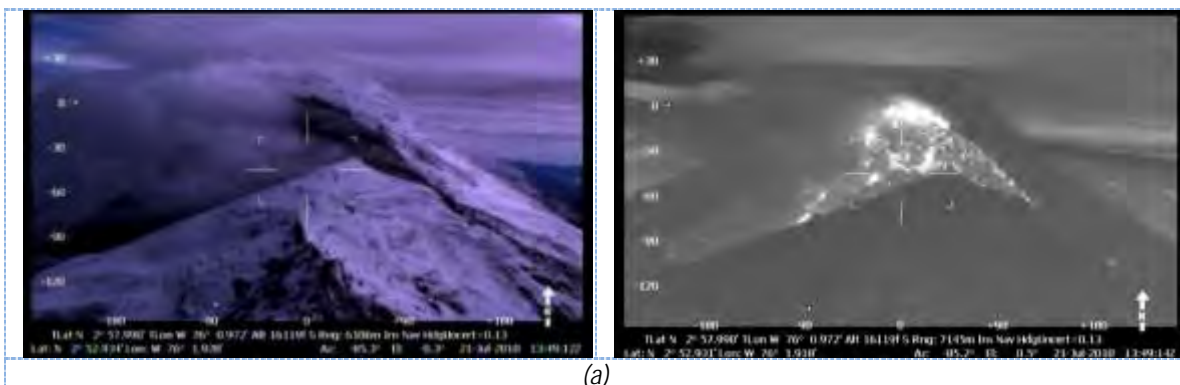
#### 1.3.2.1 Sobrevuelos.

Parte del seguimiento especial que el OVS-Popayán hace a los diferentes cambios morfológicos y estructurales del edificio volcánico y sus alrededores, se realiza a través de los sobrevuelos que se realizan regularmente, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). La información obtenida se utiliza como insumo en las labores de monitoreo y vigilancia volcánica. Es por esto, que en el transcurso del segundo semestre de 2010, se realizaron 12 sobrevuelos al volcán y su área de influencia, en ellos se apreció la evolución del domo que se halla en proceso de extrusión desde noviembre de 2008, la actividad en las fuentes fumarólicas y algunas emisiones de material a superficie. Los principales cambios observados a través de los registros fílmicos y fotográficos obtenidos en cada sobrevuelo se detallan a continuación:

#### SOBREVUELOS - JULIO

El 1 y 21 de julio se realizaron dos sobrevuelos de reconocimiento superficial al área de influencia del volcán Nevado del Huila con la colaboración de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Dentro de los cambios superficiales y aspectos más relevantes observados en el sobrevuelo se tienen:

- Se apreciaron algunas anomalías térmicas, en la cima del domo en extrusión desde octubre de 2009 (Figura 17), esta zona coincide con el foco de emisión de material magmático que se halla localizado entre el domo y el cráter del volcán.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

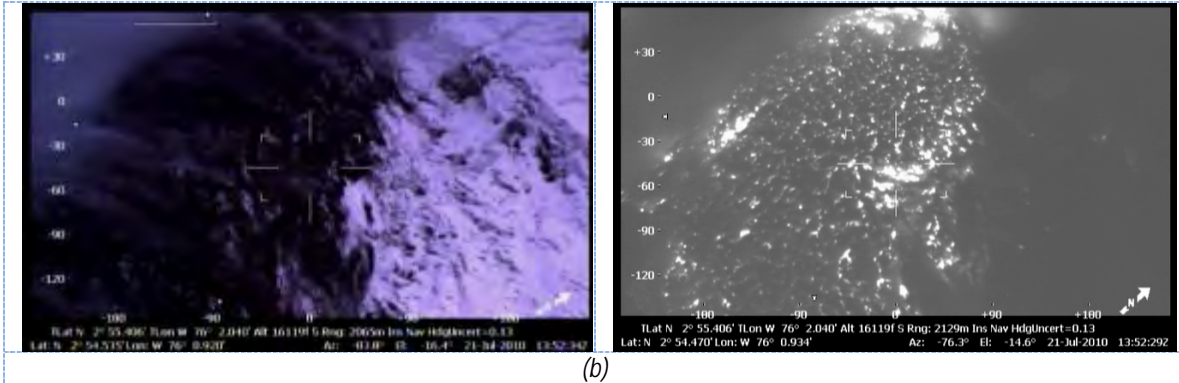
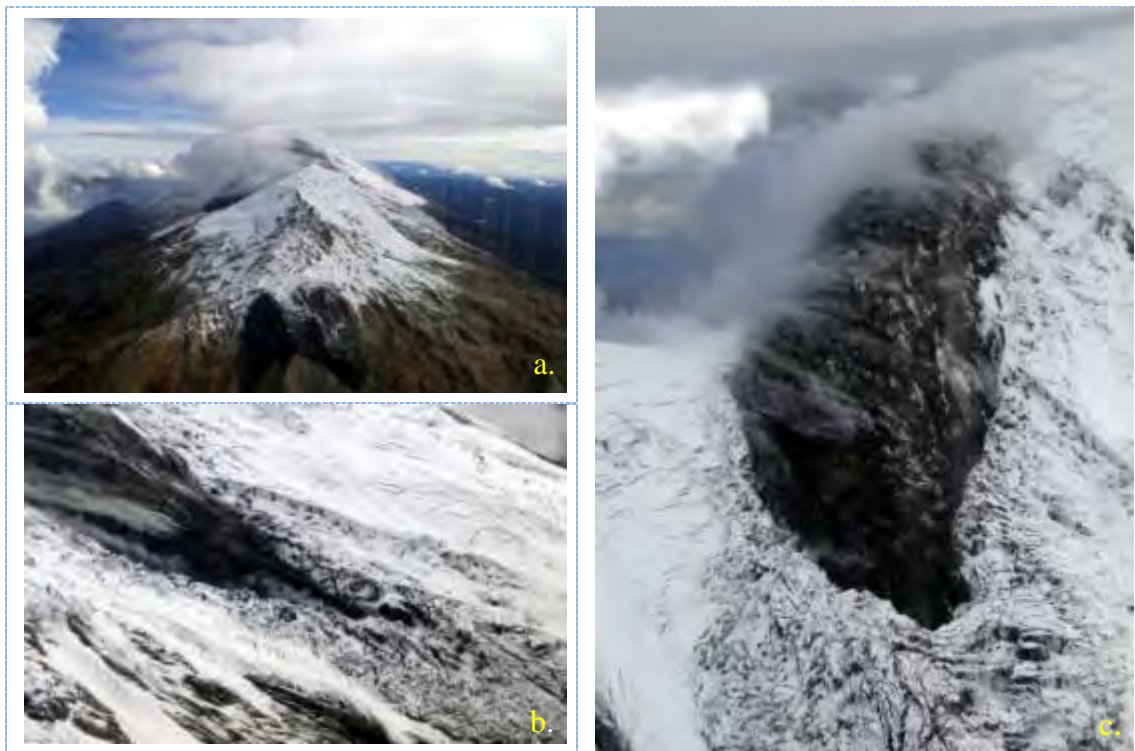


Figura 17. Imágenes infrarrojas captadas a través de la cámara FLIR, durante el sobrevuelo realizado al VNH el 21 de julio de 2010, en ellas se observan las anomalías térmicas (zonas más brillantes en las imágenes de la derecha), en la parte alta del domo. (a) Vista desde el sur. (b) Detalle de la superficie del domo, visto desde el suroriente.

- Continúan los procesos de desgasificación en la superficie del domo de lava emplazado entre el Pico Central y el Pico Sur (Figura 18). Durante el sobrevuelo no se percibieron olores a gases azufrados.
- Se observó recarga en el casquete glaciar, siendo notoria la acumulación de nieve sobre la superficie del domo, lo que hace suponer una apreciable disminución en la temperatura de la superficie dómica (Figura 18).





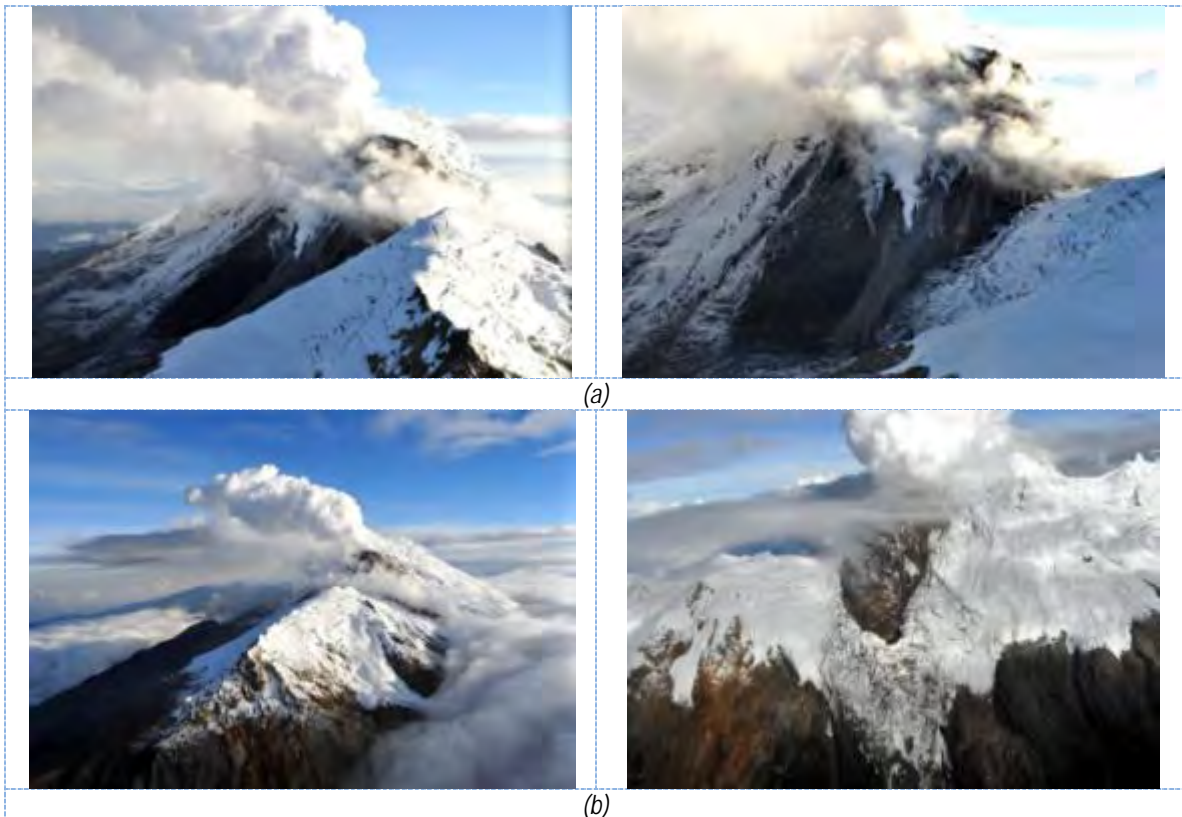
**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VOLCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**Figura 18.** (a) Detalle del domo de lava emplazado en la superficie de la parte alta del edificio volcánico visto desde el sur. (b) Se observan las emisiones de gases volcánicos provenientes de la superficie del domo. (c) Parte del domo extendida sobre el costado oriental del volcán, en esta imagen se aprecia el empuje mecánico que el domo mismo ejerce sobre la capa glacial.

### **SOBREVUELOS - AGOSTO**

Con el objetivo de efectuar un seguimiento especial a la evolución del proceso volcánico y los cambios geomorfológicos asociados al mismo, el 19 de agosto se realizó con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), un sobrevuelo al área de influencia del Volcán Nevado del Huila.

- Con base en el material fotográfico recopilado, se observó intensa desgasificación del sistema volcánico en focos de emisión localizados en la parte alta del cráter, en la zona de intersección de los domos extruidos en los años 2008 y 2009, y sobre la superficie del domo emplazado en el 2009 en columnas que se dispersaron hacia el occidente del edificio volcánico. Igualmente, fue posible confirmar que el proceso de extrusión de material magmático hacía superficie continua su evolución, especialmente en la parte alta del cráter.



**Figura 19.** Imágenes del sobrevuelo realizado el 19 de agosto de 2010



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

- Continúan los procesos de desgasificación en la superficie del domo de lava emplazado entre el Pico Central y el Pico Sur (Figura 20). Durante el sobrevuelo no se percibieron olores a gases azufrados.
- Se observó la recarga en el casquete glaciar, siendo notoria la acumulación de nieve sobre la superficie del domo, lo que hace suponer una disminución en la temperatura en algunos puntos de la superficie dómica (Figura 22).



**Figura 20.** Detalle del domo de lava emplazado en la superficie de la parte alta del edificio volcánico visto desde el costado oriental.

Se observan focos de emisión de gases volcánicos provenientes de la superficie del domo. Igualmente se aprecia la deformación que el domo ejerce sobre el glaciar.



Figura 21. Detalles de la actividad a nivel superficial, vistos desde los costados occidental y oriental.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**SOBREVUELOS - SEPTIEMBRE**

Durante el mes de septiembre, el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán realizó con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), dos sobrevuelos al Volcán Nevado del Huila con el objetivo de efectuar un seguimiento a la evolución del proceso volcánico y los cambios geomorfológicos asociados al mismo. En las imágenes obtenidas en los sobrevuelos efectuados los días 15 y 29 de septiembre se destacan las siguientes apreciaciones:

- El proceso de extrusión de material magmático a superficie continua su evolución, situación que se refleja especialmente en la parte alta del cráter.
- El sistema volcánico continúa desgasificando de manera eficiente en focos de emisión que se localizan en la parte alta del cráter, en la zona de intersección de los domos extruidos en 2008 y 2009, y sobre la superficie del domo emplazado en 2009.
- En el sobrevuelo realizado el día 15 se apreció el área de depositación de un flujo de bloques y hielo originado en la cara occidental del edificio volcánico, en el límite inferior entre el cuerpo dómico y la masa glaciar el cual descendió aproximadamente 1.5 km en línea recta por el costado occidental.

En las figuras 18, 19 y 20 se aprecian las imágenes más representativas tomadas durante estos dos sobrevuelos, en donde la característica principal que se observa es la desgasificación intensa que se presenta en la parte alta del volcán, y la zona de depositación del flujo de bloques de hielo y roca en el costado occidental.



**Figura 22.** Imágenes fotográficas tomadas en el sobrevuelo realizado el 15 de septiembre. (a) Actividad fumarólica que se presenta en la parte alta del Pico Central, en el costado occidental. (b) Columna de gases en la parte alta del cráter, visto desde el sector sur del volcán.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



a). Vista general de la zona con la línea de avance del depósito



b). Sitio final de deposición del material, aproximadamente a 1.5 km del glaciar, en línea recta a través de la pendiente oriental del edificio volcánico.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

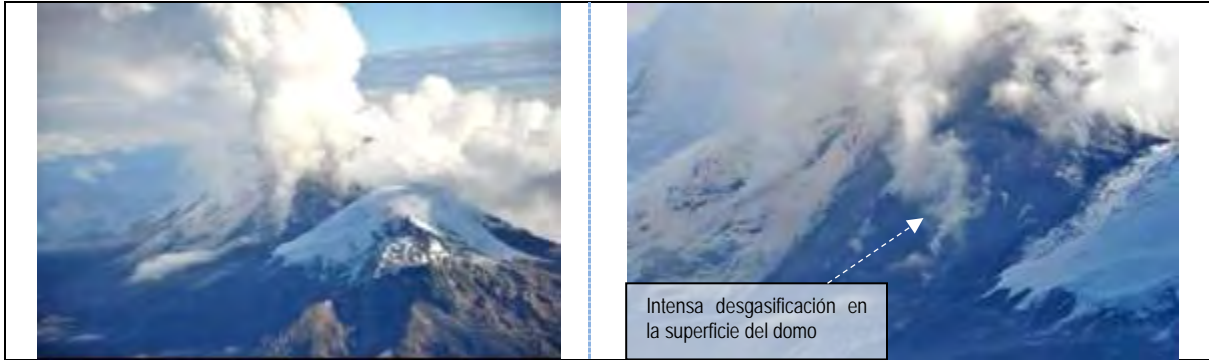


Figura 23. Imágenes del sobrevuelo efectuado el 29 de septiembre de 2010.

### SOBREVUELOS - OCTUBRE

Durante el mes de octubre el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán realizó con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) dos sobrevuelos al Volcán Nevado del Huila, con el objetivo de efectuar un seguimiento a la evolución del proceso volcánico y los cambios geomorfológicos asociados al mismo. En las imágenes obtenidas en los sobrevuelos efectuados los días 01 y 29 de octubre, se logró observar:

- Intensa desgasificación en columnas de color blanco, sin contenido aparente de cenizas en varios puntos de la superficie del domo en extrusión.
- El material extruido más recientemente se acumula en la parte superior del domo, y muestra una coloración más clara que el material extruido con anterioridad.
- Se evidencian colapsos en la parte superior del domo, acompañados de flujos a medida que se depositan en la parte baja del mismo, sobre el costado occidental.
- Con base en la información recopilada durante estos sobrevuelos, se calculó el volumen del material extruido en 152 millones de m<sup>3</sup>.

En las figuras 24 y 25 se aprecian imágenes tomadas durante los dos sobrevuelos mencionados, en donde la característica principal que se observa es la desgasificación intensa que se presenta en la parte alta del volcán y la altura que alcanza la columna de emisión, que no supera los 1000 m para los días que se hizo sobrevuelo.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Sobrevuelo del 01 de octubre de 2010, Volcán Nevado del Huila



a)



b)



c)



d)



e)

Figura 24. Imágenes fotográficas tomadas en el sobrevuelo realizado el 01 de octubre. (a) tendencia de la columna de desgasificación VNH. (b) apreciación de gases liberados por colapso. (c) vista panorámica del costado oriental del domo. (d) detalle costado oriental del domo. (e) acumulación de material nuevo en la parte alma del domo, nótese el cambio en el color del nuevo material.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Sobrevuelo del 29 de octubre de 2010, Volcán Nevado del Huila



a)



b)



c)



d)



e)



f)



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

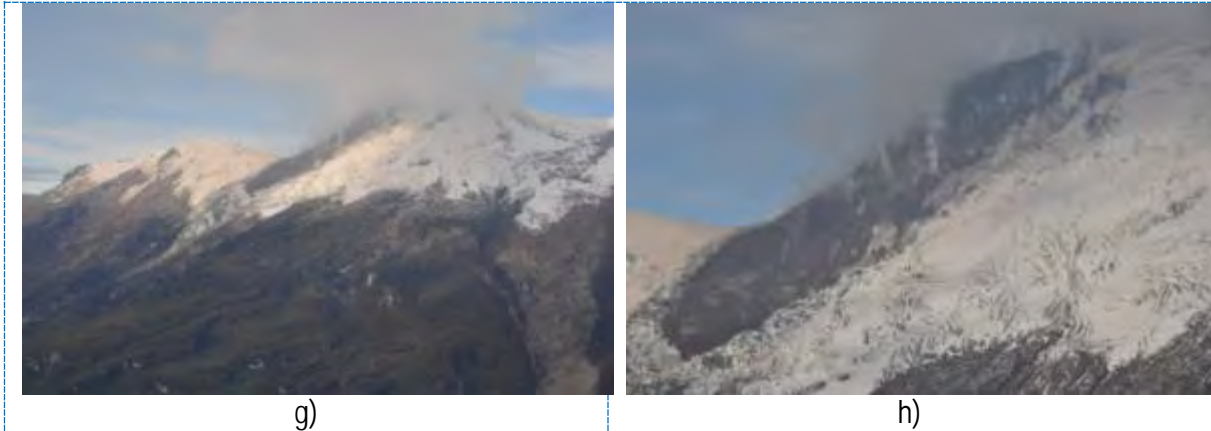


Figura 25. Imágenes fotográficas tomadas en el sobrevuelo realizado el 29 de octubre. (a) tendencia de la columna de desgasificación del VNH. (b) detalle focos de desgasificación en la superficie del domo. (c) apreciación de gases liberados por colapsos en el domo. (d) detalle costado occidental del domo. (e) detalle focos de desgasificación en la superficie del domo costado occidental. (f) panorámica del domo en extrusión, costado occidental y oriental. (g) vista costado oriental VNH en sentido Norte – Sur. (h) detalle costado oriental del domo en sentido Norte – Sur.

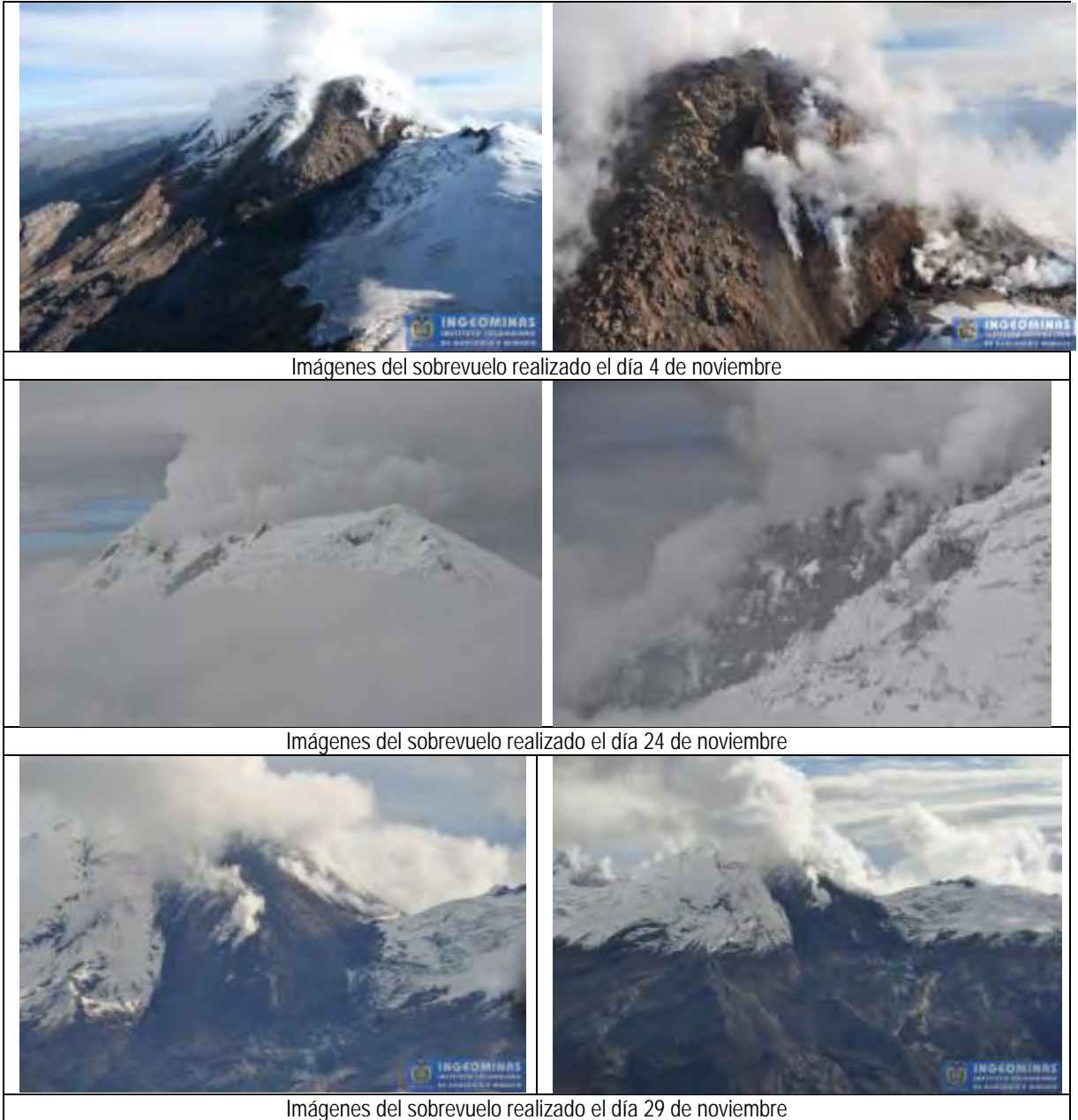
### **SOBREVUELOS – NOVIEMBRE**

Durante el mes de noviembre se realizaron tres sobrevuelos de reconocimiento de la actividad superficial y de los cambios geomorfológicos asociados con la misma, los días 4, 24 y 29 de noviembre. De las observaciones realizadas y las imágenes obtenidas durante el primer sobrevuelo, se destaca la desgasificación intensa en una columna de gas y vapor de aproximadamente 2 km de altura con respecto a la cima del volcán, así como la apreciación del aumento en volumen del cuerpo dómico. A partir del registro fotográfico obtenido con la cámara térmica se apreciaron anomalías en temperatura de hasta 250°C en la parte inferior del sector occidental del domo. En los dos sobrevuelos restantes no se registraron cambios destacados en cuanto al proceso de desgasificación del sistema volcánico, sin embargo, cabe mencionar que se percibieron olores azufrados, y se notó la recarga presentada en la masa glaciar.

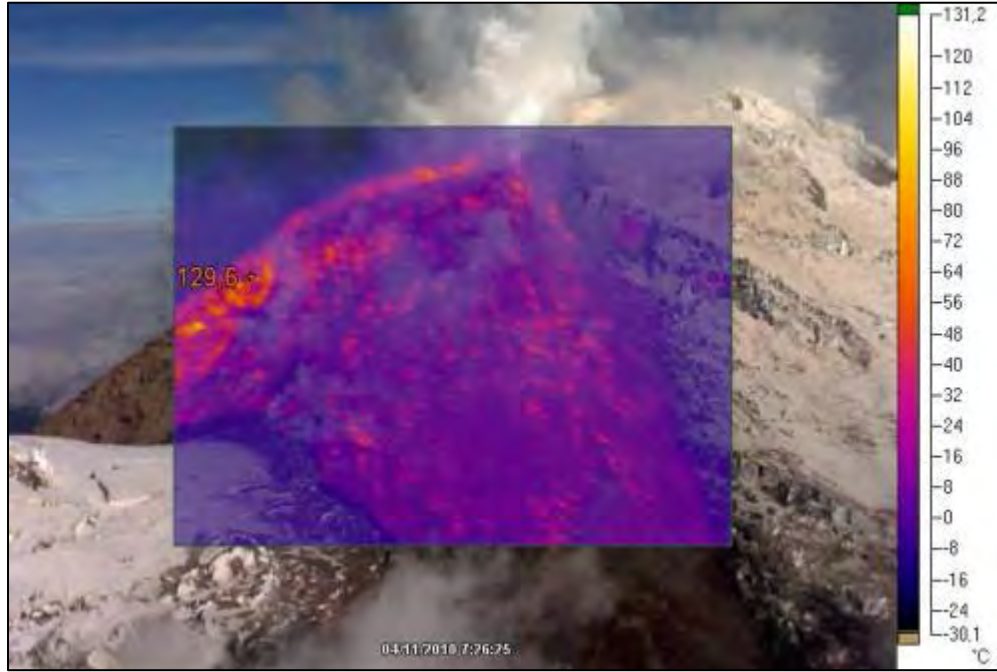
La figura 13 muestra las imágenes más representativas obtenidas durante los sobrevuelos realizados en el mes de noviembre. En ellas se puede apreciar el proceso de desgasificación del sistema volcánico, así como las fotografías térmicas del cuerpo dómico, en las que se puede apreciar las zonas de mayor temperatura en el mismo



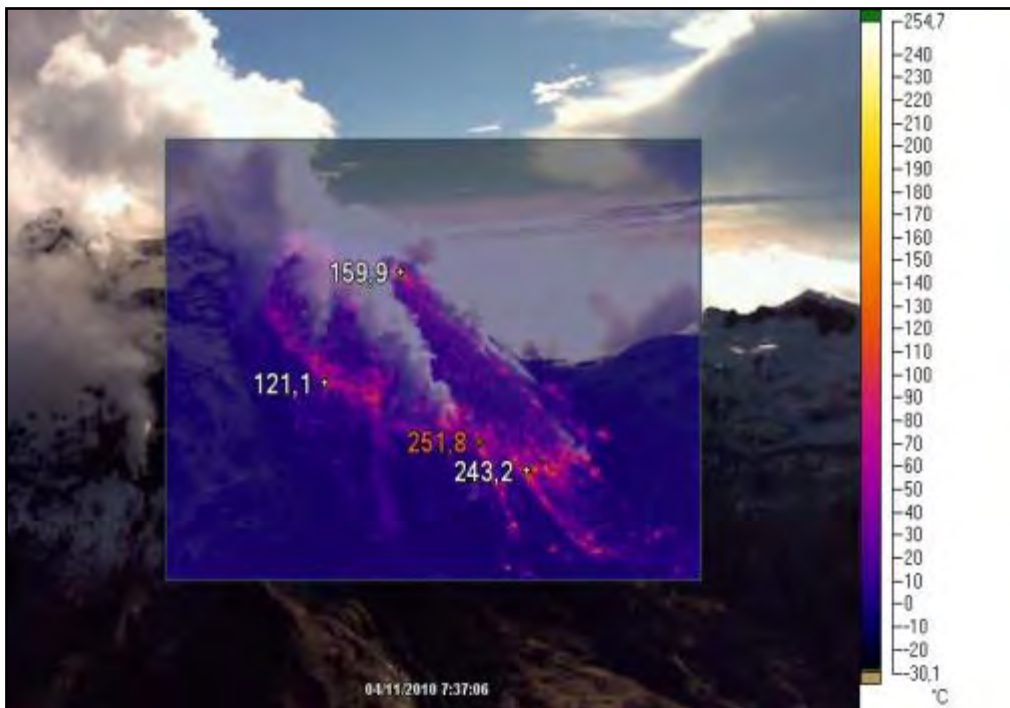
**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 26. A)** Detalle del volcán Nevado del Huila y su proceso de desgasificación en imágenes obtenidas durante los sobrevuelos realizados en el mes de noviembre. En ellos no se apreciaron cambios representativos en la actividad superficial del mismo, destacándose la recarga de la masa glaciár



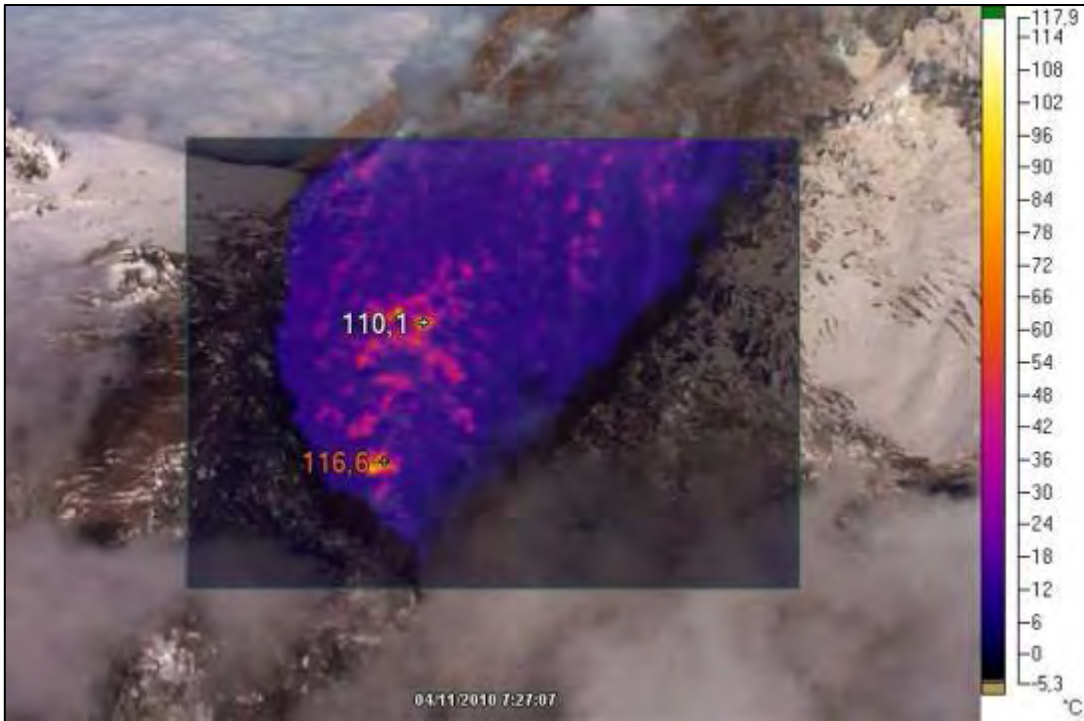
**Figura 27.** Imagen térmica procesada del flanco oriental del domo. Los colores dentro del recuadro central muestran las zonas más calientes. Los valores indican la temperatura en grados Celsius.



**Figura 28.** Imágenes obtenidas empleando una cámara termográfica en la que se aprecian anomalías térmicas de hasta 252°C, localizadas en la parte inferior del sector occidental del domo.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 29.** Detalle de la parte baja del domo lávico, se aprecia un incremento en la temperatura de emisión hacia los límites del mismo, coincidiendo con los focos de emisión de gases a superficie.

### **SOBREVUELOS – DICIEMBRE**

Durante la primera semana del mes de diciembre, el día seis, fue posible llevar a cabo un sobrevuelo para el seguimiento especial de la actividad nivel superficial en el Volcán Nevado del Huila, con apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. En este sobrevuelo se apreció el cuerpo cóncavo desde sus dos costados, sin encontrarse cambios importantes en su estructura, sin embargo se evidencian algunas fuentes de emisión resultado de pequeños colapsos delimitados sobre la parte alta del domo, al igual fue posible percibir olores azufrados provenientes del foco de desgasificación principal emitido desde la parte de alta del Pico Central y disperso hacia el costado occidental del edificio. Es notorio la recarga de masa glaciar sobre algunas zonas del complejo volcánico, esto se debe a las condiciones especiales y fluctuaciones climáticas del lugar.

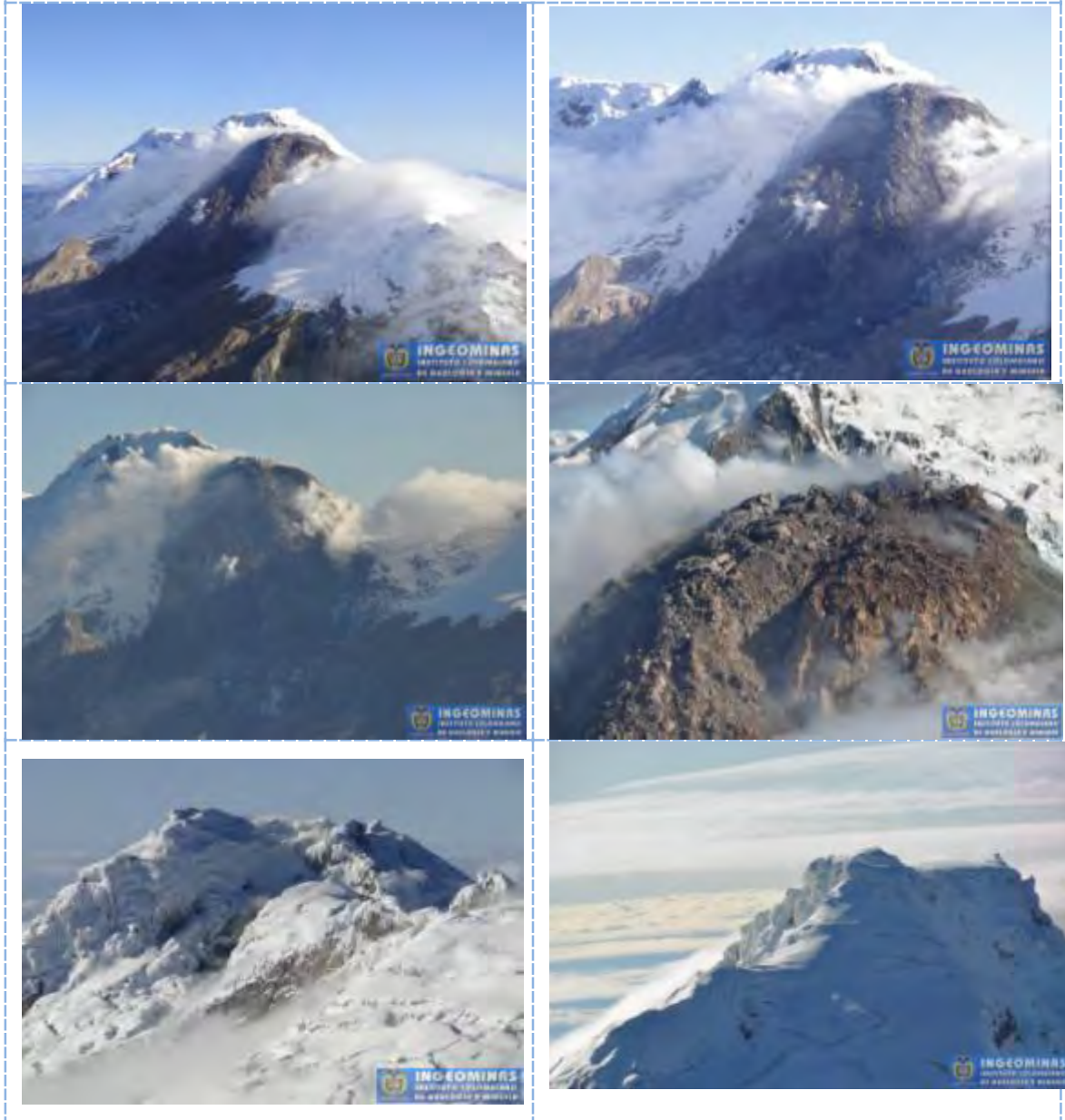


Figura 30. Fotografías tomadas en el sobrevuelo al Volcán Nevado del Huila, el día 6 de diciembre de 2010

Se apreciaron anomalías térmicas en la superficie del domo emplazado en la parte alta del volcán (Figura 15), apreciándose en imágenes infrarrojas que el domo presenta temperaturas que van desde 38.2 °C hasta 84 °C, también se observó que la zona con temperaturas más altas se encuentra en el costado occidental del domo lávico.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

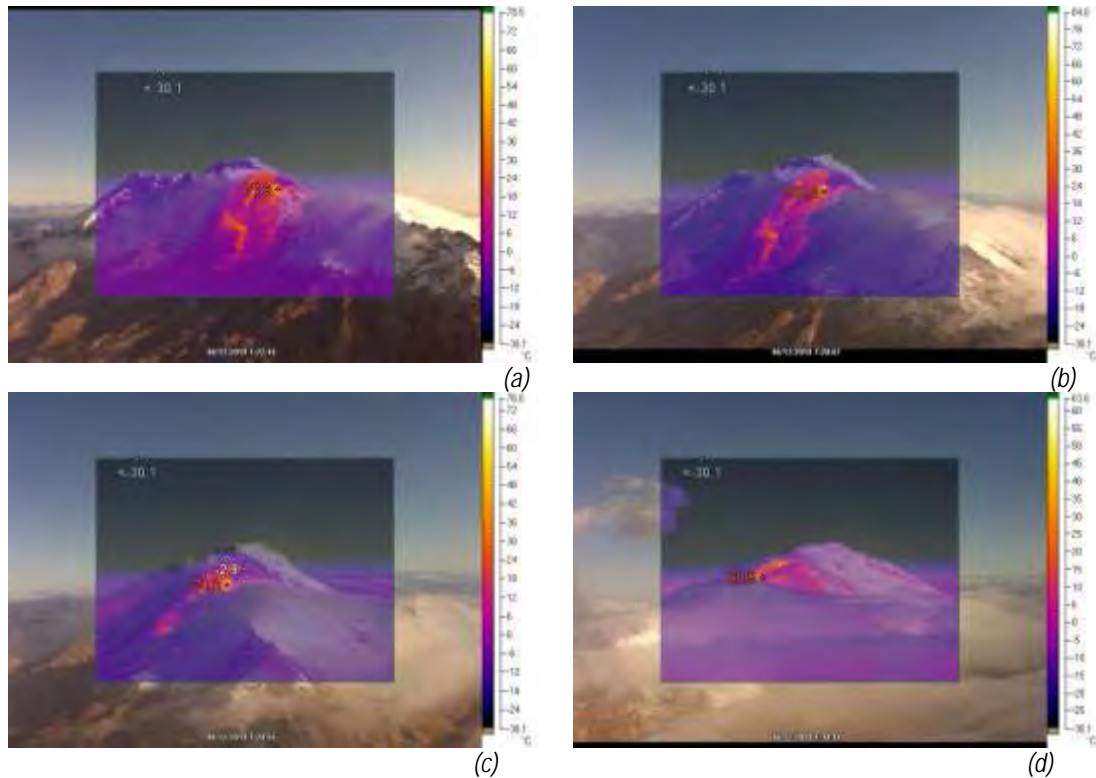


Figura 31. Imágenes infrarrojas captadas a través de la cámara IR, durante el sobrevuelo realizado al VNH el 6 de diciembre de 2010, en ellas se observan las anomalías térmicas (zonas más brillantes), en la superficie del domo. (a), (b) Costado occidental del edificio volcánico. (c) Vista desde el costado sur. (d) Parte alta del domo en el sector suroriental

#### **CAMARAS WEB EN EL VOLCAN NEVADO DEL HUILA**

Durante el segundo semestre de 2010, se continuó realizando el monitoreo de la actividad superficial relacionada con la dinámica del volcán, a través de las cámaras de video instaladas en Taxfnú al sur del edificio volcánico (resguardo de Taravira) y en Maravillas (Cañón del Rio Símbola) al suroriente del mismo. Esta ultima instalada el 19 de julio de 2010 por personal del OVS-Popayán.

Estos instrumentos permiten realizar un seguimiento especial en tiempo real a los cambios superficiales que pueda presentar el volcán, el OVS-Popayán recibe la información y la socializa a toda la comunidad a través de la página web., es así como se viene apoyando las labores de monitoreo y seguimiento especial que el fenómeno volcánico implica: evolución de cuerpos dómicos emplazados sobre el Pico Central y emisión de gases y cenizas, explosiones, incandescencias, recarga y retroceso del glaciar, colapsos, avalanchas, erupciones, etc.



**Figura 32.** Mapa de localización de cámaras web para apoyar el seguimiento especial de la actividad superficial en el Volcán Nevado del Huila.

Para el período comprendido en el segundo semestre de 2010, se observaron cambios importantes en la actividad superficial en el Volcán Nevado del Huila, los cuales fueron registrados a través de las web Cam de Maravillas y Tafnu. Altura del cuerpo dómico emplazado en el Pico Central en cual se alcanza a identificar desde el costado sur del edificio, la altura y composición de las columnas de gas emitidas fueron observadas durante todo el semestre, con rangos de altura entre los 500 y 2500 m con una tendencia y dirección preferencial hacia el occidente del volcán regido por los vientos de la zona a la altitud donde se encuentra el volcán. Se pudieron apreciar algunas emisiones de cenizas en el mes de julio las cuales fueron reportadas por agencias internacionales. Algunas de las imágenes fotográficas más representativas de este período se pueden observar en las figuras 33 a 36.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 33.**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



Figura 34.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 35.**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 36.**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 37.** Incandescencias captadas a través de la cámara instalada en Maravillas (Páez - Cauca), agosto 29 de 2010

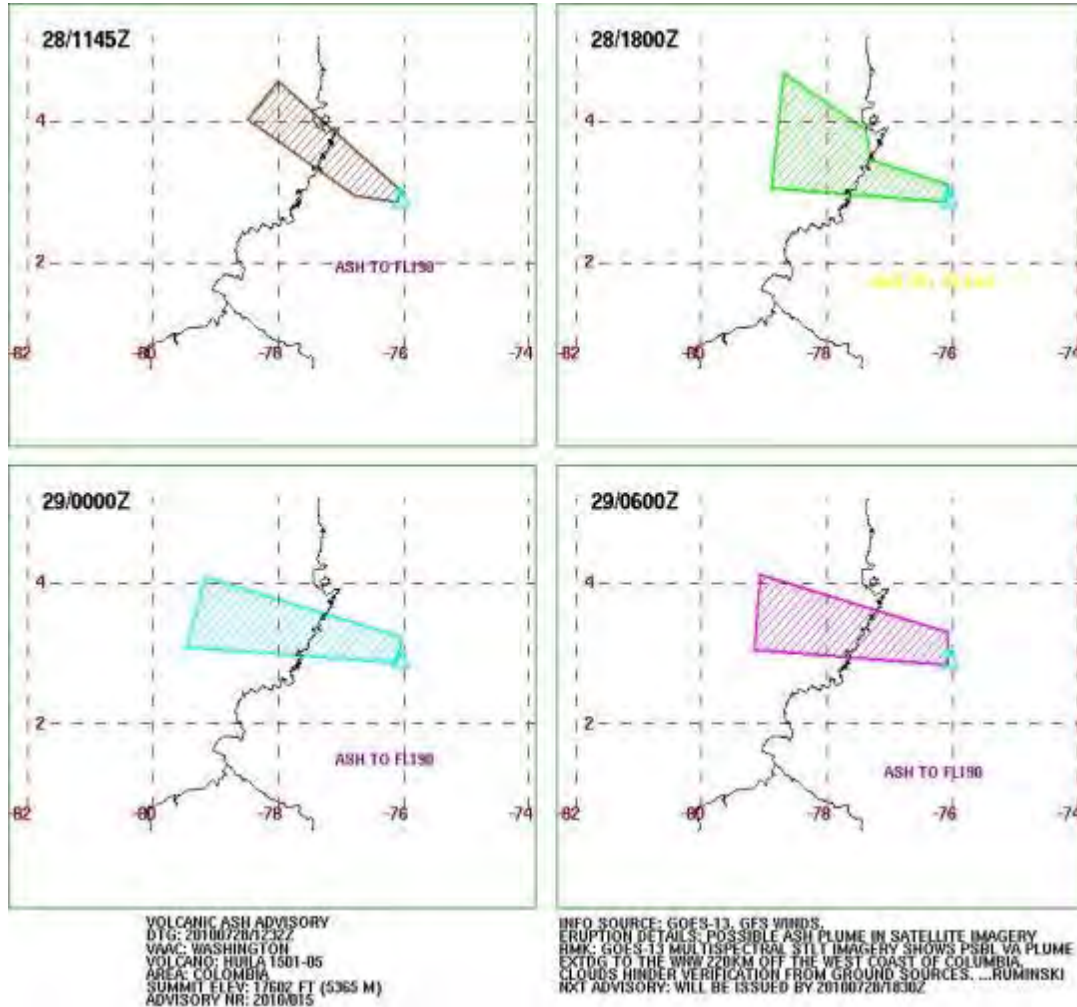
El día 28 de agosto a través de la cámara web instalada en Maravillas (ubicada a 13 km al nororiente del volcán Nevado del Huila) fue posible registrar incandescencias provenientes de cuerpo dómico extruido en el 2009. Este fenómeno ha sido corroborado con la actividad sísmica, especialmente con las señales o pulsos súbitos de tembor espasmódico (TR), algunos de ellos acompañados de emisiones en forma de columnas compuestas por gases y cenizas; este panorama sísmico posiblemente está relacionado con ascenso y aporte de nuevo material magmático a tasas de emisión menores que las vistas en años anteriores.

**REPORTES DE EMISIONES DE CENIZAS EN EL VOLCAN NEVADO DEL HUILA  
DADOS POR EL VOLCANIC ASH ADVISORY CENTER (VAAC)**

De acuerdo con imágenes satelitales suministradas por la agencia internacional VAAC (Volcanic Ash Advisory Centre) en Washington, durante los días 28 y 29 de julio (Figura 22) se detectaron emisiones de cenizas en columnas que se dispersaron hacia el noroccidente del edificio volcánico. La altura alcanzada por las columnas fue de aproximadamente 0.43 km sobre la cima del volcán. Este reporte es consistente con el registro esporádico de pulsos de tembor espasmódico de baja magnitud que se presentó durante estos días.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 38.** Imágenes satelitales suministradas por el VAAC, durante los días 28 y 29 de julio de 2010, se puede observar la posible evolución de la pluma a través del tiempo.

## HOT-SPOTS VOLCÁN NEVADO DEL HUILA

El Instituto Hawaiano de Geofísica y Planetología desarrolló un sistema de monitoreo satelital de anomalías térmicas en volcanes activos, empleando las imágenes captadas por el instrumento MODIS acoplado al satélite Terra de la NASA, llamado MODVOLC (Monitoreo Térmico de "puntos calientes" en tiempo cercano al real). Las anomalías térmicas registradas se denominan hot-spots ("puntos calientes"), cuando estas se detectan se genera una "alerta". La resolución del sensor térmico del instrumento MODIS es de 0.1 x 0.1 grados (11.1 km<sup>2</sup> por píxel). El sistema MODVOLC se considera como Near Real-Time (NRT-tiempo cercano al real), sus datos se actualizan aproximadamente cada 30





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

minutos. En el mes de octubre este sensor detectó hot-spots durante los días 3, 7, 12 y 14, localizados en la superficie del domo en extrusión.

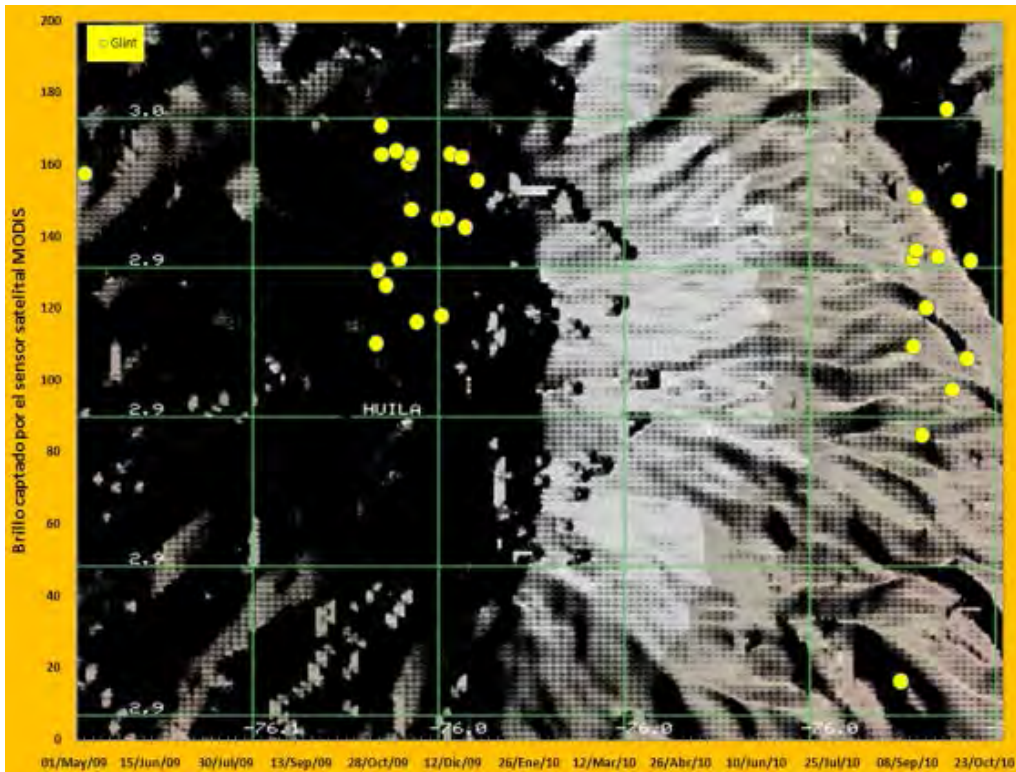


Figura 39. Historial de hot-spots para el volcán Nevado del Huila, detectados por el sensor satelital MODIS.

## CONCLUSIONES

Del análisis de la información obtenida a través de la red de vigilancia instalada en el volcán Nevado del Huila, el OVS-Popayán destaca para el segundo semestre de 2010 lo siguiente:

- Un cambio importante en la dinámica del volcán, consistente en el registro de señales sísmicas asociadas a la dinámica de fluidos, con altos contenidos energéticos, las cuales se presume ocurrieron a niveles superficiales, e involucraron salidas de material incandescente, tal como se aprecia en imágenes nocturnas captadas por las cámaras web de Taxnú y Maravillas.
- Se evidenció un incremento importante en el volumen del domo que se emplaza en la parte alta del edificio, entre los Picos Sur y Central, de un volumen aproximado de 70 millones de metros cúbicos calculados en mayo de 2010, se llegó a 150 millones de metros cúbicos en octubre de 2010.
- También se apreció en el sobrevuelo del 15 de septiembre de 2011, la ocurrencia de un pequeño flujo de material en el costado oriental del edificio, el cual provenía de la parte alta y había involucrado en su



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

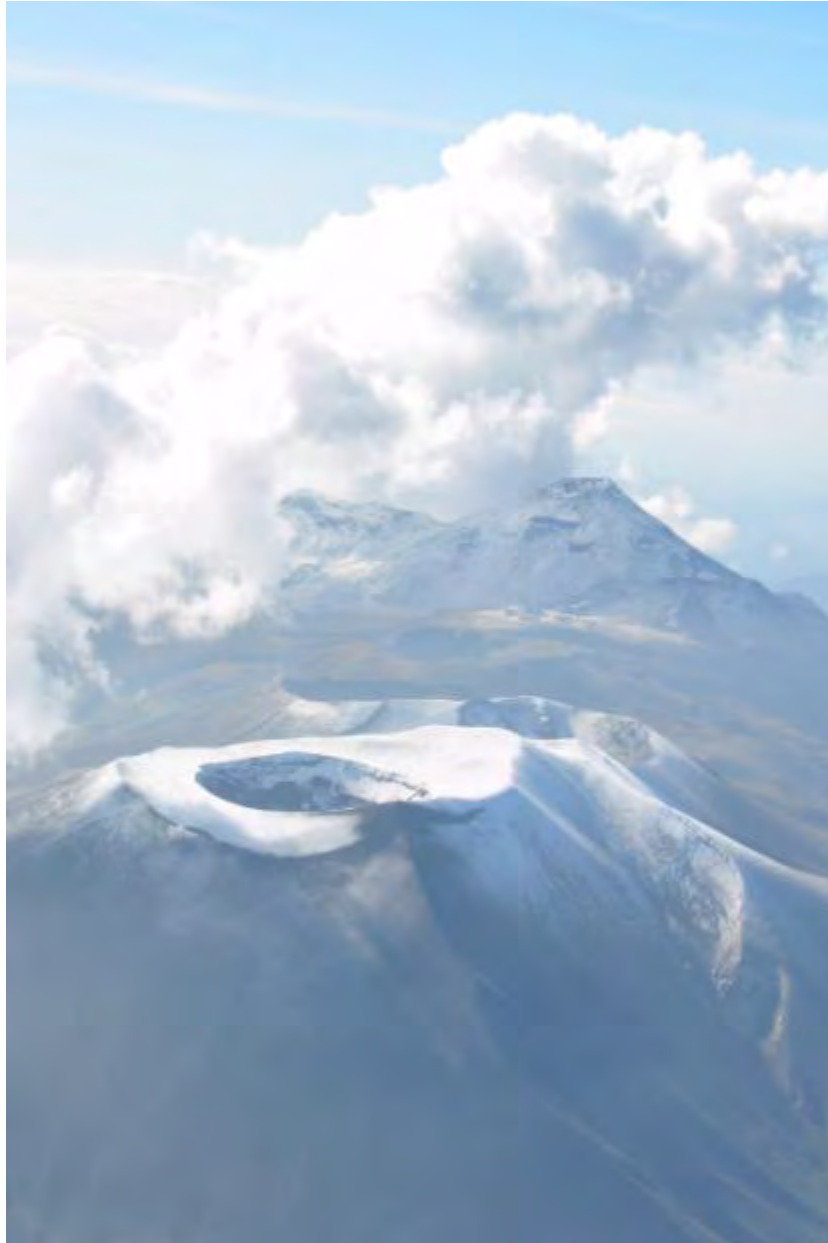
proceso una parte del glaciar inestable que se aprecia en el extremo oriental del domo. Este material recorrió algunos kilómetros cuesta abajo del edificio y se depositó en la primera planicie estable que encontró en su camino, sin llegar a comprometer el cauce del río Símbola.

- La actividad fumarólica no mostró cambios importantes en cuanto a su flujo hacia superficie y su posible afectación por interacción con la masa de roca en extrusión, fenómeno observado a través de las columnas fumarólicas emitidas, las cuales variaron en intensidad, coloración, contenido de dióxido de azufre y dirección de propagación que depende exclusivamente del régimen de vientos imperante en la zona.
- Con base en la información obtenida y en el comportamiento mostrado por el volcán durante el segundo semestre de 2010 se concluye que el proceso de reactivación continúa y no se descarta que en el futuro se presenten incrementos súbitos en la actividad, que puedan desencadenar nuevos emplazamientos de cuerpos dómicos, colapsos del material emplazado o eventos de carácter eruptivo.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**2. VOLCÁN PURACÉ.**



**Figura 40.** Volcán Puracé y parte de la cadena volcánica de los Coconucos, fotografía del 29 de septiembre de 2010.

El volcán Puracé se encuentra localizado 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 suroriente de la ciudad de Popayán. Hace parte de la cadena volcánica de los Coconucos, compuesta por 15 centros eruptivos alineados con una orientación  $40^{\circ}$  noroccidente-suroriente, siendo el Puracé el más joven y septentrional de la Cadena.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

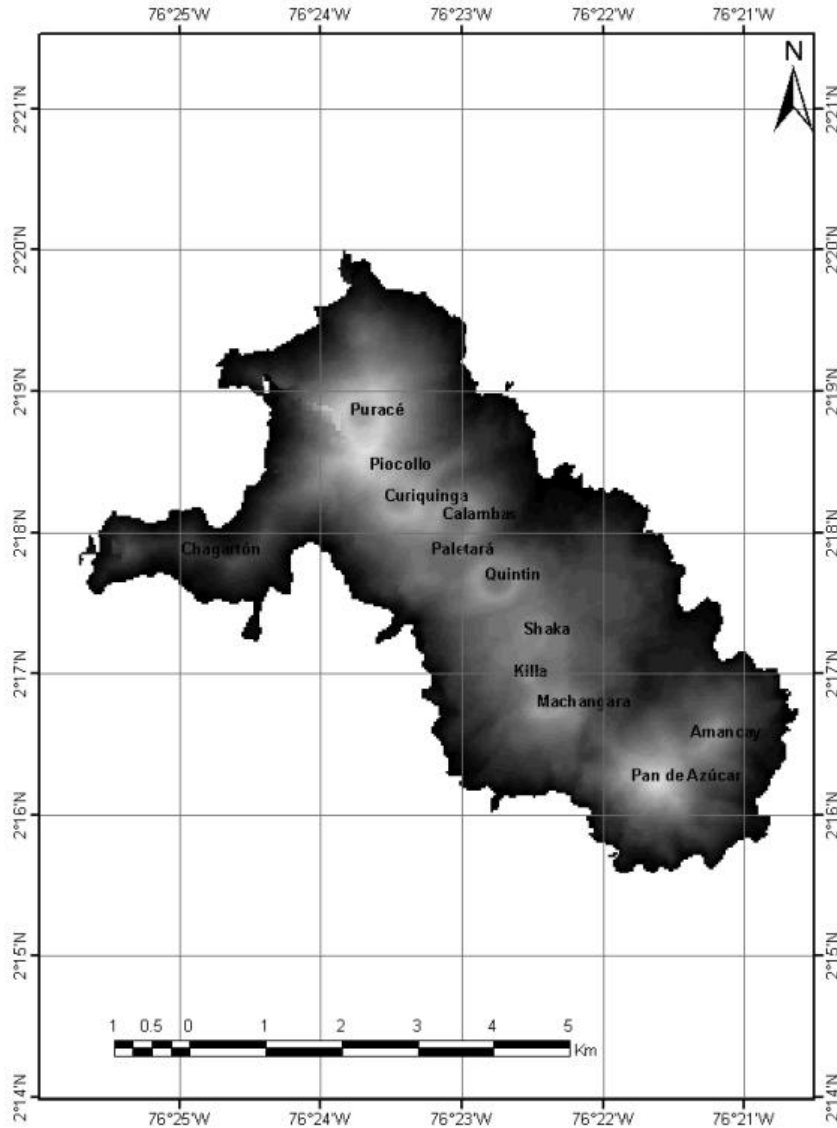


Figura 41. Cadena volcánica de los Coconucos

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, concéntricos de 500 m y 900 m de diámetro, respectivamente. La actividad fumarólica se concentra en el interior del cráter, en una grieta que atraviesa el fondo y en un importante campo fumarólico en el flanco externo noroccidental del volcán (Fumarola Lateral). Su actividad volcánica ha sido reportada desde 1801 y se han descrito al menos 15 erupciones históricas bien documentadas, que han causado daños materiales y pérdida de vidas humanas; la última erupción ocurrió en marzo de 1977.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Existen unas 15 fuentes termales alrededor del volcán, muchas de las cuales se considera sitios turísticos y recreacionales, pues presentan temperaturas comprendidas entre 20 °C y 90 °C. Se destacan los termales de San Juan, Pilimbalá, Agua Tibia y Agua Hirviendo.

De la información obtenida durante el segundo semestre de 2010, a través de las redes de vigilancia instaladas en los alrededores del volcán Puracé, el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán destaca:

- Aunque el nivel de actividad sísmica del volcán Puracé se mantuvo dentro de sus niveles normales, se observó un incremento de la sismicidad de largo período a finales del semestre, este fenómeno no comprometió la estabilidad del sistema volcánico.
- De la actividad de fractura se destacan tres eventos de magnitudes locales 2.1, 2.1 y 2.7, los cuales se localizaron bajo el cráter activo y con hipocentros menores de 2.5 km. Estos eventos no comprometieron la estabilidad del sistema.

## **2.1 RED DE VIGILANCIA**

Durante el segundo semestre de 2010, el OVS-Popayán mantuvo operativa la red de vigilancia con que cuenta el volcán Puracé, la cual consta en la actualidad de diez (10) estaciones sismológicas que son: Cóndor, Cóndor Banda Ancha, Mina, Lavas Rojas, Lavas Rojas Banda ancha, Curiquinga, San Rafael, Aguablanca, Shaka y Cocuy Banda Ancha; además de tres inclinómetros electrónicos instalados en las estaciones de Guañarita, Curiquinga y Lavas Rojas; cinco vectores de nivelación, un magnetómetro, tres estaciones isotrópicas para medir gas Radón y una cámara web instalada en la estación la Mina.

### **2.1.1 RED DE ESTACIONES SISMOLÓGICAS**

Esta red permite hacer un seguimiento al registro sísmico del volcán Puracé, dicha red consta de siete (7) estaciones sismológicas de corto periodo y tres (3) estaciones sismológicas triaxiales banda ancha (dos (2) de ellas instaladas en el primer semestre de 2010 con el fin de reforzar la red). Estas estaciones en conjunto presentaron un buen nivel de funcionamiento durante el segundo semestre de 2010, con un valor aproximado del 87% (Figura 4).

### **2.1.2 RED DE DEFORMACIÓN**

El monitoreo en deformación tiene como objetivo estudiar los cambios de la forma de la superficie del volcán, para determinar las variaciones de las dimensiones del edificio volcánico (inflación/deflación) debido a la interacción de un cuerpo magmático. El monitoreo de la deformación se realiza utilizando 2 métodos diferentes: vectores de nivelación (5 vectores: Vinagre, Estación, Mina, Pilimbala y Campamento) e Inclinometría Electrónica (3 inclinómetros electrónicos). En conjunto esta red presentó un buen nivel de funcionamiento durante el segundo semestre de 2010, con un valor aproximado del 79% (Figura 4)



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

### **2.1.3 CÁMARA WEB**

En la actualidad se cuenta con una cámara web para el monitoreo de cambios superficiales, se encuentra instalada en el sitio conocido como la Mina, al NW del cráter principal del volcán Puracé, este equipo permite realizar un seguimiento en tiempo cuasi – real a los cambios superficiales que pueda presentar el volcán; la información reciba de esta cámara es publicada al instante en la página web del observatorio. El nivel de funcionamiento para cámara durante el segundo semestre de 2010 fue muy bueno, con un valor aproximado del 99% (figura 4).

### **2.1.4 MAGNETOMETRÍA**

El día 6 de diciembre del 2010 se procedió a la instalación de la estación Laguna la cual mide campos electromagnéticos naturales, se ubica a 2.23 km al norte del cráter del volcán Puracé. Durante el período analizado presentó un óptimo funcionamiento con un valor aproximado del 97% (Figura 4).

### **2.1.5 ESTACIONES ISOTÓPICAS DE RADON**

Actualmente se estudian los alcances del gas radón como posible anticipador de fenómenos naturales como terremotos y erupciones volcánicas, en cuanto a estas últimas, existen investigaciones que demuestran cómo el análisis de la evolución del radón en la atmósfera ayuda a dar cuenta de fenómenos de este tipo; esto, y a que el radón se emite de forma constante desde el suelo, y cuando se mantiene un patrón de emisión, indica estabilidad. En el volcán Puracé se cuenta con tres estaciones para ser ocupadas en mediciones de este gas, una de ellas fue destruida por un deslizamiento de tierra en el segundo semestre de 2009 y durante el año 2010 no se hicieron ocupaciones de las otras dos estaciones.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Tabla 6. Características de la red de vigilancia del volcán Puracé.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altura (msnm)	Distancia al Cráter (km)
<i>Cóndor</i>	Corto Periodo Vertical	2° 19'39.6"	76° 23'49.2"	4150	1.22 N
<i>Cóndor Bancha</i>	Banda Ancha	2° 19'39.6"	76° 23'49.2"	4150	1.22 N
<i>Mina</i>	Corto Periodo Triaxial	2° 20'09"	76° 24'47.4"	3990	2.79 NW
<i>Curiquinga</i>	Corto Periodo Vertical	2° 18'16.2"	76° 23'39"	4450	1.60 SE
<i>San Rafael</i>	Corto Periodo Vertical	2° 22'48"	76° 21'21.6"	3450	8.3 NE
<i>Lavas Rojas</i>	Corto Periodo Vertical	2° 19'12"	76° 25'11.4"	4046	2.37 E
<i>Lavas Rojas Bancha</i>	Banda Ancha	2° 19'12"	76° 25'11.4"	4049	1.94 E
<i>Aguablanca</i>	Corto Periodo Vertical	2° 18'49.2"	76° 24'13.8"	4374	0.67 E
<i>Shaka</i>	Corto Periodo Vertical	2° 17'36.6"	76° 22'43.8"	4478	3.74 SE
<i>Cocuy Banda Ancha</i>	Banda Ancha	2° 19'12.7"	76° 23'11.6"	4289	1.42 N
<i>Laguna</i>	Magnetómetro	2° 19'41.8"	76° 23'46.9"	4177	2.23 N
<i>Web Cam</i>	IP. Telemétrica	2° 20'09"	76° 24'47.4"	3990	2.79 NW
<i>Guañarita</i>	Inclinómetro Electrónico	2° 19'39.6"	76° 23'49.2"	4150	1.20 N
<i>Curiquinga</i>	Inclinómetro Electrónico	2° 18'16.2"	76° 23'39"	4450	1.60 SE
<i>Lavas Rojas</i>	Inclinómetro Electrónico	2° 19'01.2"	76° 25'01.2"	4046	2.40 SE
<i>Campamento</i>	Vector de Nivelación	2° 22'55.2"	76° 25'15.6"	3050	8.10 N
<i>Estación</i>	Vector de Nivelación	2° 20'13.2"	76° 23'49.2"	3933	2.50 N
<i>Mina</i>	Vector de Nivelación	2° 20'16.8"	76° 24'50.4"	3844	3.40 N
<i>Pilimbala</i>	Vector de Nivelación	2° 22'19.2"	76° 24'32.4"	3279	6.60 N
<i>Vinagre</i>	Vector de Nivelación	2° 19'48"	76° 23'56.4"	3938	1.80 N

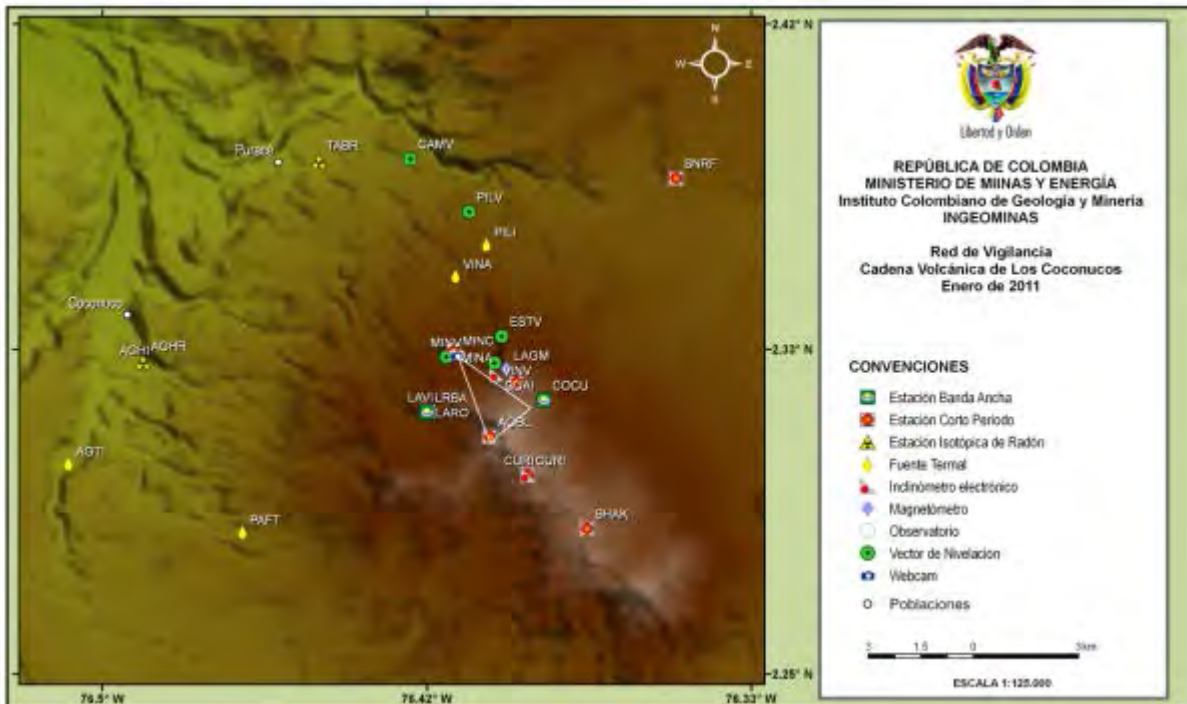


Figura 42. Red de vigilancia del volcán Puracé.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



Figura 43. Valor de funcionamiento de la red de vigilancia del volcán Puracé, segundo semestre de 2010.

## 2.2 ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN PURACÉ.

Durante el segundo semestre de 2010 se registraron 1244 eventos sísmicos, de los cuales 270 estuvieron relacionados con fracturamiento de roca (VT), 784 se catalogaron como eventos de Largo Periodo (LP), 4 presentaron características tanto de fracturamiento de roca como de tránsito de fluidos (Híbridos), 168 eventos tipo Tornillo y 18 pulsos de temblor de baja magnitud. Cabe mencionar que la actividad sísmica tipo LP presentó un pequeño incremento en el registro de eventos sísmicos desde finales de noviembre hasta el cierre del presente informe, estos eventos no tuvieron un aporte energético considerable.

La tabla 2 y la figura 5 detallan el comportamiento sísmico en cuanto a la ocurrencia de eventos registrados por el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010.

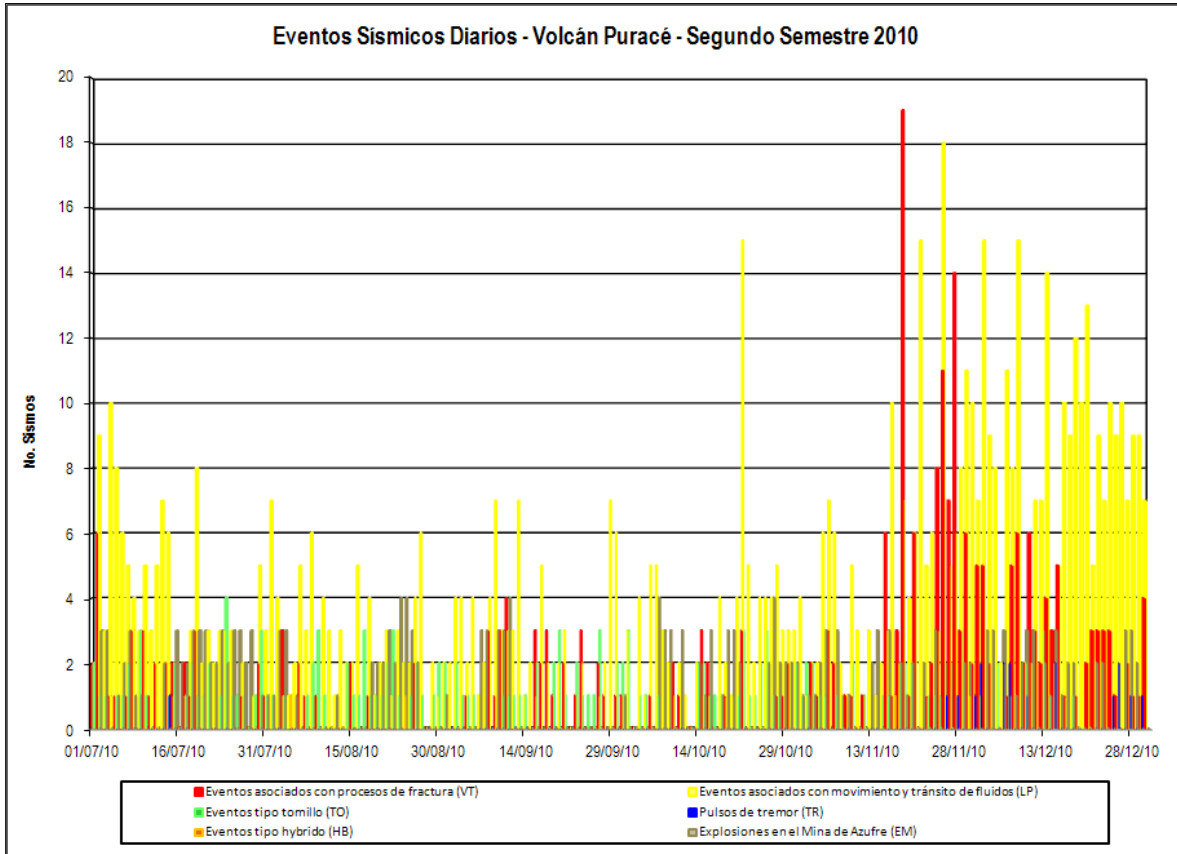
Tabla 7. Número de eventos sísmicos registrados por el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010.

Volcán Puracé	VT	LP	HB	TO	TR
Sismicidad II semestre de 2010	270	784	4	168	18





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 44.** Gráfica que relaciona el número y tipo de eventos registrados en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010.

Los niveles de energéticos presentados por la sismicidad tipo VT, LP e HB en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010, mostraron una tendencia estable. Los eventos de largo periodo alcanzaron un valor energía acumulado diariamente de  $5.50E+08$  ergios<sup>1/2</sup> y un máximo diario de  $4.10E+07$  ergios<sup>1/2</sup>, que corresponde al registro de 5 eventos el día 7 de julio, caracterizados por presentar codas entre 9 s y 117 s y magnitudes de coda entre 0.5 y 2.91 en la escala de richter. Por su parte los eventos volcánó – tectónicos durante el segundo semestre acumularon un valor de energía diaria de  $1.22E+08$  ergios<sup>1/2</sup> y registraron un máximo diario de  $2.01E+07$  ergios<sup>1/2</sup> el día 2 de diciembre, asociado al registro de 5 eventos con codas entre 10 s y 67 s y magnitudes de coda entre 0.23 y 2.56. El registro de los eventos tipo TO (Tornillo) se mantuvo en un promedio de 28 eventos/mes, hasta el momento, el registro de esta sismicidad no ha comprometido la estabilidad del sistema.

Nota: con el objetivo de visualizar mejor los detalles en los cambios de energía, las gráficas se realizan con la raíz cuadrada de la misma.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

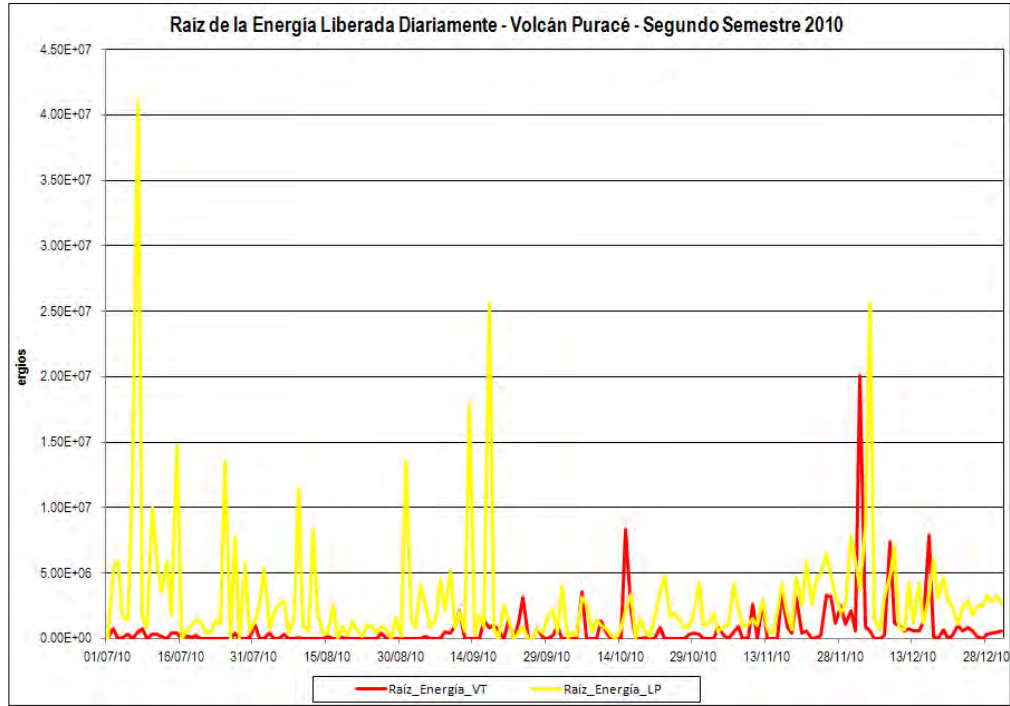


Figura 45. Energía sísmica liberada diariamente por el volcán Puracé, segundo semestre de 2010.

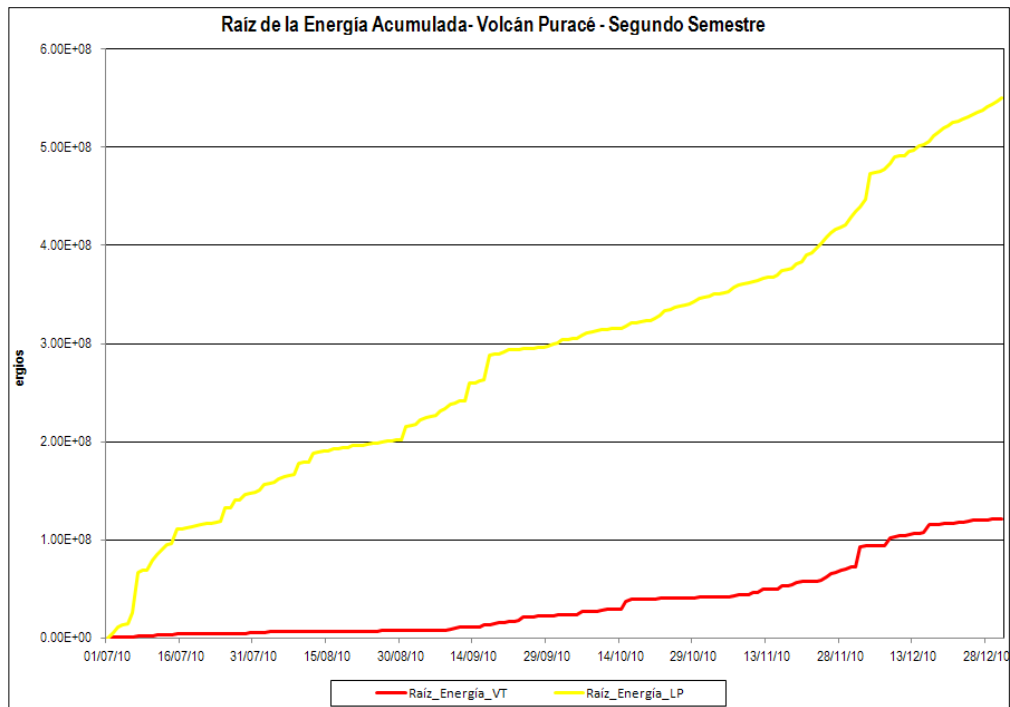


Figura 46. Energía sísmica acumulada por el Volcán Puracé, segundo semestre de 2010.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

En las figuras 47 y 48 se aprecia la distribución de la magnitud de coda vs la fecha, para los eventos de fractura (VT) y eventos de largo periodo (LP). En las graficas se observa que un gran porcentaje de los eventos VT presentan magnitudes de coda inferiores a 1.0, por su parte los eventos LP en su mayoría presentan magnitudes de coda inferiores a 1.5.

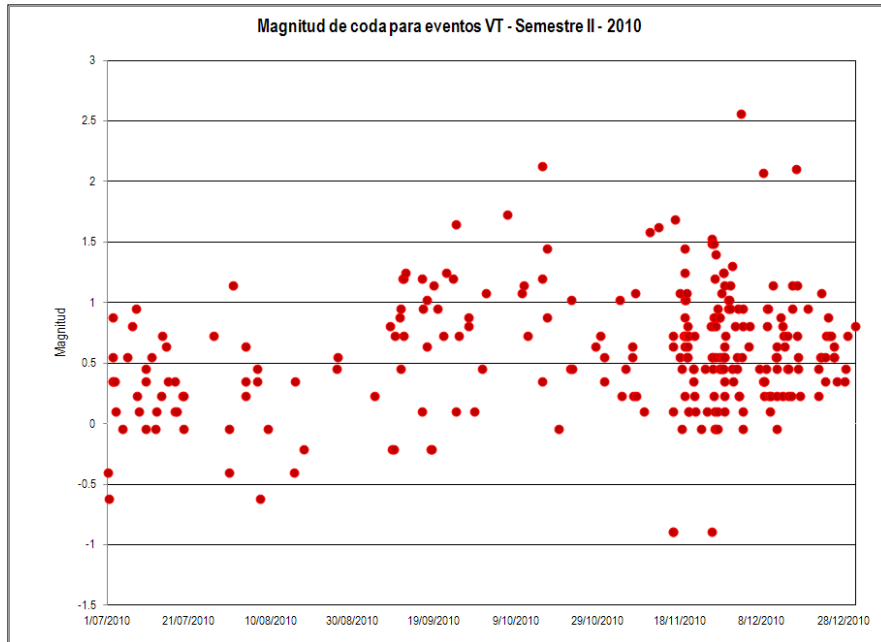


Figura 47. Distribución de la magnitud de coda para eventos VT, volcán Puracé, segundo semestre de 2010.

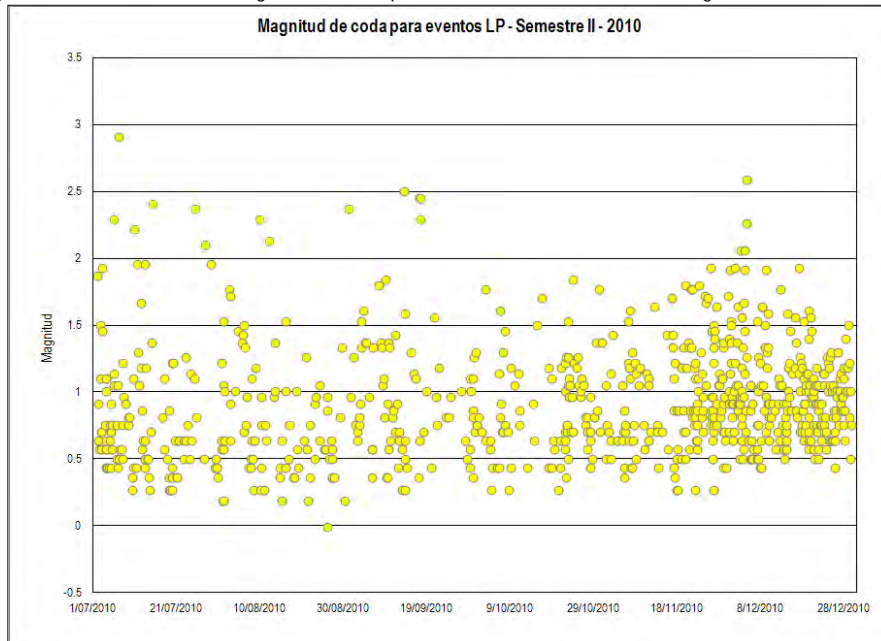


Figura 48. Distribución de la magnitud de coda para eventos de Largo Periodo (LP), volcán Puracé, segundo semestre de 2010.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

En la figura 49, se muestra la variación de la diferencia de arribos de ondas S y ondas P para los eventos de fractura registrados en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010. Se resalta una concentración de eventos en los rangos de S-P menores a 2 segundos, la grafica se realizo con todos los eventos VT registrados en el segundo semestre de 2010 (localizados y no localizados).

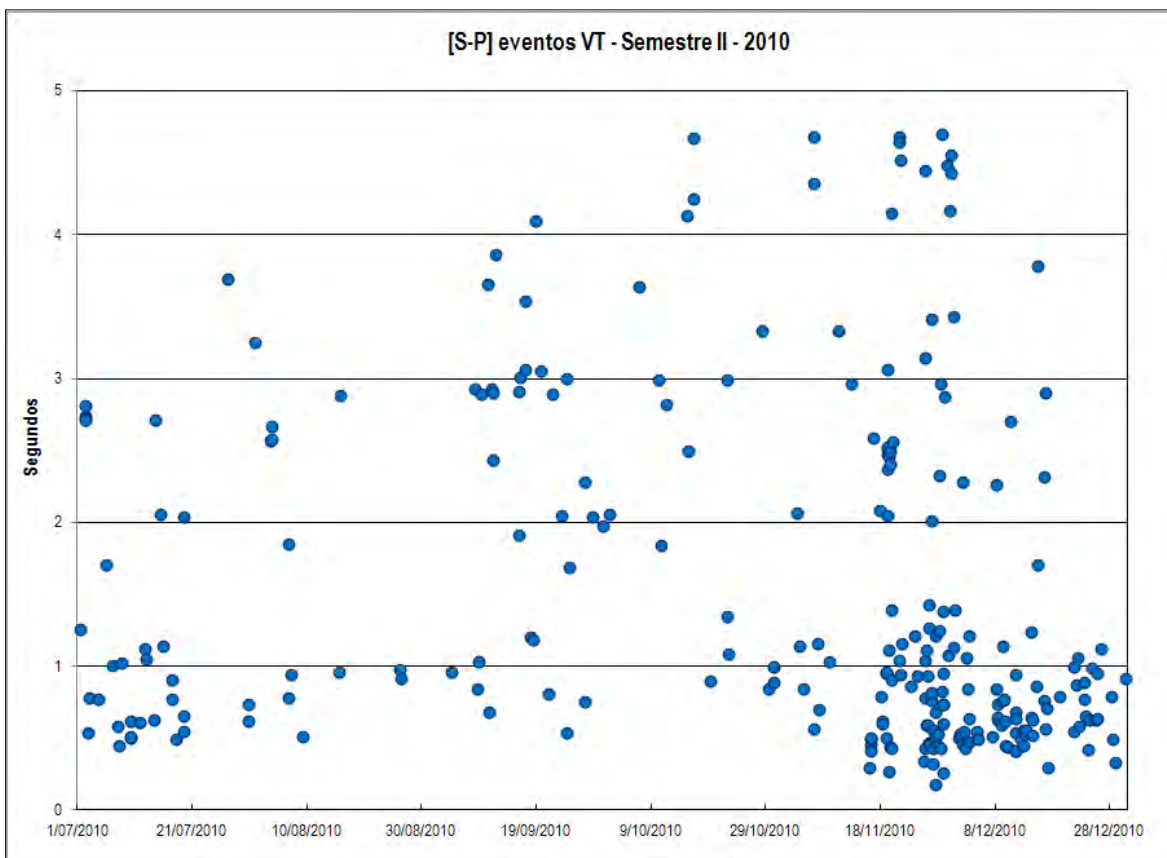


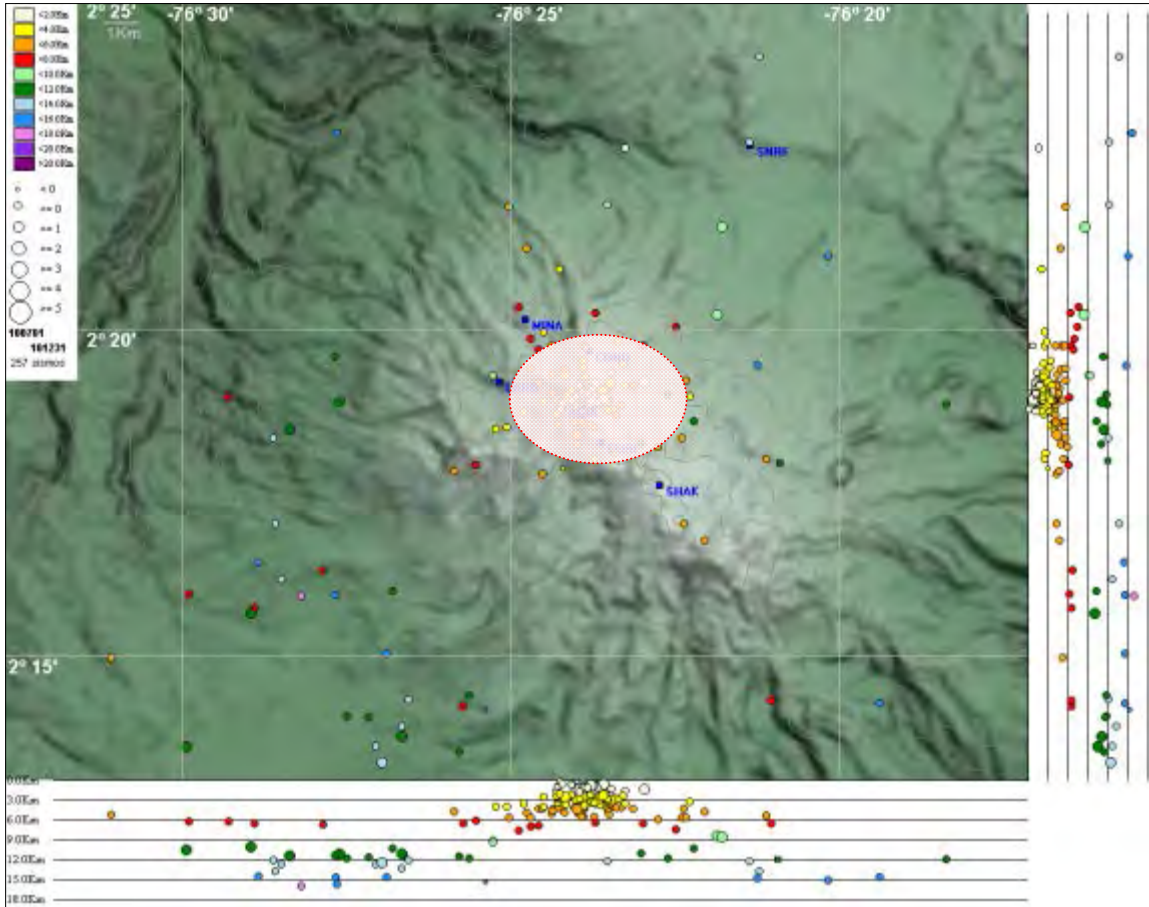
Figura 49. Relación de S-P presentada por los eventos VT en el volcán Puracé, segundo semestre de 2010.

### 2.2.1 LOCALIZACIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS.

Con la red de vigilancia sísmica del volcán Puracé fue posible localizar 257 eventos volcán – tectónicos para el segundo semestre de 2010, estos eventos se concentraron principalmente bajo el cráter activo, donde los hipocentros oscilaron en profundidades de hasta 6 km y alcanzaron magnitudes locales de hasta 2.7 en la escala de Richter; la sismicidad restante se localizó de manera dispersa en los alrededores del edificio volcánico y se caracterizó por presentar rangos de profundidad mayores (5 km a 18 km); cabe mencionar que para el periodo evaluado las mayores magnitudes locales se localizaron bajo el cráter activo. (Figura 12).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 50.** Mapa de localización de eventos Volcano -Tectónicos registrados durante el segundo semestre de 2010 en el volcán Puracé.

**Tabla 8.** Eventos VT del segundo semestre de 2010 con Magnitud Local mayor o igual a 2.0

Fecha	Hora UT	Latitud	Longitud	Profundidad (Km)	Fuente	Magnitud Local
16/11/2010	19:03	2.3153	-76.4003	1	Cráter	2.1
26/11/2010	08:01	2.3160	-76.3937	2.39	Cráter	2.1
02/12/2010	21:24	2.3167	-76.3958	1.06	Cráter	2.7

Las localizaciones epicentrales de eventos tipo LP y tornillos - realizadas utilizando la atenuación de las amplitudes relativas - se concentraron principalmente en el área del cráter. En total se atenuaron 644 eventos LP y 157 eventos tipo Tornillo (Figuras 13 y 14).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



Figura 51. Mapa de localización de los eventos LP, segundo semestre de 2010 en el volcán Puracé



Figura 52. Mapa de localización de los eventos tipo Tornillo, segundo semestre de 2010 en el volcán Puracé



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**2.2.2 ACTIVIDAD SÍSMICA RELEVANTE REGISTRADA DURANTE EL SEGUNDO SEMESTRE DE 2010.**

El volcán Puracé mostró un comportamiento estable en cuanto a la actividad sísmica registrada durante el segundo semestre de 2010, observándose un claro dominio de la sismicidad asociada al movimiento y tránsito de fluidos dentro de los conductos internos del volcán, en la figura 15 se observa que durante todo el año 2010 los eventos de largo periodo fueron dominantes en la sismicidad de este complejo volcánico. Los eventos LP estuvieron caracterizados por presentar frecuencias dominantes asociadas a las máximas amplitudes en un rango entre 2 Hz y 6 Hz principalmente (figura 16).

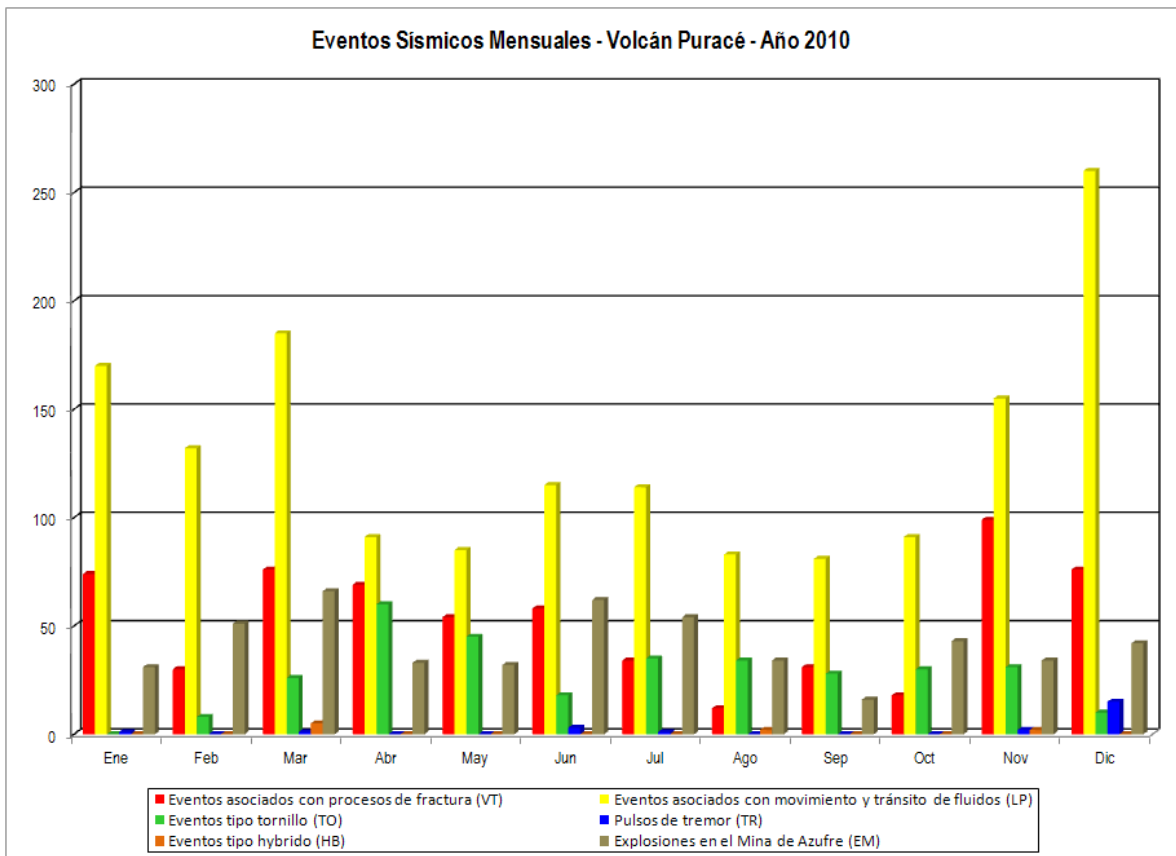
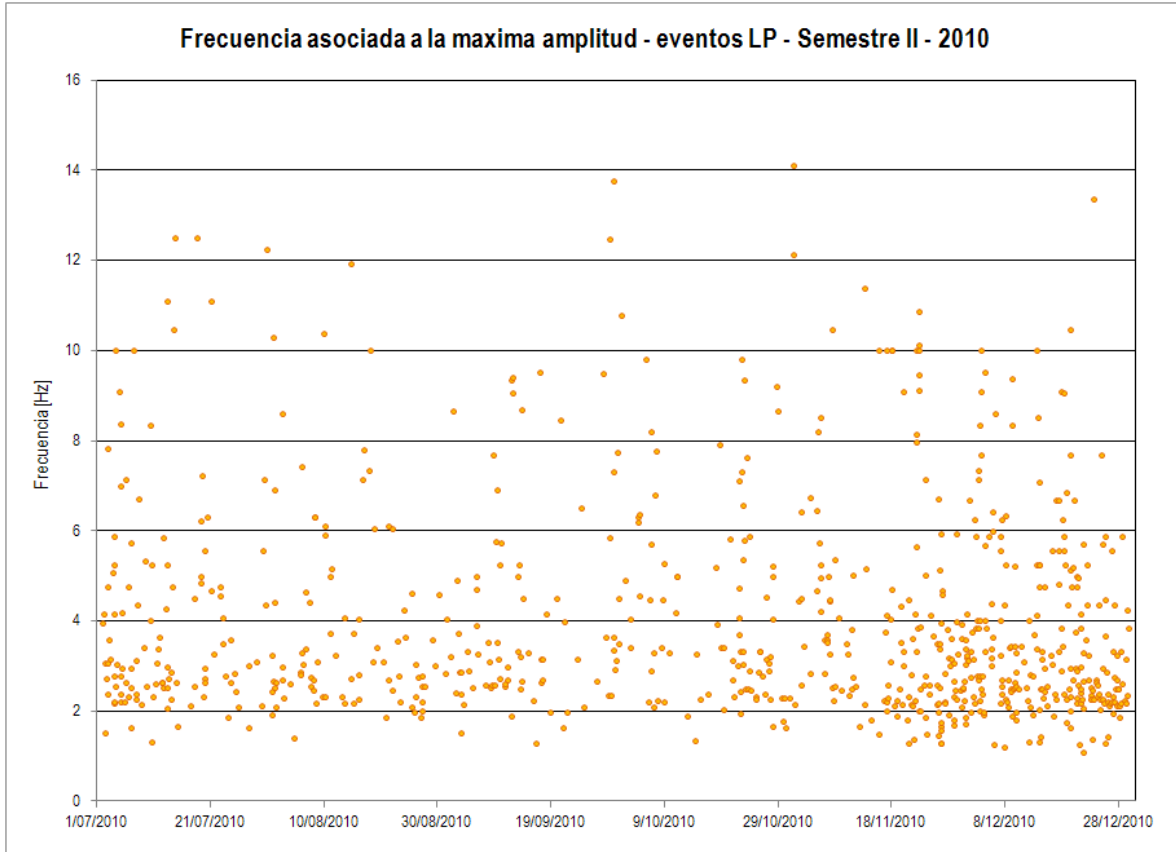


Figura 53. Eventos sísmicos mensuales, volcán Puracé año 2010.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 54.** Frecuencia asociada a la máxima amplitud en eventos LP – segundo semestre de 2010.

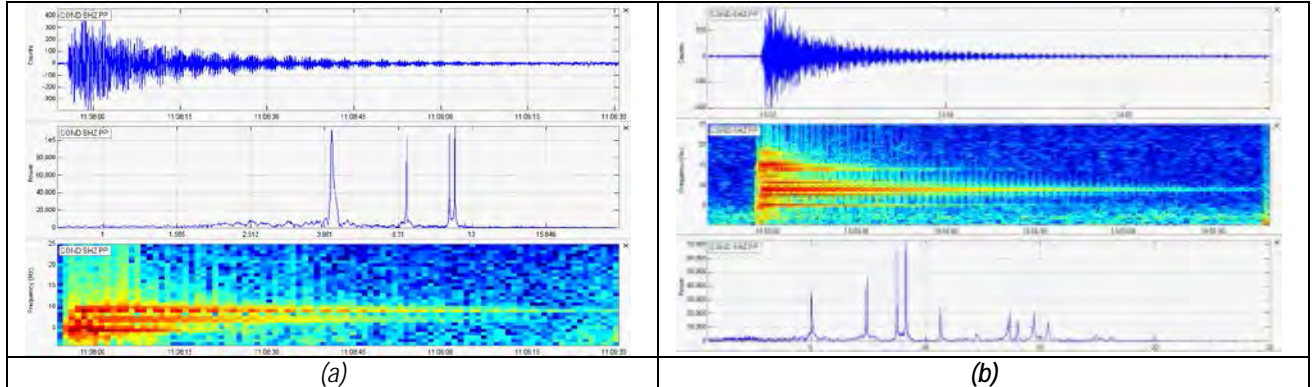
Los eventos tipo Tornillo estuvieron presentes durante todo el año 2010, con una tasa de ocurrencia de 27 eventos por mes, este tipo de sismicidad ha sido asociada con la épocas de mayor precipitación en la región, por lo que se presume que sea una respuesta del sistema hidrotermal a la recarga producida por las aguas lluvias. Los eventos tipo Tornillo presentan una forma de onda aparentemente homogénea en el contenido de frecuencias y una gran duración con decaimiento lento de coda.

Esta sismicidad se caracterizó por ser muy energética y presentar picos de frecuencias dominantes en su espectro, las cuales oscilaron entre 4 Hz y 10 Hz. En la figura 15 se puede observar el registro digital de algunas de las señales más representativas de este tipo de sismicidad.

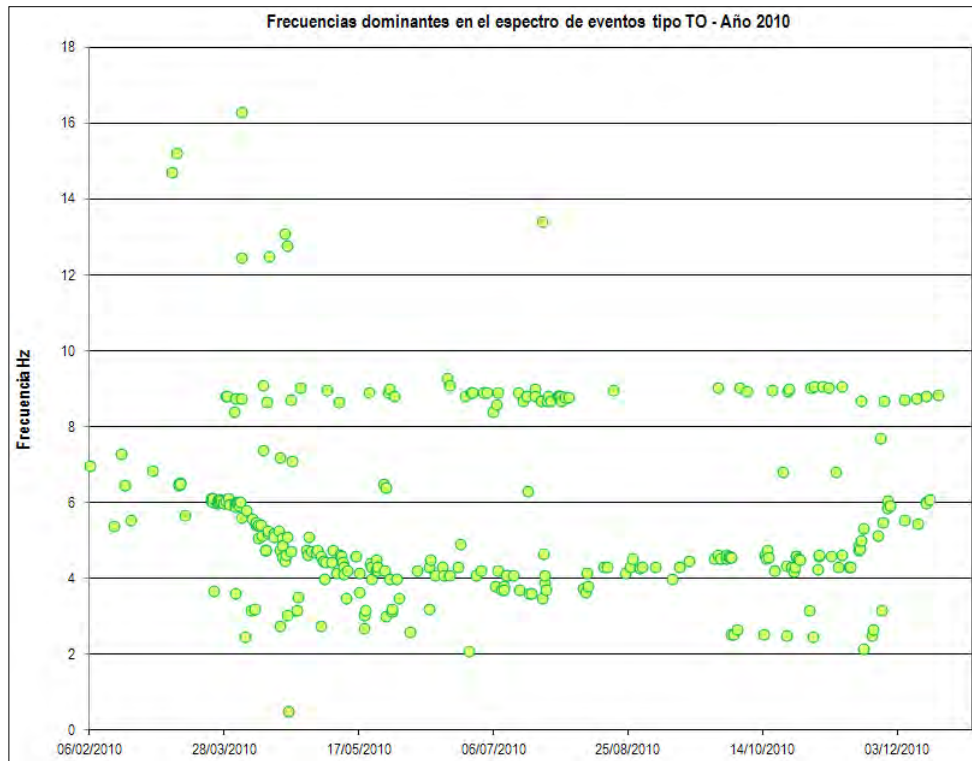




**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 55.** Registro sísmico que comprende: la señal sísmica, el espectrograma de la misma y su respectivo espectro de frecuencias. (a) Tornillo registrado el 17 de agosto a las 11:08 UT (b) Tornillo registrado el 2 de diciembre a las 13:53 UT.



**Figura 56.** Registro sísmico que comprende: la señal sísmica, el espectrograma de la misma y su respectivo espectro de frecuencias. (a) Tornillo registrado el 17 de agosto a las 11:08 UT (b) Tornillo registrado el 2 de diciembre a las 13:53 UT.

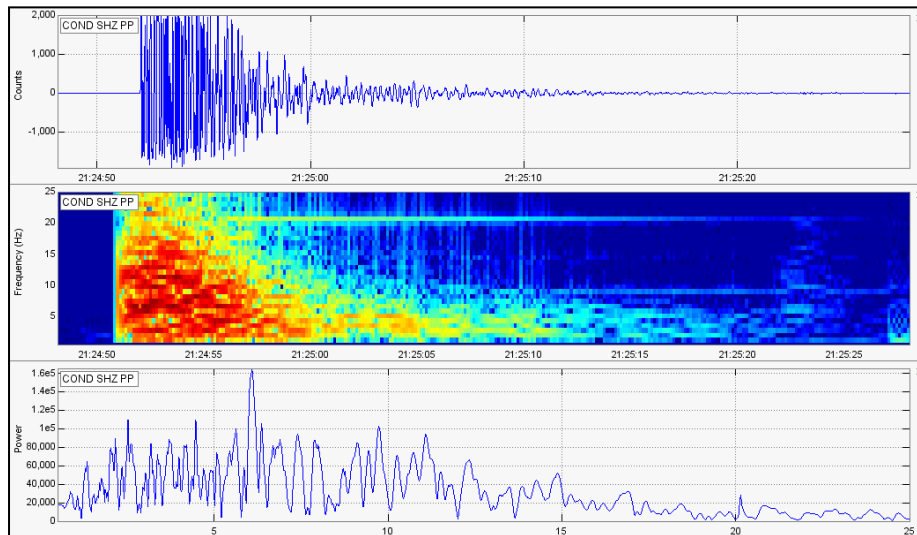
En cuanto a la sismicidad asociada a procesos de fracturamiento de roca, registrada durante el segundo semestre de 2010 en proximidades al cráter, se destaca la ocurrencia de diez eventos con magnitudes locales iguales o mayores a 1.5 (Tabla 4), siendo relevante el evento del 2 de diciembre a las 21:24 UT, el cual alcanzó una magnitud local de 2.7 y presentó una profundidad superficial de 1.06 km (Figura 19).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**Tabla 9.** Características principales de los eventos tipo VT registrados en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010 y que presentaron magnitudes locales mayores o iguales a 1.5.

Fecha	Hora UT	Latitud	Longitud	Profundidad [Km]	Magnitud Local
06/11/2010	11:34	2.3170	-76.3945	1.32	1.8
16/11/2010	04:42	2.3158	-76.3978	1.26	1.5
16/11/2010	19:03	2.3153	-76.4003	1	2.1
26/11/2010	08:01	2.3160	-76.3937	2.39	2.1
29/11/2010	17:39	2.3067	-76.4002	4.48	1.5
02/12/2010	21:24	2.3167	-76.3958	1.06	2.7
04/12/2010	22:39	2.3177	-76.3935	2.37	1.6
08/12/2010	06:22	2.3148	-76.4602	11.11	1.6
22/12/2010	11:23	2.3155	-76.3933	0.69	1.7
25/12/2010	16:20	2.3162	-76.3983	1.05	1.5



**Figura 57.** Evento de fractura del volcán Puracé registrado el 2 de diciembre a las 21:24 UT. Señal digital, espectrograma y espectro de frecuencia.

Durante el año 2010, la sismicidad asociada a procesos de fracturamiento de roca se caracterizó por ubicarse de manera preferencial bajo el cráter activo, en la figuras 20 y 21 se observa la distribución hipocentral de la sismicidad Volcano – tectónica y su distribución por rangos de magnitudes locales. En las gráficas puede observarse que un gran número de la sismicidad VT se agrupa bajo el cráter activo, describiendo la distribución espacial del fracturamiento de roca dentro de la estructura del volcán Puracé, hasta los 4 km de profundidad.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Profundidad [Km]	Mag_Local
● 0.3 - 1.0	● 0.0 - 0.5
● 1.0 - 2.0	● 0.5 - 1.0
● 2.0 - 4.0	● 1.0 - 1.5
● 4.0 - 8.0	● 1.5 - 2.0
● 8.0 - 16.0	● 2.0 - 3.0

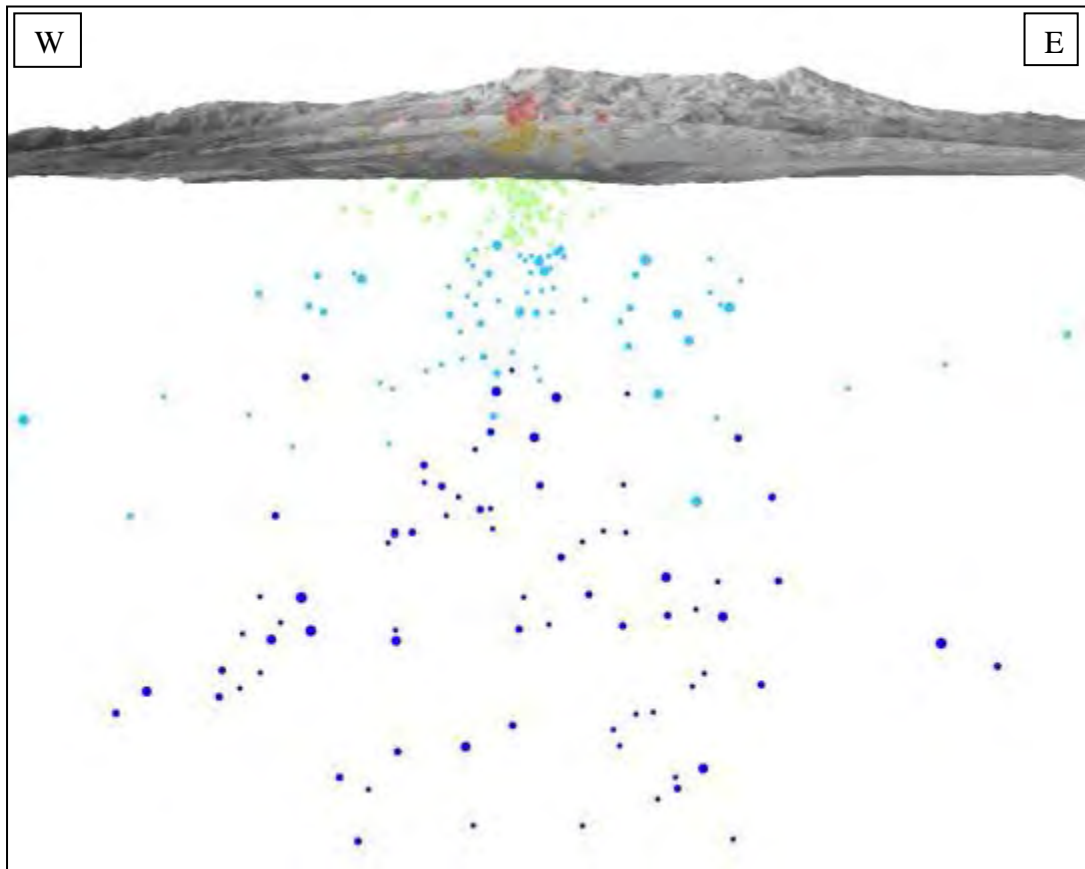
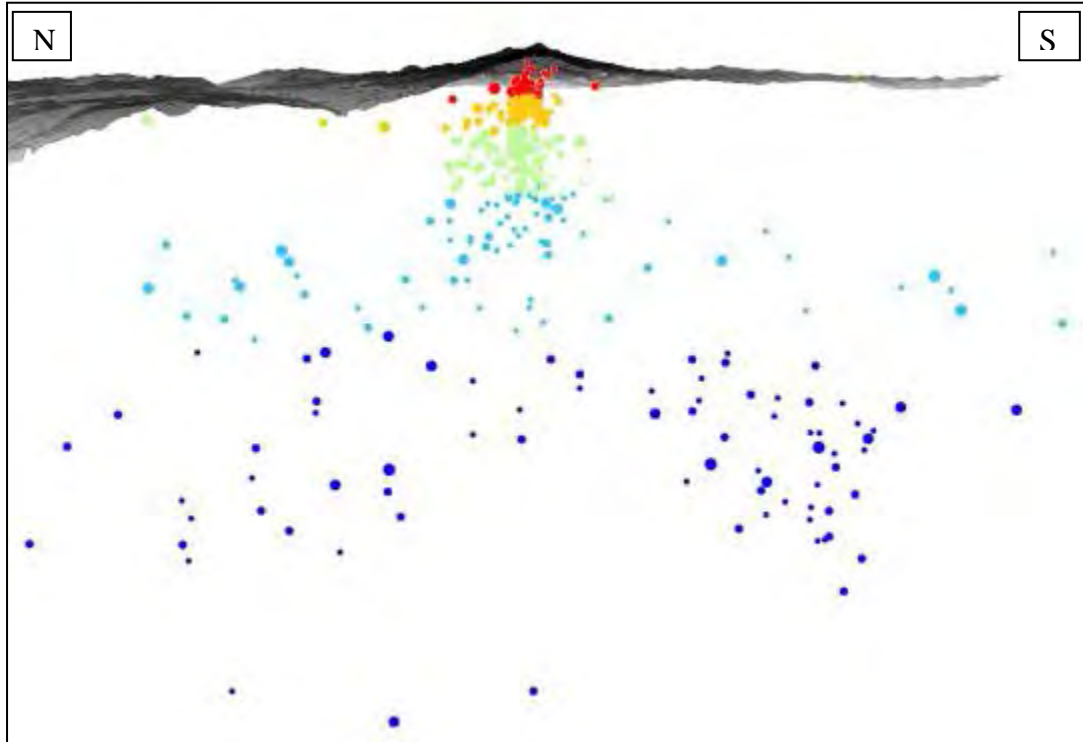


Figura 58. Eventos de fractura registrados en el volcán Puracé durante el año 2010, vista en el sentido W-E.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 59.** Eventos de fractura registrados en el volcán Puracé durante el año 2010, vista en el sentido N-S.

### 2.3 DEFORMACIÓN DEL SUELO

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, en un periodo determinado.

Para medir los cambios horizontales y verticales que ocurren en un volcán, se emplean métodos topográficos de alta precisión (Vector de nivelación) y métodos electrónicos de alta sensibilidad (inclinómetros), ya que las deformaciones volcánicas son muy pequeñas del orden de los mm, décimas y centésimas de mm y en microradianes (variación vertical de 1 mm en una línea de 1 km de longitud).

Durante el segundo semestre del año 2010, se contó con el funcionamiento de tres inclinómetros electrónicos (Guañarita 97%, Lavas Rojas 97% y Curiqinga 42%) y se realizó la ocupación de los vectores de nivelación en el volcán Puracé.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

### 2.3.1 INCLINOMETRÍA ELECTRÓNICA.

Un inclinómetro electrónico es un instrumento electrónico que registra las inclinaciones del terreno por medio de una plataforma de nivelación triangular, sobre la cual se montan 2 sensores de inclinación (niveles electrolíticos) orientados ortogonalmente (paralelos a los lados del triángulo de la plataforma) y un sensor de temperatura para control de cambios térmicos. La inclinación del terreno se mide con la salida de cada eje del plato nivelante, calculando un vector resultante que da la dirección y magnitud de rotación de la plataforma con respecto al vector vertical de gravedad.

En general los inclinómetros de la red de vigilancia del Volcán Puracé se han caracterizado por presentar fluctuaciones en sus dos componentes (x, y), esto, debido a que su instalación física es a nivel superficial y se encuentran anclados a la roca con material epóxico, 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 a raíz de ello se puede decir que no se están presentando procesos deformativos importantes en el edificio volcánico.

#### 2.3.1.1 INCLINÓMETRO GUAÑARITA.

Localizado a 1 km al NW del cráter del Volcán Puracé (4294 m.s.n.m), sus dos componentes muestran variaciones debidas efectos ambientales pero en general su línea base de comportamiento es estable en lo corrido del año. Desde principio del mes de septiembre se observa un descenso en la componente "Y" del sensor que coincide con un descenso en el voltaje de la estación e inicio de la época invernal en esta región, por ello se puede atribuir este comportamiento a efectos ambientales. La componente "X" oscila alrededor de los 16  $\mu$ rad y la componente "Y" oscila alrededor de los 30  $\mu$ rad.

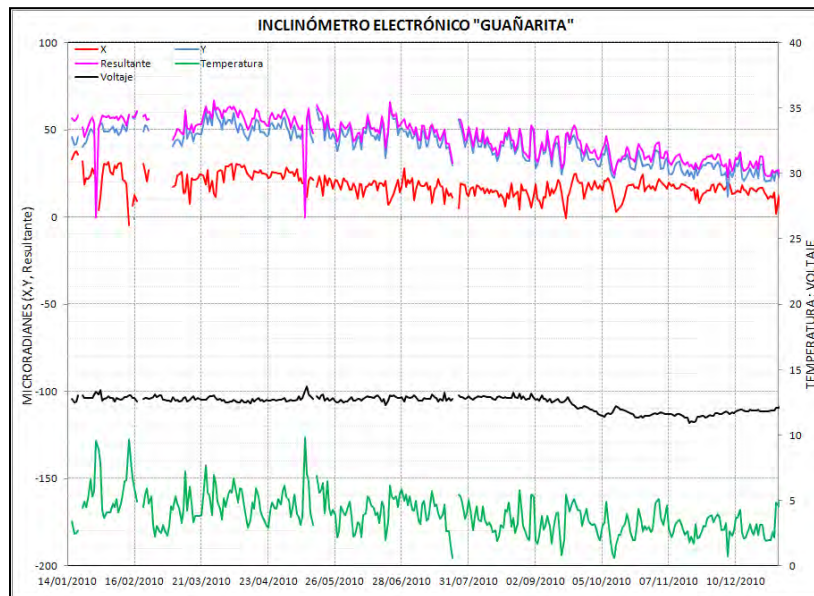


Figura 60. Inclinómetro electrónico Guañarita, ubicado sobre el costado norte del edificio volcánico.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**2.3.1.2 INCLINÓMETRO LAVAS ROJAS.**

Localizado a 2.4 km al W-NW del cráter del Volcán Puracé (4046 m.s.n.m), sus dos componentes muestran variaciones debidas efectos ambientales pero en general su línea base de comportamiento es estable en lo corrido del año. La componente "X" oscila alrededor de los -40  $\mu$ rad y la componente "Y" oscila alrededor de los -7  $\mu$ rad, ambas en tendencia estable.

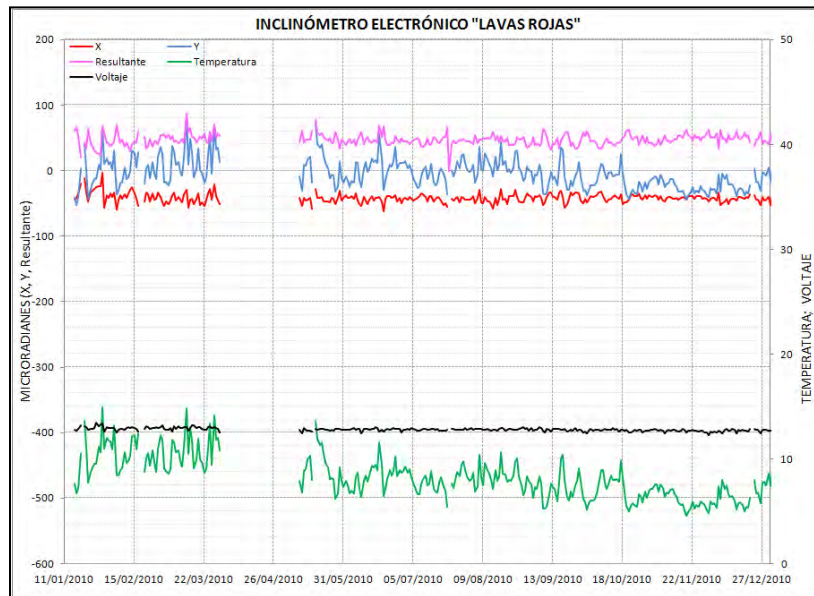


Figura 61. Inclinómetro electrónico Lavas Rojas, ubicado sobre el costado occidental del edificio volcánico.

**2.3.1.3 INCLINÓMETRO CURIQUINGA.**

Localizado a 1.6 km al SE del Volcán Puracé (4507 m.s.n.m); durante el segundo semestre de 2010 este inclinómetro alcanzó a saturar su registro debido a problemas en su instalación; por ello, los datos no se reportan ya que fueron afectados por condiciones locales y posteriormente a este episodio, la estación dejó de transmitir datos por envejecimiento de la baterías.

**2.3.2 VECTORES DE NIVELACIÓN.**

Un vector de nivelación es un arreglo de puntos que se materializan en campo formando poligonales abiertas o cerradas, con una longitud variable entre 30 m y 100 m, sobre el cual se realiza una nivelación de precisión que permite conocer las diferencias de nivel existentes entre los vértices. Cada vértice preferiblemente se materializa sobre rocas estables (lavas), en donde se empotra una placa metálica que se fija con concreto. Durante el segundo semestre de 2010, se planearon dos ocupaciones de los vectores de nivelación de la red de deformación del Volcán Puracé, pero debido a condiciones climáticas sólo fue posible la ocupación de algunos de ellos. Los vectores ocupados se mantienen en una línea base, lo que sugiere que no se están presentando procesos deformativos importantes en el volcán.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**Vector Campamento:** Su comportamiento sigue presentando estabilidad y no se registran cambios significativos, manteniéndose en un rango entre -0.5 mm y 1.0 mm.

**Vector Pilimbalá:** Conserva una tendencia estable con cambios que no superan un milímetro (1 mm) por lo cual se considera que se halla dentro de una línea base estable.

**Vector Mina:** Conserva una tendencia estable con cambios que no superan un milímetro (en las últimas ocupaciones), por lo cual se considera que se halla dentro de una línea base estable.

**Vector Estación:** Las condiciones climáticas adversas sólo permitieron ocupar cuatro tramos del vector; su comportamiento es variable ( $\pm 2$ mm) pero al correlacionar esta información con las demás redes de vigilancia se puede afirmar que en el edificio volcánico no se están presentando procesos deformativos de gran atención.



Figura 62. Vector de nivelación Campamento.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

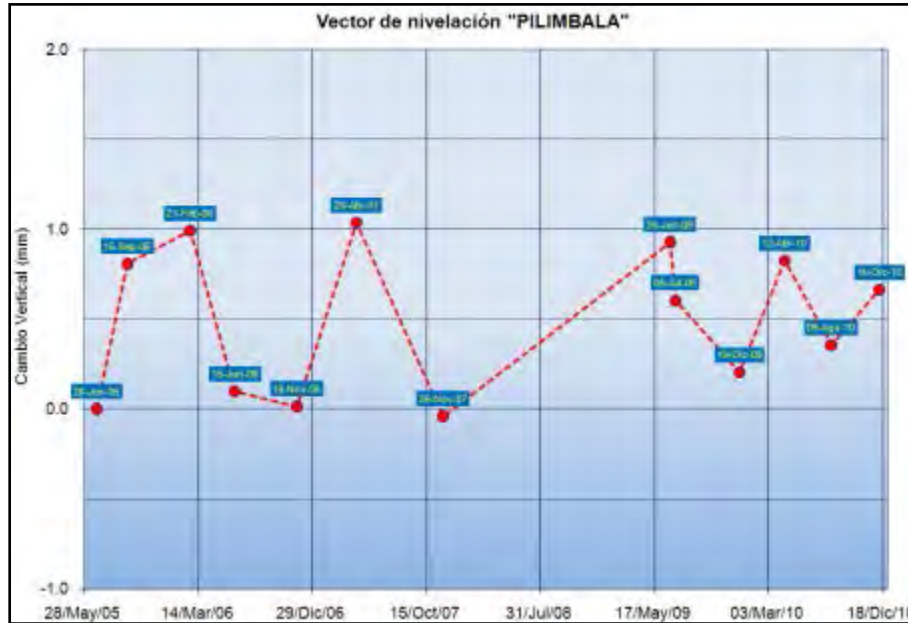


Figura 63. Vector de nivelación Pilimbala.



Figura 64. Vector de nivelación La Mina.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

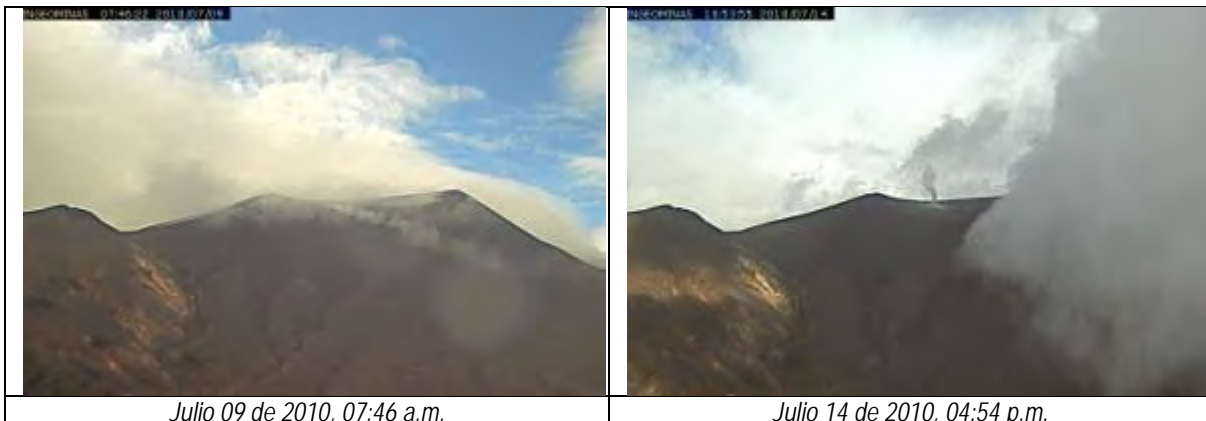


Figura 65. Vector de nivelación La Estación.

## 2.4 ACTIVIDAD SUPERFICIAL.

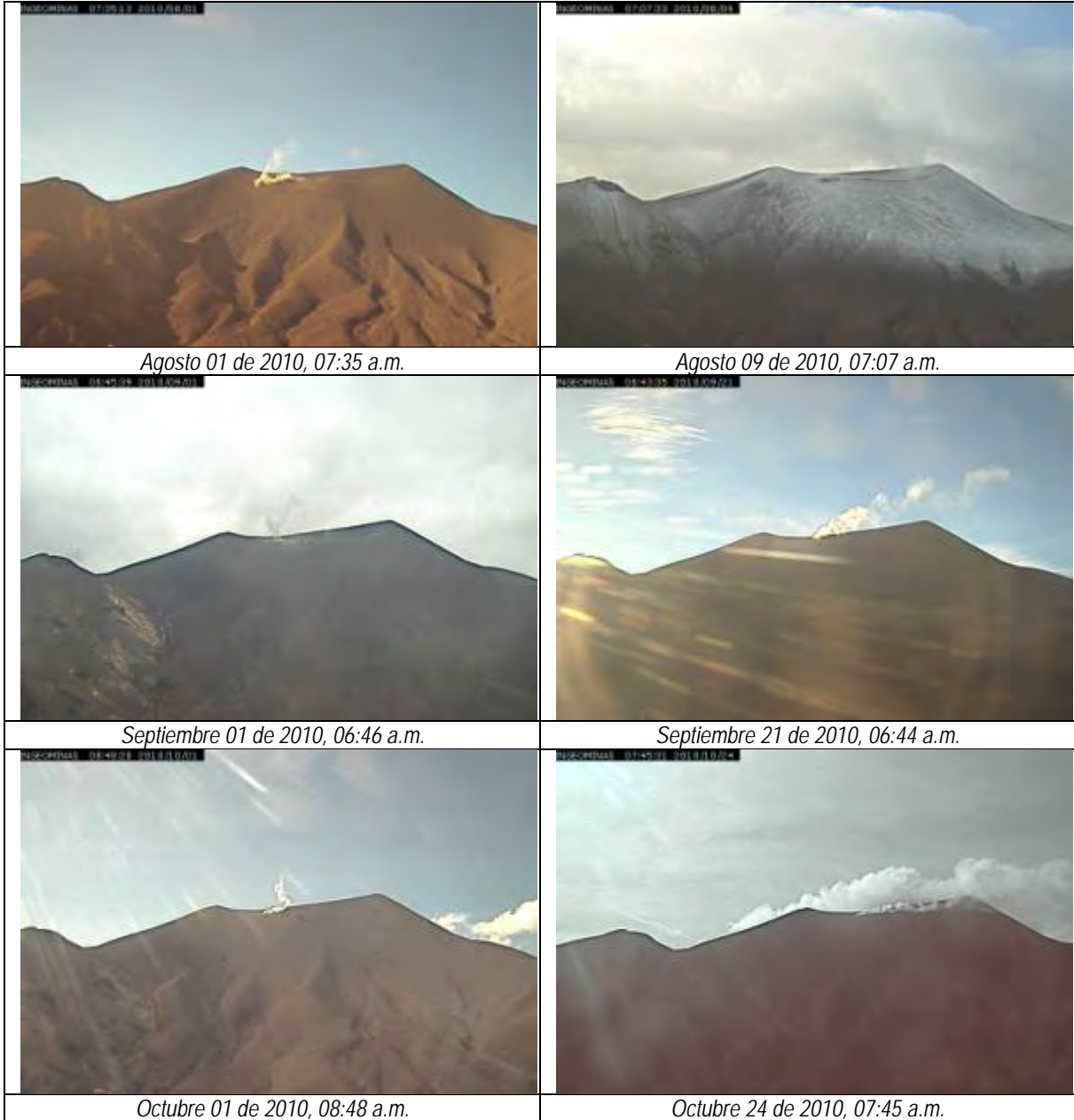
### 2.4.1 CÁMARA DE SEGUIMIENTO SUPERFICIAL:

A través de las imágenes captadas por la cámara web instalada en la estación La Mina, se hizo seguimiento a la actividad superficial presentada por el volcán durante el semestre. Este seguimiento consistió en monitorear el comportamiento de la fumarola lateral (altura y color), observándose pequeñas emanaciones de gases que se dispersaron según el régimen de vientos imperantes en la zona y que no alcanzaron los 500m de altura (Figura 28).



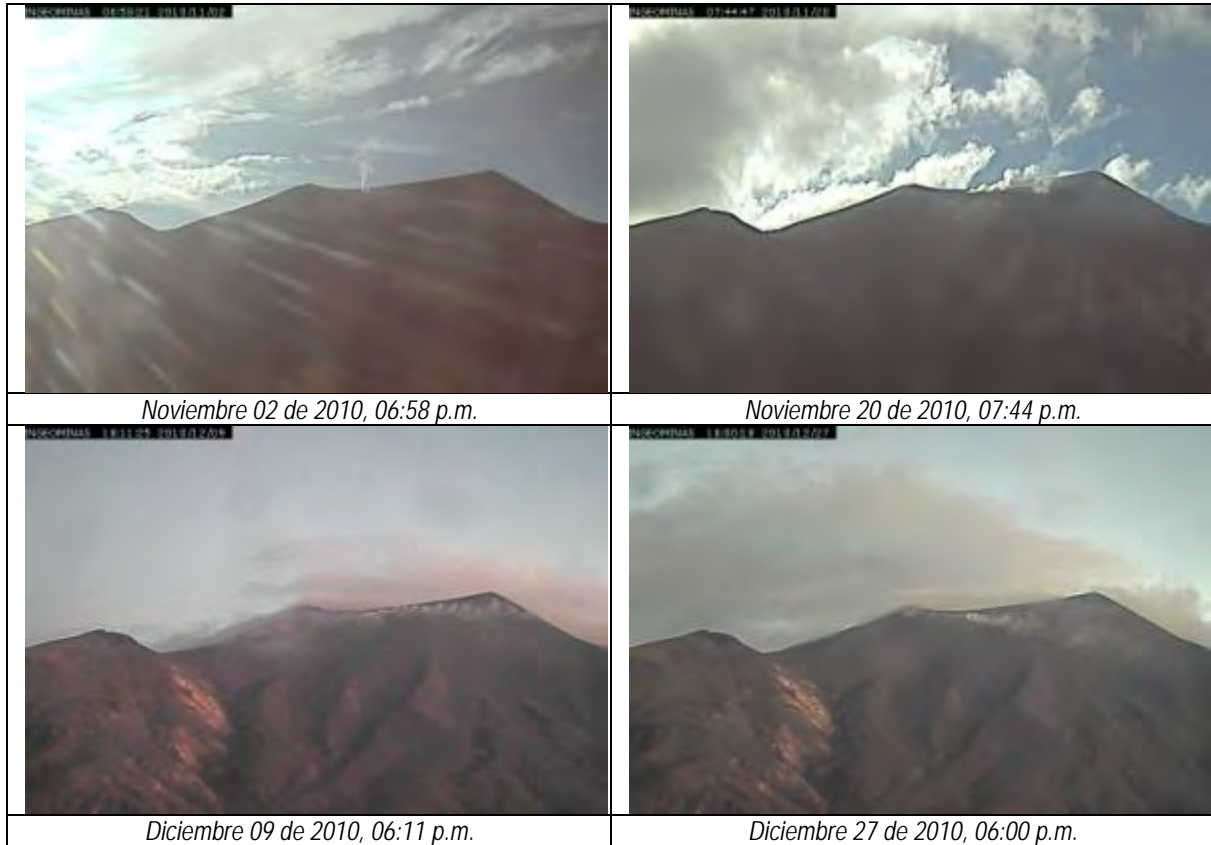


**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 66.** Algunas de las imágenes fotográficas del volcán Puracé captadas a través de la cámara WEB instalada en la estación La Mina, durante el segundo semestre de 2010.

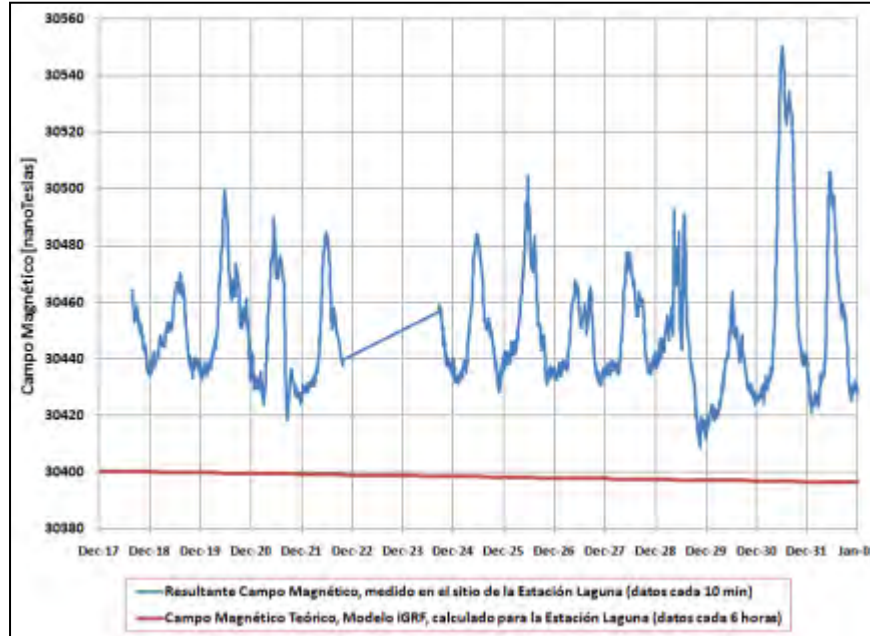
## 2.5 MAGNETOMETRIA.

El 6 de diciembre de 2010, se instaló un magnetómetro en la estación Puracé; a esta estación le denominó Laguna. Esta se encuentra ubicada a 1.6 Km al norte del cráter del volcán Puracé y a 26 Km de la sede del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán (Figura 43).

La figura 68 muestra el comportamiento de la resultante teórica del campo magnético terrestre para el sitio de la estación Laguna (de acuerdo con el modelo de referencia mundial IGRF), respecto a la resultante medida por el magnetómetro. Se observan variaciones día-noche, generadas por los cambios diarios en la radiación solar. Se requiere un período de registro más grande para establecer una línea base adecuada que permita empezar a identificar cambios posiblemente asociados a la actividad volcánica.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Figura 67.** Comportamiento de la resultante teórica del campo magnético terrestre para el sitio de la estación Laguna (de acuerdo con el modelo de referencia mundial IGRF), respecto a la resultante medida por el magnetómetro, entre el 17 y el 31 de diciembre de 2010. Se observan variaciones día-noche, generadas por los cambios diarios en la radiación solar.

## 2.6 TEMPERATURA FUENTES TERMALES.

El día 25 de noviembre de 2010, con uso de la cámara térmica Fluke Ti32, donada por el VDAP (Volcano Disaster Assistance Program - USGS) al Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, se procedió a tomar temperaturas de algunas fuentes termales del Volcán Puracé. Esta actividad se realiza con el fin de crear una línea base de comportamiento de la temperatura de las fuentes, para así, si en algún momento (ascenso de un cuerpo magmático a superficie) se observan alteraciones anómalas en su línea base, sirva como una herramienta más para la vigilancia al correlacionarla con las demás técnicas.

**Tabla 10.** Coordenadas aproximadas de algunas fuentes termales WGS84.

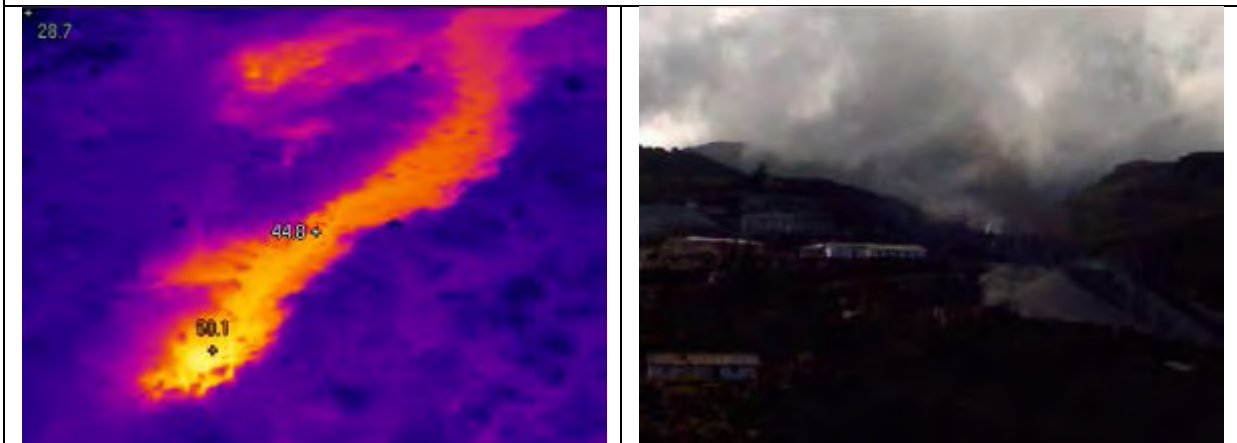
Fuente Termal	Latitud N	Longitud W	Altitud m.s.n.m.
Agua Tibia	2.304	76.508	2640
Agua Hirviendo	2.330	76.489	2630
San Juan	2.340	76.313	3255
La Mina	2.350	76.410	3600



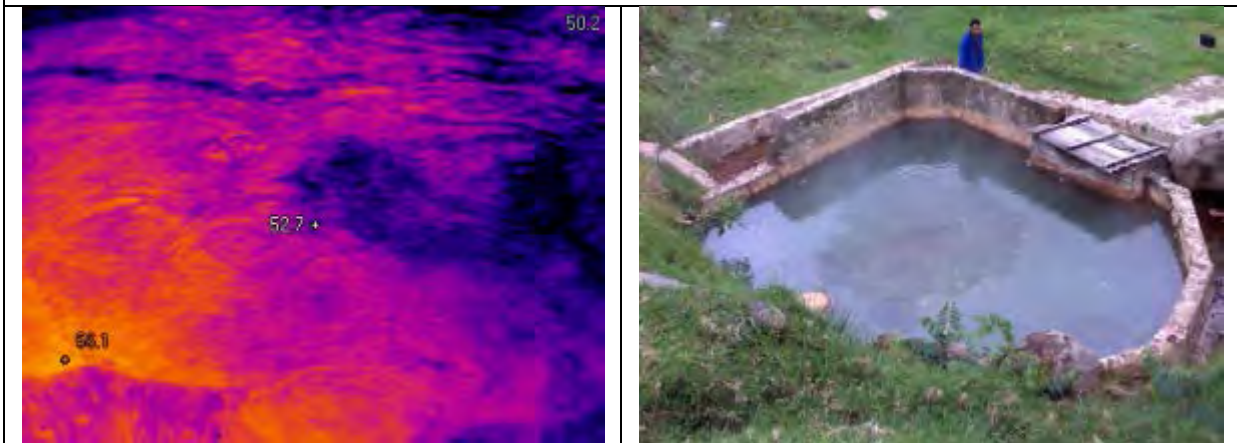
**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



*Fuente Termal San Juan T= 35.6°C*



*Fuente Termal La Mina T= 50.1°C*



*Fuente Termal Agua Tibia T= 56.1°C*



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



**Fuente Termal Agua Hirviendo  $T= 76.9^{\circ}C$**

Figura 68. Temperaturas de fuentes termales, Volcán Puracé, 25 de Noviembre de 2010.

## CONCLUSIONES

Del seguimiento y monitoreo continuo al comportamiento presentado por el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2010, se concluye que:

- El volcán se caracterizó por presentar bajos niveles de actividad sísmica, observándose un predominio de la sismicidad asociada con la dinámica de fluidos y la presencia casi constante de eventos tipo Tornillo. Sin embargo, esto no implica una desestabilización del sistema volcánico, dados los niveles de actividad considerados para este Volcán.
- Con el fin de ampliar la red de vigilancia del volcán, se han implementado nuevas técnicas como "Magnetometría" y "Temperaturas de Aguas Termales", las cuales hasta la fecha se encuentran creando una línea base de datos para a futuro, poder identificar cambios asociados a la actividad volcánica.
- De la red de deformación, tanto los vectores de nivelación como los inclinómetros electrónicos mostraron estabilidad en sus datos, lo cual sugiere que tampoco se están presentando procesos inflacionarios o deflacionarios en este Volcán.
- A través de la cámara web instalada en Mina, se observó que la fumarola lateral presentó un comportamiento estable durante el semestre.

Por lo anterior el OVS-Popayán mantiene el nivel de actividad sísmica del volcán en:

**NIVEL VERDE (IV): VOLCÁN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE.**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

Nivel	Número	Estado de Actividad	Escenario Posible
	IV	Volcán activo y comportamiento estable	El volcán puede estar en un estado base que caracteriza el periodo de reposo o quietud, o registrar actividad sísmica, fumarólica u otras manifestaciones de actividad en superficie que afectan fundamentalmente la zona más inmediata o próxima al centro de emisión, por lo que no representa riesgo para las poblaciones y actividades económicas de su zona de influencia.

El INGEOMINAS - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, continúa atento a los cambios en el comportamiento que este volcán pueda presentar.

### 3. VOLCÁN SOTARÁ



**Figura 69.** Volcán Sotará.

El volcán Sotará es un estrato volcán activo, rico en lavas (domina la actividad efusiva sobre la explosiva), se localiza en el municipio de Sotará, departamento del Cauca, a una distancia de 25 km al sureste de Popayán y suroccidente del volcán Puracé. Tiene una elevación hasta la cima de 4.580 m.s.n.m. El Sotará tiene tres calderas de 4.5, 2.5 y 1 km de diámetro las cuales le dan a la cima una forma irregular. No hay registro histórico de erupciones de este volcán, sin embargo presenta fumarolas y actividad térmica. En algunas ocasiones se le puede ver cubierto de nieve en los meses de invierno.

Las labores de monitoreo se iniciaron en noviembre de 1993 con la instalación de la estación telemétrica Sotará en el sector NE del volcán. En mayo de 1994 esta estación fue robada y reinstalada en diciembre del mismo año. En 1995 se empieza a registrar un cambio en la actividad sísmica, y se instala temporalmente una segunda estación sismológica en cercanías del volcán Cerro Negro. Anualmente, desde 1996 se está realizando un seguimiento geoquímico en dos fuentes termales (Las Amarillas y Las Calientes). En 1999 se hizo un muestreo del campo fumarólico.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

La actividad durante el segundo semestre de 2010 en el volcán Sotará el cual es vigilado por el OVS-Popayán, se caracterizó por presentar un nivel bajo, sin embargo se dio un particular registró de eventos tipo VT asociados a la dinámica tectónica local hacia el NE del volcán, en el borde del valle de Paletará, especialmente en los meses de julio y septiembre, donde se registraron magnitudes locales en un rango entre 2.0 y 4.4.

### 1. RED DE ESTACIONES

Dentro de la red de estaciones que tiene a su cargo el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán -OVSPOP- se encuentran instaladas y funcionando en el volcán Sotará, la estaciones sísmicas Oso y Sotará y dos inclinómetros electrónicos. Ver figura 71.

- El porcentaje de funcionamiento total de la red de estaciones del volcán Sotará a cargo del OVS-Popayán durante el segundo semestre fue de 85%.
- Los inclinómetros electrónicos se encuentran generando líneas bases de comportamiento, sin marcar por ahora ningún cambio significativo.

La figura 70 describe el porcentaje de funcionamiento de la red de estaciones durante el segundo semestre de 2010.

Tabla 11. Características de la Red de Vigilancia del Volcán Sotará.

Nombre	Tipo	Altura (msnm)	Distancia al Cráter	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
<i>Oso</i>	Corto Periodo	4060	1.2 Km.	2.111190	-76.596840
<i>Sotará</i>	Banda Ancha	3795	3.6 Km.	2.132200	-76.604220
<i>Cerro Gordo</i>	Banda Ancha	3874	3.2 Km.	2.095495	-76.567868
<i>InclinómetroOso</i>	Electrónico	4060	1.2 Km.	2.111190	-76.596840
<i>InclinómetroSotará</i>	Electrónico	3795	3.6 Km.	2.132200	-76.604220

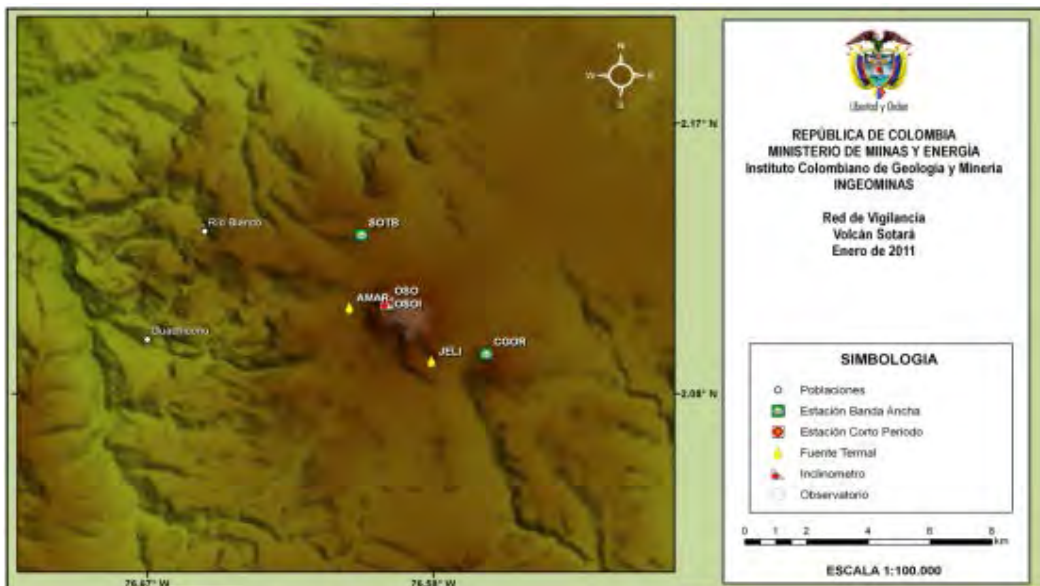


Figura 70. Mapa de la red de estaciones del Volcán Sotará – 2010





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



Figura 71. Porcentaje de funcionamiento de cada una de las estaciones durante el segundo semestre de 2010.

## 2. ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN SOTARÁ

Durante el segundo semestre de 2010 se registraron 43 eventos volcano-tectónicos (VT) con un promedio de ocurrencia de 0.23 eventos/día.

La tabla 13 y la figura 72 resumen el comportamiento sísmico del volcán Sotará durante el segundo semestre de 2010.

Tabla 12. Número de eventos registrados en el volcán Sotará - Segundo Semestre 2010.

Fechas	Tipo de eventos	
	VT	LP
Sismicidad registrada durante el segundo semestre de 2010 (Julio - Diciembre)	43	0



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

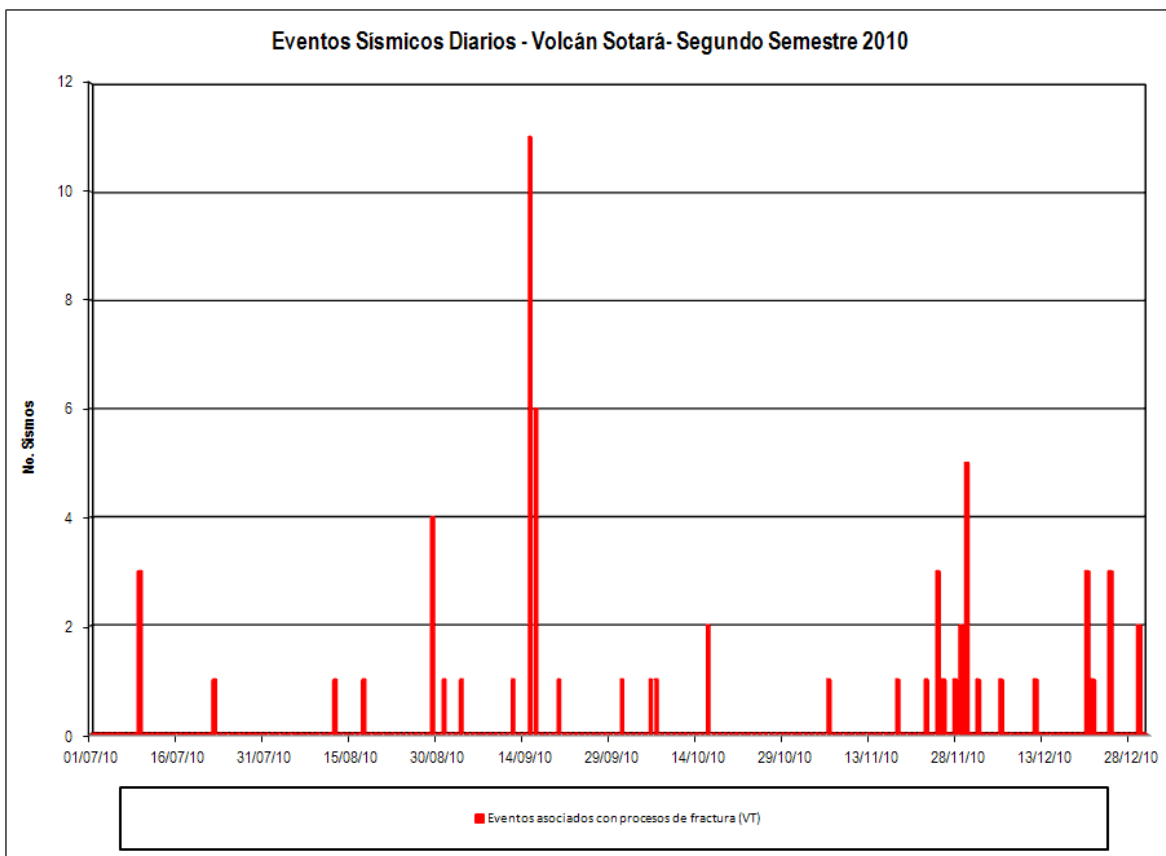


Figura 72. Número de eventos acumulados durante el segundo semestre 2010

### 3. ENERGÍA LIBERADA POR EL VOLCÁN SOTARÁ

En este período se registraron eventos que se relacionan a procesos de fractura (VT), con un valor acumulado semestral de  $1.69E+08$  ergios<sup>½</sup>, y un valor máximo de  $1.12E+08$  ergios<sup>½</sup>, asociado al registro de tres eventos del día 15 de septiembre, con duraciones aproximadas de 28 s y 134 s, y una magnitud local de 4.4; la tabla 14 y las gráficas de las figuras 73 y 74 muestran en detalle el comportamiento diario de la energía sísmica liberada y de la energía acumulada en el volcán Sotará, asociada y calculada para los eventos VT registrados entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2010.

Tabla 13. Número de eventos y Energía liberada en el volcán Sotará en el Segundo Semestre de 2010.

Periodo	Tipo de eventos	No. de eventos	Energía (erg) Acumulado	Energía (erg) Max
01/07/ 2010 – 31/12/2010	VT	43	$1.69E+08$	$1.12E+08$
	LP	0	-	-



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

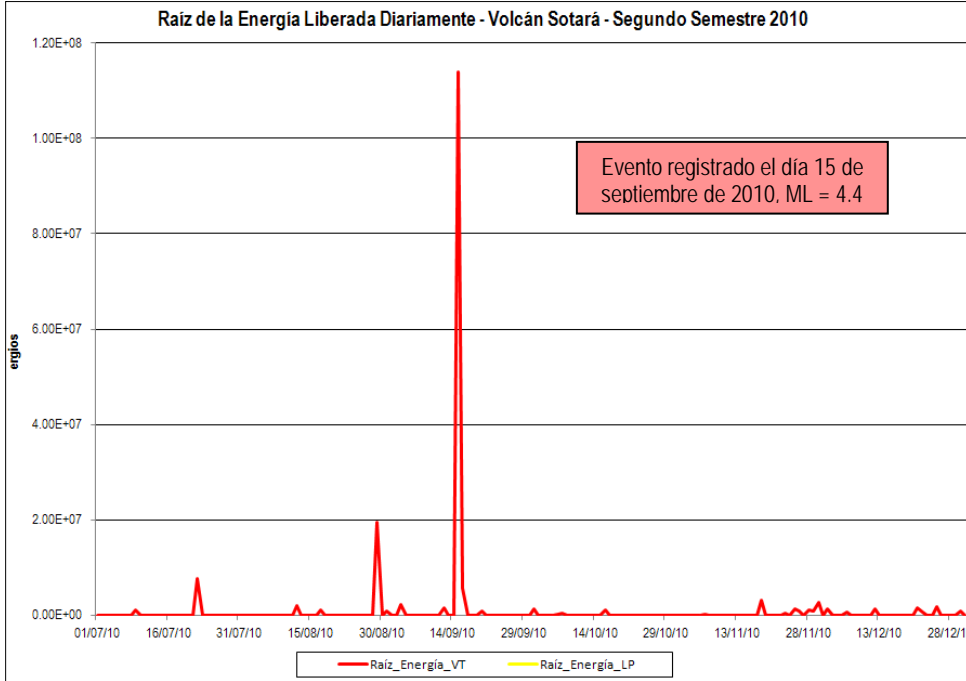


Figura 73. Energía liberada diaria por los eventos Volcano-Tectónicos y Largo Periodo, del segundo semestre de 2010.

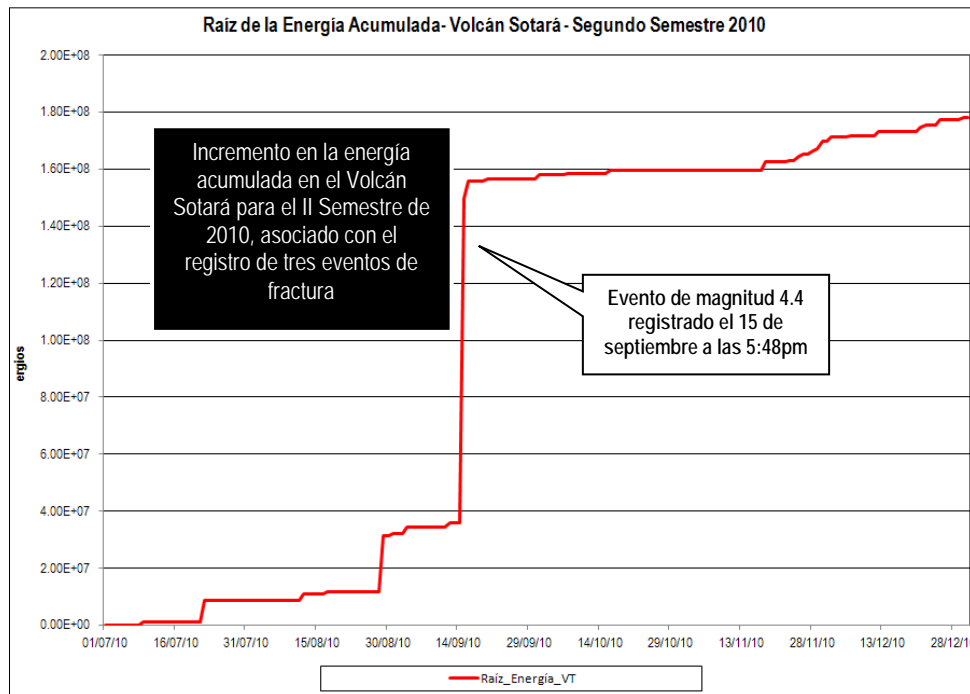


Figura 74. Raíz de la energía sísmica acumulada diaria, liberada por el Volcán Sotará a través de los eventos VT's registrados durante el segundo semestre de 2010 (Julio - Diciembre).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

#### 4. LOCALIZACIÓN DE EVENTOS SÍSMICOS.

En el periodo del 1 de julio al 31 de diciembre de 2010 se presentaron un total de 43 sismos VT, de ellos se logró obtener localización de 35 eventos, usando tanto la red sísmica del volcán Sotará y del volcán Puracé.

Se resalta el registro de cuatro eventos ocurridos en los meses de julio y septiembre de 2010, los cuales presentaron magnitudes locales superiores a 2.0, con profundidades que oscilan entre 6 km y 12 km ubicados al NE del volcán Sotará (Tabla 15), cerca de la zona denominada como Valle de Paletará, conocida por su actividad tectónica actual; es importante mencionar que ninguno de ellos se relacionó con procesos que pudiesen ser potencialmente amenazantes en cuanto a la actividad del volcán Sotará. Ver tabla 15 y figura 79.

**Tabla 14.** Parámetros de localización de eventos Volcano – tectónicos registrados del 1 de julio al 31 de diciembre de 2010, con magnitudes superiores a 2.0.

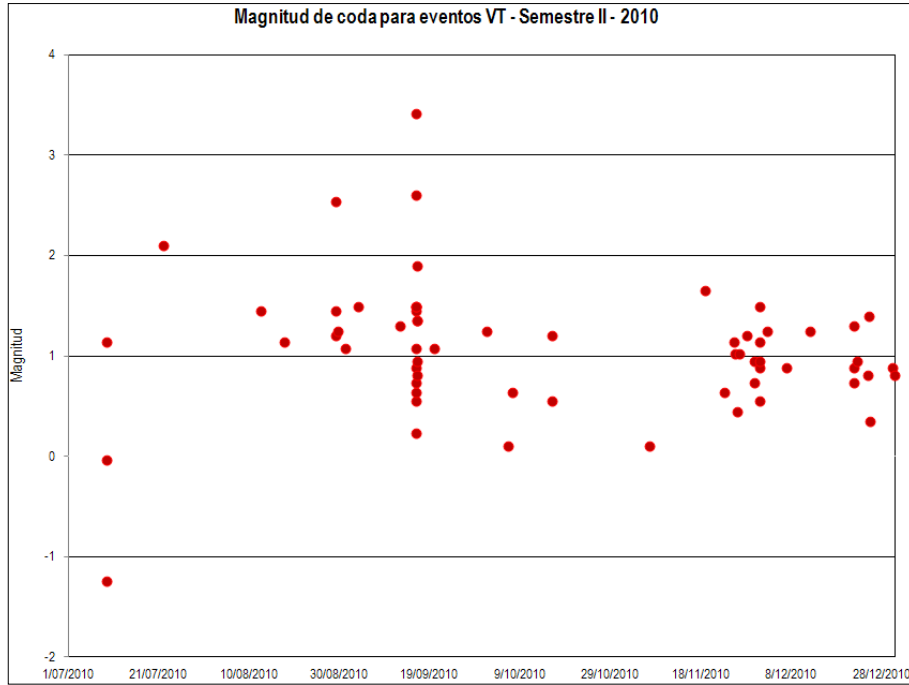
Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Profundidad	Magnitud Local
22/07/2010	01:10	02-12.02	-76-29.83	6.8 km	2.0
29/08/2010	02:18	02-04.76	-76-41.58	11.6 km	2.8
15/09/2010	22:48	02-10.05	-76-28.80	4.2 km	4.4*
15/09/2010	23:22	02-12.45	-76-30.59	6.9 km	2.6

Las características destacadas de los sismos VT registrados en el volcán Sotará durante el segundo semestre de 2010 son:

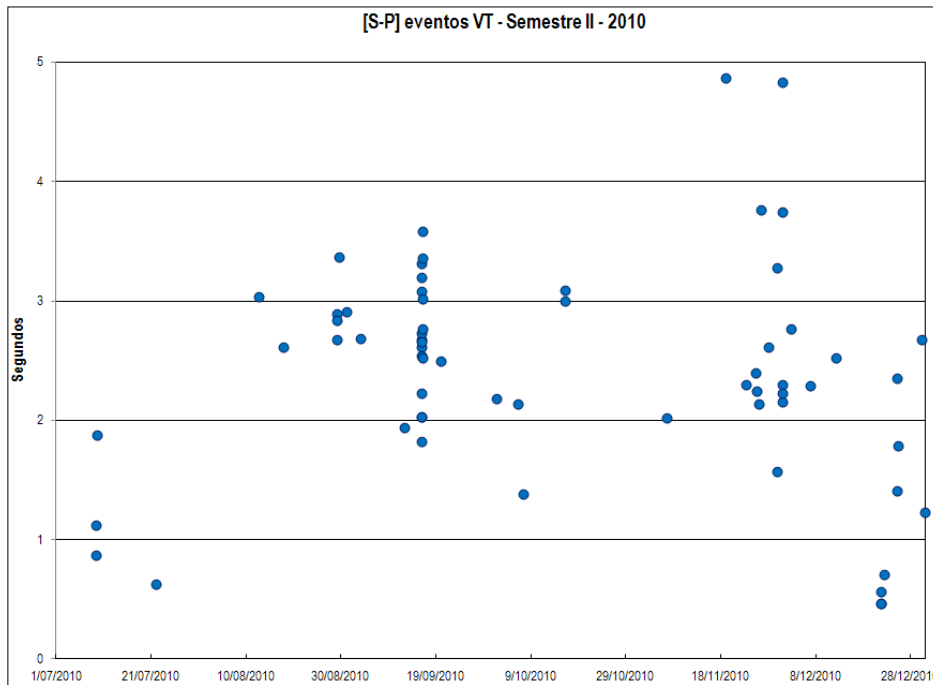
- Las localizaciones obtenidas para el segundo semestre de 2010 muestran una ocurrencia de eventos de fractura en cercanías al borde de la falla Moras (Valle de Paletará) con profundidades mayores a 2 km y menores a 12 km (Figura 76).
- Magnitudes entre -0.4 y 4.4 (Figura 75 a).
- S-P principalmente entre 0.83 y 4.8 segundos (Figura 75 b).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**



a)



b)

Figura 75. a) Distribución de la magnitud y b) Distribución de la S-P para la sismicidad VT del Volcán Sotará (II Semestre 2010).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

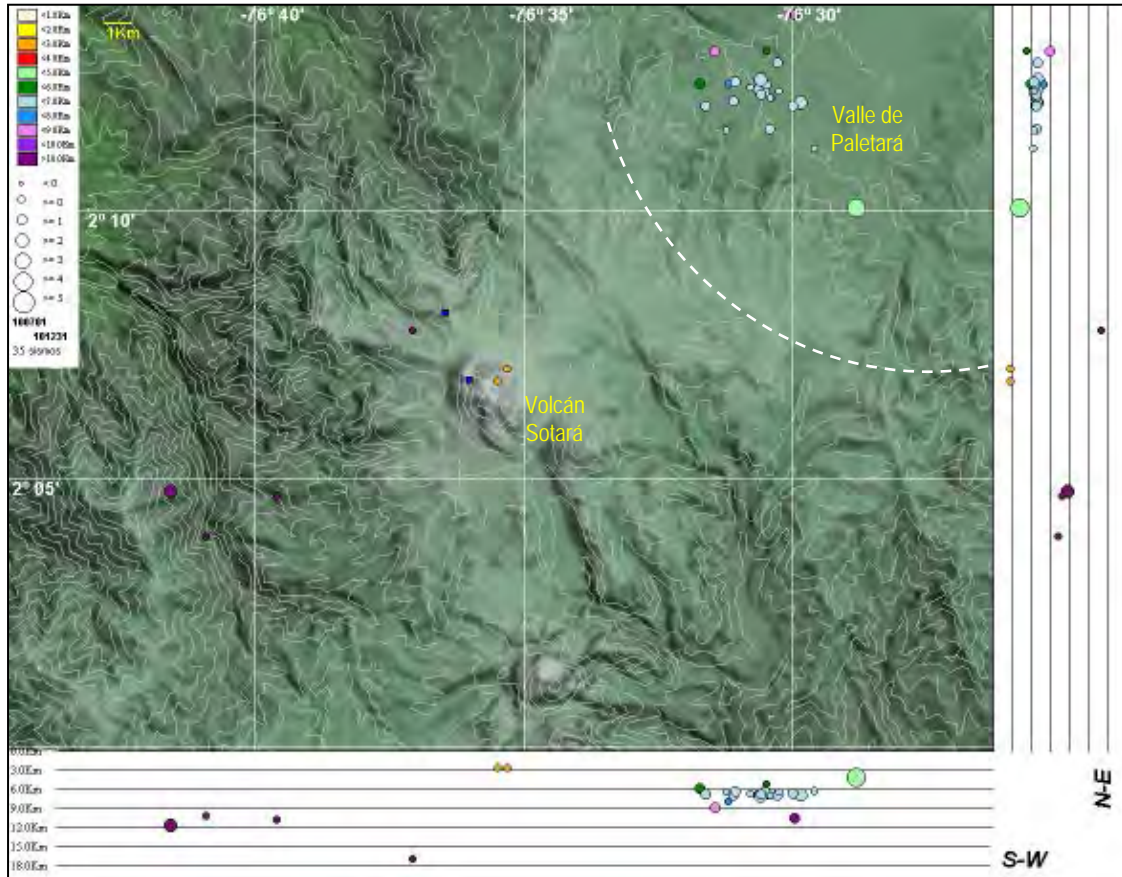


Figura 76. Localización de eventos VT del volcán Sotará del segundo semestre de 2010.

## 5.2. SISMICIDAD DESTACADA

El día 15 de septiembre de 2010 a las 5:48 p.m. hora local se presentó un sismo volcánico-tectónico de magnitud 4.4 en la escala de Richter a una profundidad de 5.5 km con epicentro cerca de la población de Paletará, municipio de Coconuco, departamento del Cauca. Este evento fue reportado como sentido por pobladores de Paletará (Puracé), Chapa – Paispamba (Sotará) y Popayán. En la figura 77 se muestra el registro digital del evento.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

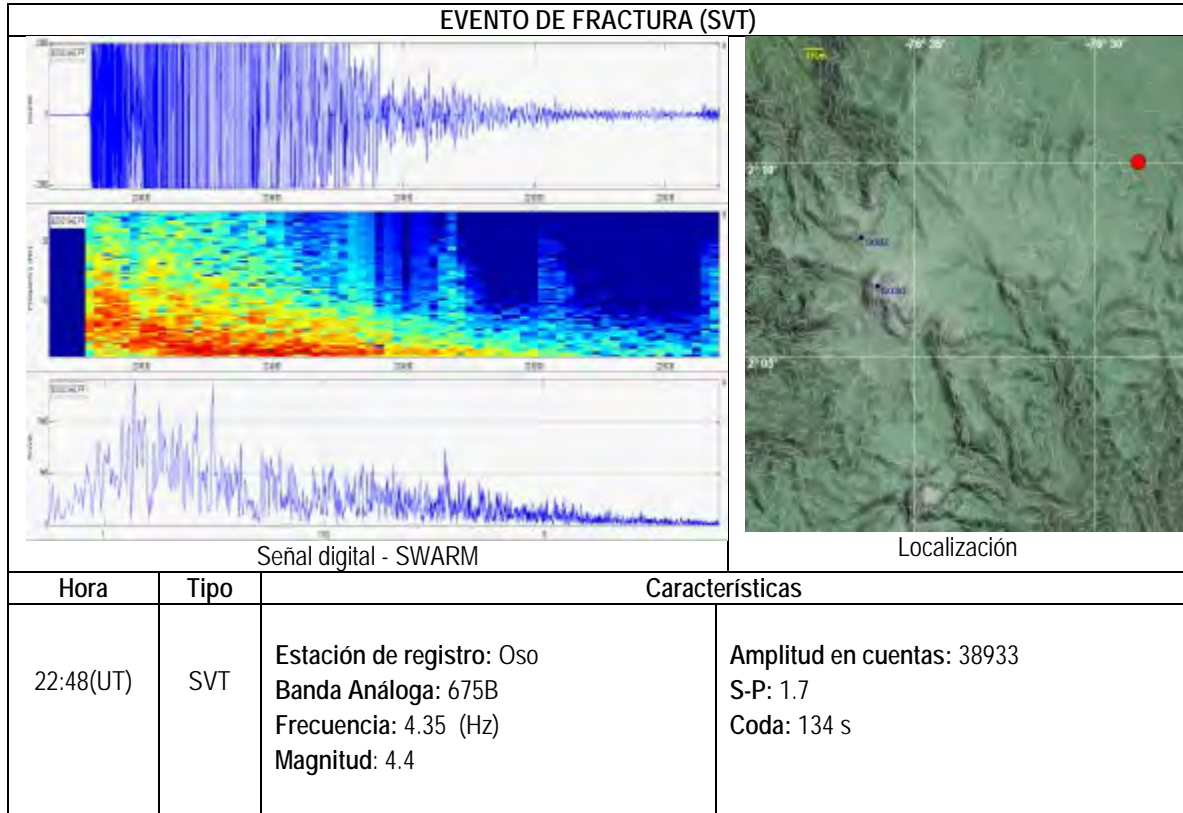


Figura 77. Evento de fractura del 15 de septiembre de 2010.

## 6. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

### 6.1 DEFORMACION

En el mes de noviembre de 2010 se instaló un nuevo inclinómetro electrónico (y re niveló el anterior, es por ello que hasta la fecha en ambos inclinómetros se está generando líneas bases de comportamiento).

**Inclinómetro SOTARÁ:** Localizado a 3.3 km al NW del cráter Volcán Sotará (3795 m.s.n.m), sus dos componentes muestran variaciones debidas a efectos ambientales; hasta el momento se está generando una línea base de comportamiento para poder identificar procesos deformativos en el volcán.

**Inclinómetro OSO:** Localizado a 1.2 km al NW del Volcán Sotará, el día 11 de noviembre de 2010, sus dos componentes presentan fluctuaciones debido a efectos ambientales a los cuales es vulnerable dicha estación por la instalación superficial y sistema de protección del sensor, en general las componentes "Norte" y "Este" mantienen una tendencia estable.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

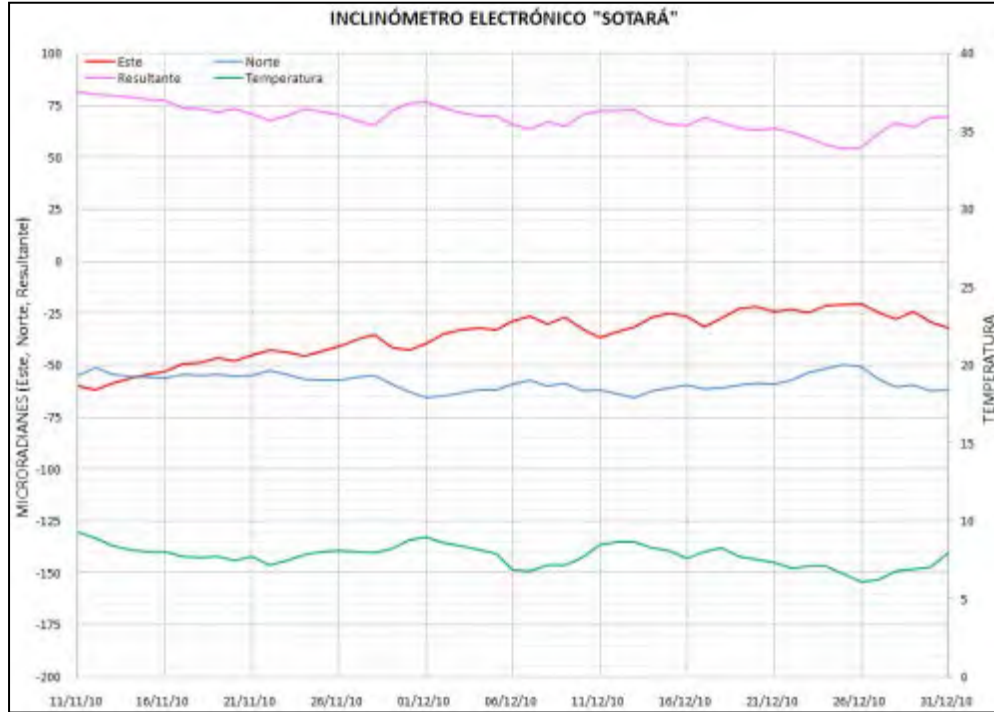


Figura 78. Comportamiento del inclinómetro electrónico "Sotará" hasta diciembre de 2010.

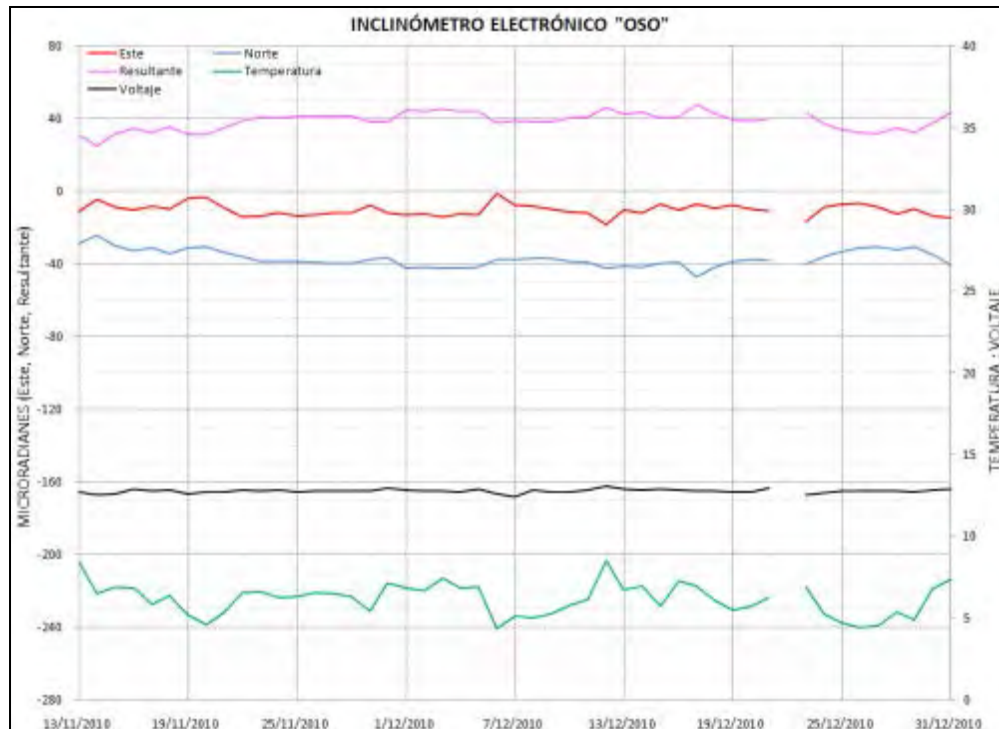


Figura 79. Comportamiento del inclinómetro electrónico "Oso" hasta diciembre de 2010.






**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS  
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
POPAYÁN**

**CONCLUSIÓN**

Con base en el seguimiento e interpretación de los datos provenientes de la red de vigilancia y monitoreo del volcán Sotará se resalta lo siguiente:

- Con respecto a la sismicidad registrada durante el segundo semestre de 2010, el volcán Sotará presentó bajos niveles de actividad, registrándose algunos eventos distales durante los meses de julio, septiembre y diciembre los cuales pueden deberse a la actividad de la Falla Moras, la cual está localizada a ligada con la actividad del volcán Sotará. Sin embargo es importante destacar el evento registrado el día 15 de septiembre, con una magnitud local de 4.4 de carácter superficial. Este evento fue reportado como sentido por pobladores de Paletará, Sotará y Popayán, pero no presento indicios que pudiesen comprometer la estabilidad del sistema, igualmente que representara efectos físicos o daños estructurales en las comunidades localizadas en el área del epicentro.
- Las mediciones realizadas a través de la técnica de inclinometría electrónica, durante el semestre no presentaron cambios o procesos sobresalientes en la dinámica interna del sistema volcánico.
- Teniendo en cuenta los niveles de sismicidad durante el segundo semestre de 2010 y la valoración de los diferentes parámetros de seguimiento, se puede concluir que los niveles de actividad en el volcán Sotará es **BAJO**.

Nivel	Número	Estado de Actividad	Escenario Posible
	IV	Volcán activo y comportamiento estable	El volcán puede estar en un estado base que caracteriza el periodo de reposo o quietud, o registrar actividad sísmica, fumarólica u otras manifestaciones de actividad en superficie que afectan fundamentalmente la zona más inmediata o próxima al centro de emisión, por lo que no representa riesgo para las poblaciones y actividades económicas de su zona de influencia.

**Figura 80.** Nivel de actividad – volcán Sotará -Tomado de los niveles de actividad volcanes monitoreados en Colombia.