



**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 2011**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1. VOLCÁN NEVADO DEL HUILA	1
1.1. RED DE VIGILANCIA DEL VOLCÁN NEVADO DEL HUILA	2
1.1.1. Red de estaciones sísmicas	3
1.1.2. Red de estaciones de monitoreo de flujos de lodo	3
1.1.3. Cámaras web	3
1.1.4. ScanDOAS	3
1.2. ACTIVIDAD SÍSMICA	5
1.2.1. Localización de eventos de Fractura	8
1.2.2. Actividad sísmica relevante registrada durante el segundo semestre de 2011	12
1.3. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	14
1.3.1. Geoquímica	14
1.3.2. Medidas móviles del flujo de SO ₂	15
1.3.3. Sobrevuelos	22
1.3.4. Cámaras web	24
1.3.4.1. Cámara web Tafxnú	24
1.3.4.2. Cámara web Maravillas	27
1.4. CONCLUSIONES	29
2. VOLCÁN PURACÉ	31
2.1. RED DE VIGILANCIA	32
2.2. ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN PURACÉ	35
2.2.1. Localización de eventos sísmicos	41
2.2.2. Actividad sísmica relevante registrada durante el segundo semestre de 2011	44
2.3. DEFORMACIÓN VOLCAN PURACÉ	48
2.3.1. Inclínometría electrónica	49
2.3.1.1. Inclínómetro Lavas Rojas	49
2.3.1.2. Inclínómetro Guañarita	50
2.3.1.3. Inclínómetro Curiquinga	51
2.3.2. Medición Electrónica de Distancias – EDM	52
2.3.3. Estaciones GNSS permanentes	52
2.4. MAGNETOTELURICA	55
2.4.1. Potenciales eléctricos espontáneos	55
2.4.2. Magnetometría	57
2.4.3. Sobrevuelos	58
2.4.4. Cámaras web	60
2.4.4.1. Cámara web Mina	60
2.4.4.2. Cámara web Lavas Rojas	61
2.5. CONCLUSIÓN	62
3. VOLCÁN SOTARÁ	64
3.1. RED DE VIGILANCIA	65
3.2. ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN SOTARÁ	68
3.2.1. Eventos asociados a fracturamiento de roca en el volcán Sotará	70
3.2.2. Mapa de localización de eventos sísmicos	72
3.3. DEFORMACIÓN VOLCÁN SOTARÁ	74
3.3.1. Inclínometría electrónica	74
3.3.1.1. Inclínómetro Sotará	74
3.3.1.2. Inclínómetro Oso	75
3.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL	76



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

3.4.1.1. Cámara web Cerro Crespo	76
3.5. CONCLUSIÓN	78

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Volcán Nevado del Huila. Imagen captada durante el sobrevuelo efectuado el 25 de enero de 2011.	1
Figura 2. Red de vigilancia del volcán Nevado del Huila. II Semestre de 2011.....	4
Figura 3. Porcentaje de funcionamiento de estaciones instaladas en los volcanes Nevado del Huila, Puracé y Sotará durante II Semestre de 2011.....	5
Figura 4. Número y tipo de eventos registrados en el VNH durante el segundo semestre de 2011.	6
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 2011.....	7
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 2011.	8
Figura 7. Mapa de localización de eventos registrados durante el segundo semestre de 2011. Volcán Nevado del Huila.	9
Figura 8. Relación de Profundidad vs Fecha de los eventos tipo VT localizados en el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2011.....	11
Figura 9. Relación de Magnitud vs Fecha de los eventos localizados en el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2011.	12
Figura 10. Evento mayor destacado durante el II semestre de 2011. Magnitud local de 4.0	13
Figura 11. Evento destacado durante ocurrido en noviembre de 2011. Magnitud local de 3.2	14
Figura 12. Ruta y espectrograma - Medida móvil de flujo de SO ₂ – VNH –12 de julio de 2011	15
Figura 13. Ruta y espectrograma - Medidas móviles de flujo de SO ₂ – Valores máximos mensuales II Sem de 2011	18
Figura 14. Medidas móviles de Flujo de SO ₂ en el Volcán Nevado del Huila – II Semestre de 2011	19
Figura 15. Velocidades del viento asumidas para el cálculo de Flujo de SO ₂ en el Volcán Nevado del Huila. Información suministrada por el Modelo WRF – IDEAM 2011.	20
Figura 16. Sismicidad registrada en el VNH, asociada a movimiento y tránsito de fluidos - II Semestre de 2011.....	20
Figura 17. Tendencia de la dirección del viento - mediciones móviles de flujo de SO ₂ – II Semestre 2011.....	21
Figura 18. Imágenes más importantes del sobrevuelo al volcán Nevado del Huila efectuado el 13 de septiembre de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana.	23
Figura 19. Imágenes más importantes captadas durante el sobrevuelo efectuado el 22 de octubre de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana	24
Figura 20. Imágenes más representativas del volcán Nevado del Huila obtenidas por la cámara web instalada en Tafxnú durante el segundo semestre de 2011.....	27
Figura 21. Imágenes más destacadas del flanco suroriental del volcán Nevado del Huila captadas por la cámara web instalada en Maravillas.....	29
Figura 22. Volcán Puracé. Imagen captada durante el sobrevuelo del 24 de diciembre de 2008.....	31
Figura 23. Red de vigilancia de la Cadena Volcánica del volcán Puracé. Diciembre de 2011.....	33
Figura 24. Porcentaje de funcionamiento de estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Puracé. II Semestre de 2011.	34
Figura 25. Gráfica que relaciona el número y tipo de eventos registrados en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2011.	36
Figura 26. Energía sísmica liberada diariamente por el volcán Puracé, durante el segundo semestre de 2011. Los valores se expresan en términos de la raíz cuadrada de la energía liberada diaria, medida en ergios.	37
Figura 27. Energía sísmica acumulada por el volcán Puracé, durante el segundo semestre de 2011. Los valores se expresan en términos del acumulado de la raíz cuadrada de la energía liberada diaria, medida en ergios.	38
Figura 28. Distribución de la magnitud de duración para eventos VT, volcán Puracé, segundo semestre de 2011.	39



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

Figura 29. Distribución de la magnitud de coda para eventos de Largo Periodo (LP), volcán Puracé, segundo semestre de 2011.	39
Figura 30. Distribución de la magnitud de duración para eventos tipo Tornillo (TO), volcán Puracé, segundo semestre de 2011.	40
Figura 31. Diferencia de tiempo de S-P presentada por los eventos VT en el volcán Puracé, segundo semestre de 2011.	41
Figura 32. Mapa de localización epicentral e hipocentral de eventos VT, registrados durante el segundo semestre de 2011 en el volcán Puracé. La magnitud de la sismicidad se representa según el tamaño de los círculos que simbolizan los sismos y su color, según el color de los mismos, de acuerdo a las convenciones arriba a la izquierda. En los cortes EW (abajo) y NS (derecha), cada línea representa 2.5 km de profundidad.	42
Figura 33. Mapa de localización de los eventos LP, durante el segundo semestre de 2011, en el volcán Puracé.	43
Figura 34. Mapa de localización de los eventos tipo Tornillo, durante el segundo semestre de 2011, en el volcán Puracé.	44
Figura 35. Número mensual de eventos sísmicos por tipo, volcán Puracé, año 2011.	45
Figura 36. Frecuencia asociada a la máxima amplitud en eventos LP, segundo semestre de 2011.	45
Figura 37. Registro sísmico que comprende: la señal sísmica, el espectrograma de la misma y su respectivo espectro de frecuencias. (a) Tornillo registrado el 29 de agosto, a las 5:03 UT. (b) Tornillo registrado el 14 de diciembre, a las 11:13 UT. Estación sísmica Agua Blanca, ubicada a 1 km al nor-noroeste del cráter.	46
Figura 38. Histograma de frecuencias dominantes (de acuerdo al espectro de cada señal) para eventos tipo Tornillo registrados durante el año 2011.	47
Figura 39. Evento de fractura del volcán Puracé, registrado el 7 de julio a las 13:26 UT. Señal digital, espectrograma y espectro de frecuencia para la estación sísmica Agua Blanca, ubicada a 1 km al nor-noroeste del cráter.	48
Figura 40. Detalles del software de procesamiento "Trimble 4D Control".	53
Figura 41. Detalles de la estación GNSS de referencia y de las GNSS de monitoreo.	54
Figura 42. Post-procesamiento estación GNSS permanente Guañarita.	54
Figura 43. Post-procesamiento estación GNSS permanente Agua Blanca.	55
Figura 44. Potencial eléctrico espontáneo registrado por la estación Cóndor entre el 14 de septiembre y el 31 de diciembre 2011.	57
Figura 45. En azul: Resultante del campo magnético local para la estación Laguna. En rojo: Campo Magnético Interplanetario (IMF), registrado por el magnetómetro AceRt, acoplado al satélite GOES. En Naranja: Campo Residual de la resultante del campo magnético local para la estación Kourou en Guyana Francesa. En negro: Datos de la estación de potenciales eléctricos espontáneos Cóndor del volcán Puracé.	58
Figura 46. Variaciones temporales de la actividad superficial en el v. Puracé durante el II semestre de 2011.	61
Figura 47. Volcán Sotará visto desde el nor-noroccidente, a aproximadamente un kilómetro de la cima.	64
Figura 48. Domos somitales del volcán Sotará, vistos desde el nor-noroccidente. Al lado izquierdo de la foto se observa la pared interna del cráter. El más alto de los domos (Domo Norte) tiene aproximadamente 120 metros de alto. Para efectos de escala, se resalta con el círculo rojo a una persona ascendiendo al Domo Norte.	65
Figura 49. Mapa de las estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Sotará. Adicionalmente, se muestra la ubicación de los puntos de muestreo en la fuente termal Las Amarillas y el campo fumarólico Jelimá.	66
Figura 50. Porcentaje de funcionamiento de la red de vigilancia del volcán Sotará durante el segundo semestre de 2011.	67
Figura 51. Número diario de eventos VT registrados en el volcán Sotará, durante el segundo semestre 2011.	68
Figura 52. Energía diaria liberada por los eventos VT en el volcán Sotará, durante el segundo semestre de 2011.	69
Figura 53. Energía diaria acumulada para eventos VT en el volcán Sotará, segundo semestre de 2011.	70
Figura 54. a) Distribución de la magnitud local y b) distribución de la S-P para la sismicidad VT del Volcán Sotará, durante el segundo semestre 2011.	72
Figura 55. Localización de eventos VT del volcán Sotará del segundo semestre de 2011. La magnitud de la sismicidad se representa según el tamaño de los círculos que simbolizan los sismos y su color, según el color de los mismos, de acuerdo a las convenciones arriba a la izquierda. En los cortes EW (abajo) y NS (derecha), cada línea representa 2.5 km de profundidad.	73



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

Figura 57. Evento de fractura del 18 de diciembre de 2011.	74
Figura 58. Comportamiento del inclinómetro electrónico Sotará.	75
Figura 59. Comportamiento del inclinómetro electrónico Oso.	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila	4
Tabla 2. Número de eventos registrados en el volcán Nevado del Huila.	6
Tabla 3. Principales características de los eventos Volcano-tectónicos, con magnitudes locales superiores a 2, que se registraron durante el segundo semestre de 2011.	9
Tabla 4. Resumen de las mediciones de SO ₂ realizadas durante el II Semestre de de 2011.....	16
Tabla 5. Resultado de las mediciones de SO ₂ realizadas durante II Semestre de de 2011	16
Tabla 6. Principales características de la red de vigilancia instalada en el volcán Puracé.....	33
Tabla 7. Número de eventos sísmicos registrados por el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2011.....	35
Tabla 8. Eventos VT registrados durante el segundo semestre de 2011, con magnitudes locales mayores o iguales a 2.0 grados en la escala de Richter.....	42
Tabla 9. Características principales de los eventos tipo VT registrados en el volcán Puracé en la zona del cráter, durante el segundo semestre de 2011 y que presentaron magnitudes locales mayores o iguales a 1.5.....	47
Tabla 10. Características de la red de vigilancia de deformación para el Volcán Puracé.	49
Tabla 11. Características principales de las estaciones que conforman la red de vigilancia sísmica del volcán Sotará ...	67
Tabla 12. Número de eventos registrados en el volcán Sotará durante el segundo semestre de 2011.....	68
Tabla 14. Parámetros de localización de eventos VT registrados del 1 de julio al 31 de diciembre de 2011, con magnitudes mayores o iguales a 1.5.	71



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

**INFORME DE ACTIVIDAD DE LOS VOLCANES NEVADO DEL HUILA, PURACÉ Y SOTARÁ
II SEMESTRE DE 2011**

INTRODUCCION

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

1. VOLCÁN NEVADO DEL HUILA.



Figura 1. Volcán Nevado del Huila. Imagen captada durante el sobrevuelo efectuado el 25 de enero de 2011.



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

El volcán Nevado del Huila se localiza en límites de los departamentos del Cauca, Huila y Tolima, en las coordenadas geográficas 2°55' N y 76°03' W, a una distancia aproximada de 90 km al NE de Popayán.

Este complejo volcánico presenta una forma elongada en dirección N-S, con ejes basales de 16 y 11 km, respectivamente. Su cima está cubierta por un casquete glaciar de 10 km², en la que sobresalen los Picos Norte, La Cresta, Central y Sur, dispuestos en dirección N-S; los domos Cerro Negro y El Morrillo, descubiertos en el sector sur a raíz del retroceso glaciar de los últimos años; además del domo extruido en los procesos eruptivos ocurridos en noviembre de 2008 y octubre de 2009, el cual se halla emplazado en la parte alta del edificio volcánico entre los Picos Central y Sur.

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

El volcán Nevado del Huila entró en proceso de reactivación en febrero de 2007; a partir de esa fecha se han registrado tres erupciones que han conllevado al emplazamiento de un domo lávico en la parte alta del edificio volcánico. Durante este tiempo, el volcán ha presentado periodos alternados de actividad volcánica alta y de relajación. Actualmente se halla en un periodo de relajación iniciado en noviembre de 2010; por tanto, el comportamiento presentado durante el segundo semestre de 2011 se caracterizó por mantener una tendencia estable, con bajos niveles de actividad sísmica y pequeños aportes de Dióxido de Azufre (SO₂).

1.1. RED DE VIGILANCIA DEL VOLCÁN NEVADO DEL HUILA

La red de vigilancia con que cuenta el volcán Nevado del Huila está compuesta por diversos instrumentos, que se emplean para medir diferentes parámetros relacionados con la actividad volcánica, mediante técnicas tales como: geofísica, geoquímica y geodesia (Figura 2). Durante todo el año se hace un seguimiento a su desempeño, el cual se evalúa en términos porcentuales. Para el II semestre de 2011, la red de vigilancia tuvo un óptimo nivel de funcionamiento, con un valor del 83% (Figura 3).



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

1.1.1. Red de estaciones sísmicas. En el II semestre de 2011, el OVS-Popayán contó con una red operativa de tres estaciones sísmicas. La estación triaxial de corto período denominada Verdún2 (VER2), instalada en el extremo norte del edificio volcánico, a 5.5 km del Pico Central, y dos estaciones triaxiales de Banda Ancha: BUCO, a 11.2 km del Pico Central, y Maravillas, a 12.6 km del Pico Central (BUCB y MARB, respectivamente), ubicadas en el sector sur (Figura 2). Su promedio de funcionamiento fue de 73%.

1.1.2. Red de estaciones de monitoreo de flujos de lodo. La red de estaciones de flujos de lodo fue instalada en octubre de 2006 bajo el convenio interinstitucional suscrito entre INGEOMINAS (OVS-Popayán), la Corporación NASA KIWE, la DGPAD y la alcaldía de Páez, con el objetivo de monitorear y detectar posibles cambios volumétricos en los caudales de los ríos Páez y Símbola; actualmente se compone de siete estaciones instaladas a lo largo de las cuencas de los mencionados ríos. Durante el período analizado, esta red se mantuvo totalmente operativa y su nivel de funcionamiento fue del 99%.

1.1.3. Cámaras web. Son instrumentos que se utilizan para el monitoreo de la actividad superficial, y se encuentran ubicados en el extremo sur del edificio volcánico, en los sectores conocidos como Tafxnú (Resguardo de Taravira, 21 km al sur del Pico Central) y Maravillas (12.6 km al suroriente del Pico Central) (Figura 2). Las cámaras web tuvieron un buen nivel de funcionamiento en el segundo semestre de 2011, con un promedio del 92 %.

1.1.4. ScanDOAS. Durante el II Semestre de 2011, estas estaciones no presentaron problemas en su funcionamiento y se mantuvieron operativas al 100%.

La figura 2 y la tabla 1 describen la red de vigilancia del volcán Nevado del Huila, mientras que la figura 3 se muestra el desempeño mostrado por la red durante el período analizado.

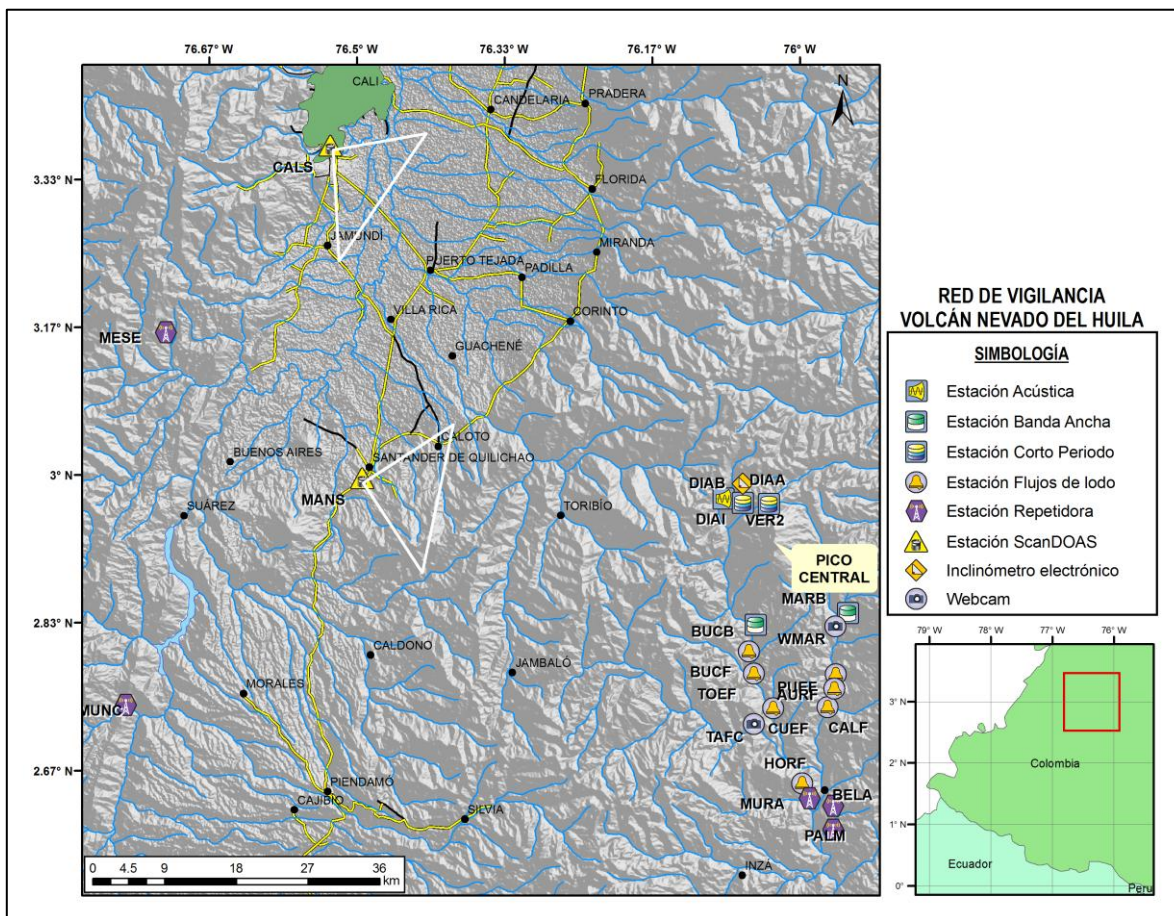


Figura 2. Red de vigilancia del volcán Nevado del Huila. II Semestre de 2011.

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

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altura (msnm)	Distancia al Pico Central (km)	Operativa
Diablo	Corto Periodo Triaxial	2.973640	76.064670	4000	6.26 NW	No
	Inclímetro Electrónico					No
	Acústica					No
Verdún 2	Corto Periodo Triaxial	2.972340	76.035330	4544	4.8 N	Sí
Buco	Banda Ancha	2.826550	76.054820	2310	11.13 SW	Sí
	Estación Flujos de lodo	2.801460	76.057800	2100	14.14 SW	Sí
Maravillas	Banda Ancha	2.839750	75.951070	2207	12.8 SE	Sí
	Cámara WEB	2.838340	75.951550	2194	13.29 SE	Sí
Tafxnú	Cámara WEB	2.728150	76.043700	2410	22 SW	Sí



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

Aurora	Estación Flujos de lodo	2.775540	75.959780	1904	18.59 SE	Sí
Calderitas	Estación Flujos de lodo	2.738550	75.969130	1757	22.01 SE	Sí
Cohetandiyó	Estación Flujos de lodo	2.737150	76.030480	1842	21.00 S	Sí
Muralla	Estación Flujos de lodo	2.652640	75.997730	2420	30.63 S	Sí
Pueblo Nuevo	Estación Flujos de lodo	2.759630	75.961420	1872	20.13 SE	Sí
Tóez	Estación Flujos de lodo	2.776520	76.052300	1987	16.77 S	Sí
Cali	Estación ScanDOAS	3.372113	76.529791	998	74.11 NW	Sí
Manantial	Estación ScanDOAS	2.996890	76.493840	1159	51.78 W	Sí

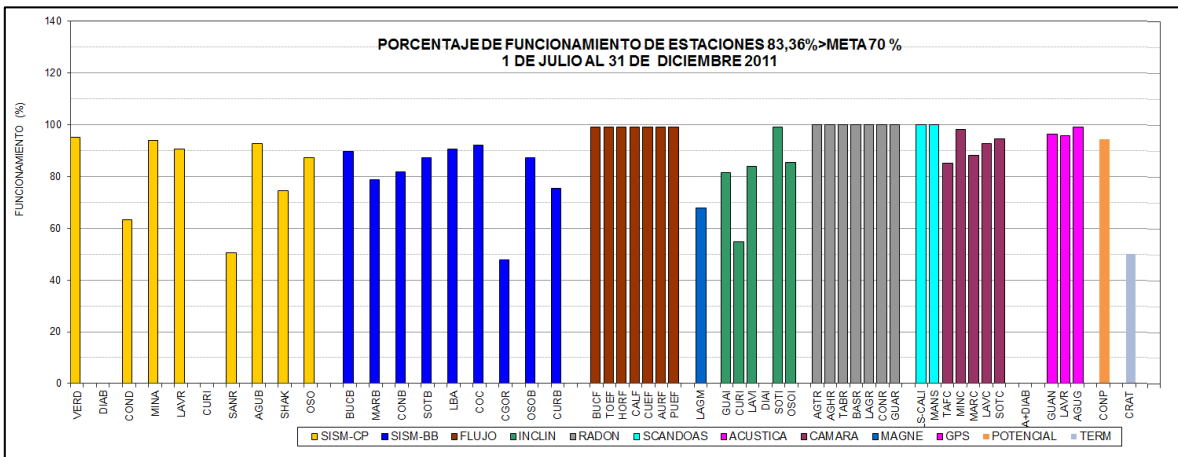


Figura 3. Porcentaje de funcionamiento de estaciones instaladas en los volcanes Nevado del Huila, Puracé y Sotará durante II Semestre de 2011.

1.2. ACTIVIDAD SÍSMICA

El comportamiento presentado por el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2011, se caracterizó por mostrar un marcado dominio de la actividad sísmica asociada a la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos, siendo el comportamiento general de baja actividad sísmica durante todo el período señalado (Figura 4). En cuanto a la sismicidad asociada a los procesos de fracturamiento de roca, esta tuvo niveles bajos de ocurrencia con un período notorio por el incremento en la energía liberada a finales de noviembre el cual regreso a los valores promedio del período descrito.

Por lo anterior, en el segundo semestre de 2011 se registraron 3297 eventos sísmicos, de los cuales, 890 estuvieron asociados a procesos internos de fracturamiento de roca (VT), y 2387 a procesos que involucran



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

movimiento y tránsito de fluidos dentro de los conductos volcánicos. De estos últimos, 2010 fueron catalogados como eventos de Largo Periodo (LP), 110 como eventos con mecanismos compuestos de fracturamiento de roca y dinámica de fluidos (HB), y 19 pulsos de tremor de baja magnitud (TR), muchos de ellos asociados con la posible emisión de gases a superficie.

La tabla 2 y la figura 4 detallan el comportamiento sísmico en cuanto a la ocurrencia de eventos registrados por el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2011.

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

Tipo de Evento	VT	LP	HB	TR	AV
Número de Eventos	890	2010	110	267	19

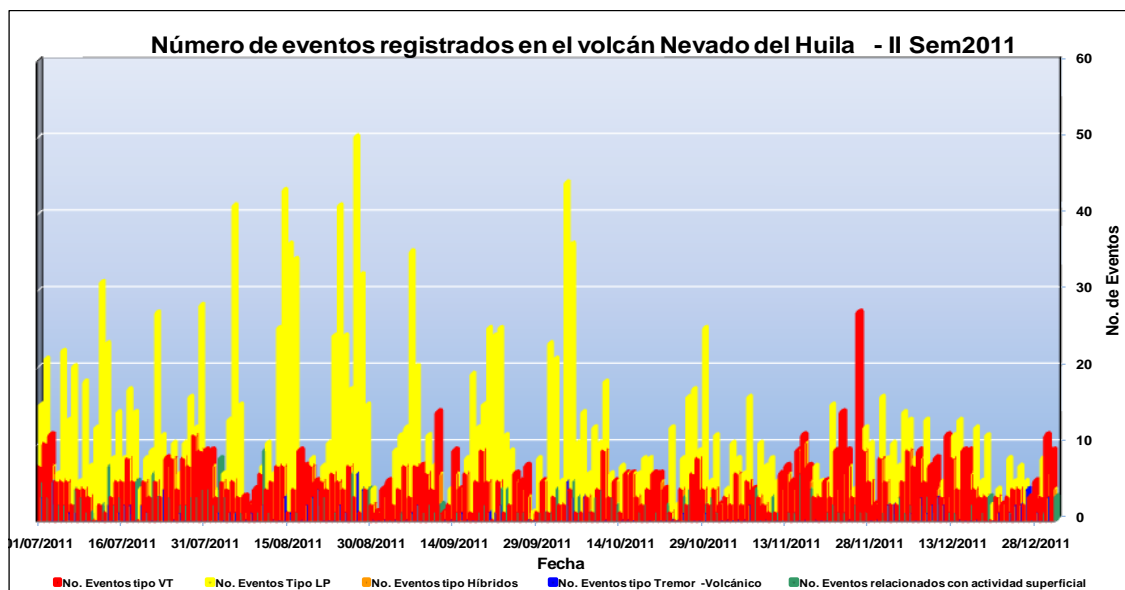


Figura 4. Número y tipo de eventos registrados en el VNH durante el segundo semestre de 2011.

El aporte energético realizado diariamente por la sismicidad asociada a procesos de fracturamiento de roca durante el segundo semestre de 2011 presentó un comportamiento estable, con pequeñas fluctuaciones que no se salieron de los promedios normales de actividad conocidos. Es importante anotar, que la mayor liberación de energía relacionada con este tipo de sismicidad, se dio entre el 22 y el 26 de noviembre (Figura 5), alcanzando su máximo el día 26, con un valor aproximado de 6.33×10^8 ergios; en este día se registró un



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

evento que alcanzó una magnitud local de 4.0, junto a 28 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, se observó una tendencia estable con bajas fluctuaciones en valores energéticos bajos durante todo el período. (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).

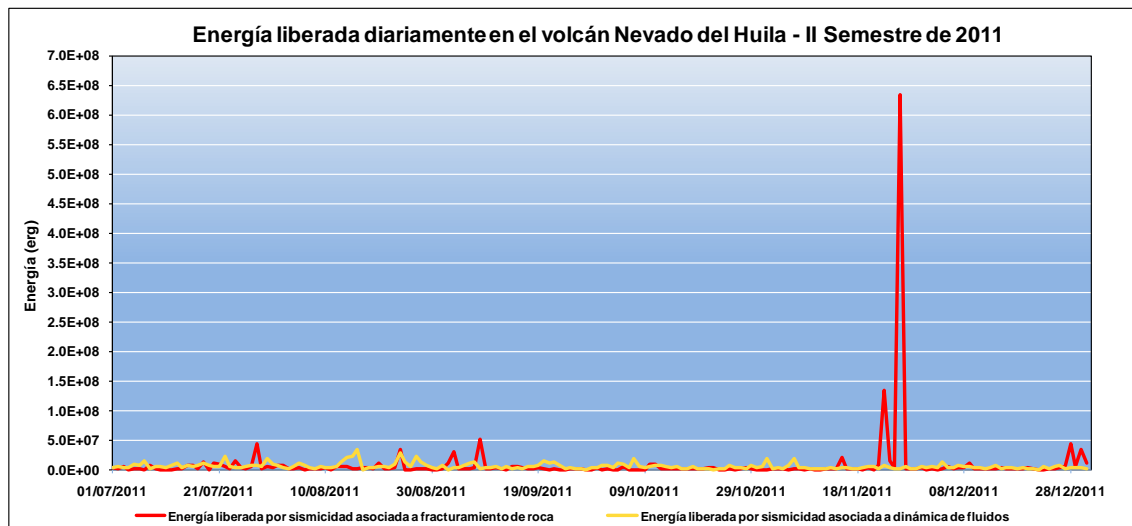


Figura 5. Energía liberada por el volcán Nevado del Huila a través de la sismicidad relacionada con procesos internos de fractura de material y de tránsito de fluidos durante el segundo semestre de 2011.

En la grafica de la figura 6 se puede apreciar el comportamiento general de la energía sísmica liberada representada en forma acumulada diariamente. Sobresalen los eventos entre el 22 y 26 de noviembre para la sismicidad VT, incrementando casi en dos órdenes de magnitud según la escala utilizada; por lo demás, los valores se mantuvieron muy estables en el resto del semestre tanto para esta sismicidad como para la asociada a dinámica de fluidos.



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

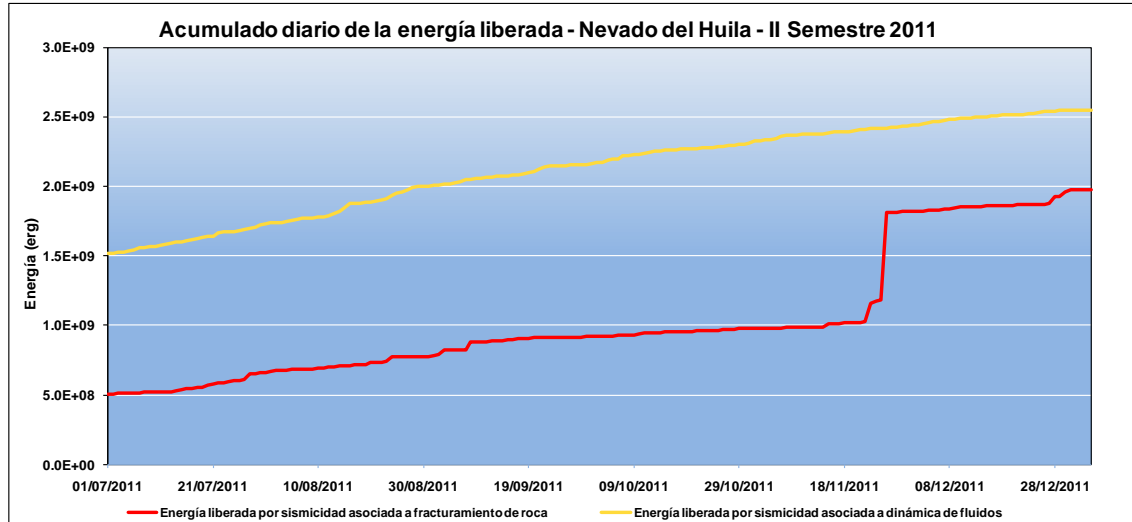


Figura 6. Acumulado de la energía sísmica liberada diariamente por el VNH a través de la sismicidad asociada a procesos de fractura y de la sismicidad asociada a la dinámica de fluidos durante el segundo semestre de 2011.

1.2.1. Localización de eventos de Fractura. Los eventos asociados a procesos de fracturamiento de roca que se localizaron, en un radio de 30 km respecto al Pico Central del edificio volcánico, durante el segundo semestre de 2011, presentaron focos epicentrales tanto dentro del edificio volcánico como en sectores aledaños a él (Figura 7); lo que hace presumir la coexistencia de fuentes sismogénicas tanto volcánicas como tectónicas, estas últimas posiblemente relacionadas con la dinámica de la falla Moras que cruza el complejo volcánico en dirección SW-NE.

La sismicidad localizada dentro del edificio del complejo volcánico presentó tres zonas epicentrales ó fuentes sísmicas principales para este período, las cuales son fácilmente identificables en el mapa de localización de la figura 7. La llamada primera fuente sísmica se encuentra ubicada en el sector suroccidental del edificio volcánico, en ella se localiza la mayor cantidad de eventos ocurridos y las mayores magnitudes calculadas, las distancias hipocentrales se concentran entre 5 y 8 km. La denominada segunda fuente, se localiza en la parte alta del edificio volcánico, en torno al Pico Central, los eventos aquí localizados tienen hipocentros más superficiales, esto es, entre 1.0 y 5 km. La fuente restante, se localiza a lo largo del costado oriental del edificio volcánico, cubriendo una distancia de aproximadamente 24 km sobre la cuenca del río Símbola, ahí se presenta un rango hipocentral entre 2 y 8 km.



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

Los valores de concentración hipocentrales mencionados se presentan en la Figura 8, y los valores de magnitudes locales en la Figura 9. Por otro lado, en la tabla 3 se enumeran los eventos de mayor relevancia para este período de acuerdo a su magnitud.

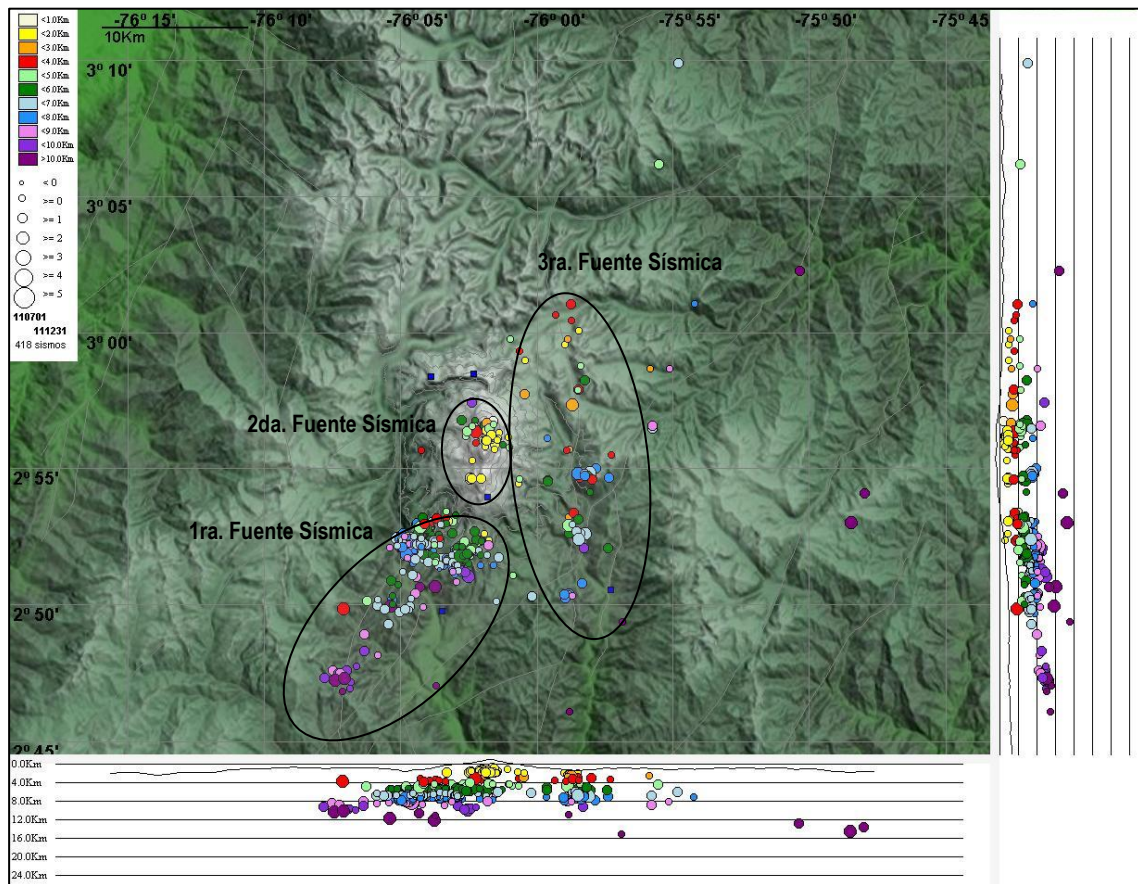


Figura 7. Mapa de localización de eventos registrados durante el segundo semestre de 2011. Volcán Nevado del Huila.

Tabla 3. Principales características de los eventos Volcano-tectónicos, con magnitudes locales superiores a 2, que se registraron durante el segundo semestre de 2011.

Fecha	Hora (UT)	Latitud N	Longitud W	Profundidad (km)	Magnitud Local
2011-07-07	19:35	2-19.01	76-23.69	1.67	2.2
2011-07-13	13:26	2-23.16	76-21.15	12.08	2.2
2011-07-15	05:36	2-51.08	76-02.55	9.99	2.1



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

2011-07-16	05:31	2-23.08	76-20.31	11.98	2.4
2011-07-18	16:42	2-51.56	76-03.50	7.19	2.6
2011-07-23	01:48	2-23.52	76-20.70	10	2.1
2011-07-24	05:13	2-52.47	76-05.16	6.37	2.3
2011-07-28	02:12	2-49.88	76-07.10	3.71	2.4
2011-07-28	07:06	2-50.68	76-03.75	12.06	2.5
2011-07-28	15:12	2-53.19	76-19.68	12	3
2011-08-20	23:14	2-56.63	76-01.90	5.82	2
2011-08-20	10:01	2-49.88	75-46.02	14.67	3.1
2011-09-03	17:40	2-52.23	76-05.02	7.08	2.7
2011-09-08	02:00	2-50.57	75-45.87	15	2.4
2011-09-08	18:44	2-49.97	76-05.40	11.67	2.6
2011-09-15	20:39	2-52.62	75-58.21	6.84	2.2
2011-09-17	02:51	2-49.04	75-46.75	17.11	2.4
2011-10-01	19:46	2-19.23	76-23.91	1.39	2.1
2011-10-05	18:24	2-56.15	76-01.82	1.79	2
2011-10-10	13:21	2-56.39	76-02.27	3.15	2
2011-10-11	17:55	2-57.40	75-58.74	2.77	2.2
2011-10-14	21:33	2-09.62	76-33.78	6.76	2.5
2011-10-15	19:23	2-10.70	76-33.70	6.9	2.7
2011-10-18	09:56	2-52.94	75-58.86	4.78	2.1
2011-11-04	11:01	2-53.04	75-48.47	14.47	2
2011-11-20	05:54	2-54.88	75-58.05	6.98	2.3
2011-11-23	23:39	2-47.25	76-07.42	10.31	2.8
2011-11-24	22:57	2-52.39	76-04.74	6.84	2.5
2011-11-26	20:16	2-52.01	76-04.70	7.42	4
2011-11-26	13:24	2-52.16	76-04.57	8.2	3.2
2011-11-26	14:03	2-51.88	76-04.79	7.28	2.2
2011-12-03	20:09	1-53.36	76-07.35	11.95	2.8



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

2011-12-14	08:27	2-24.04	76-22.98	9.92	2
2011-12-15	23:17	2-51.81	76-02.85	5.65	2.2
2011-12-18	01:40	1-59.17	76-45.93	9.62	3.2
2011-12-26	14:02	2-13.80	76-28.81	6.88	2.5
2011-12-28	12:12	2-47.33	76-07.09	10.02	2.6
2011-12-30	23:09	2-52.44	75-58.49	6.73	2.2
2011-12-31	05:09	2-52.88	76-04.31	4.89	2.3

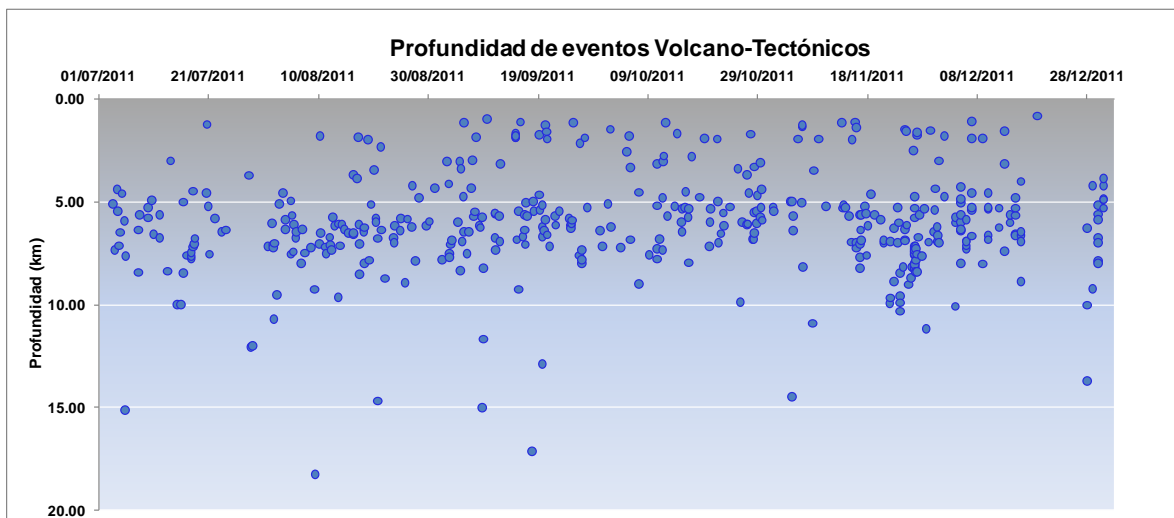


Figura 8. Relación de Profundidad vs Fecha de los eventos tipo VT localizados en el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2011.



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

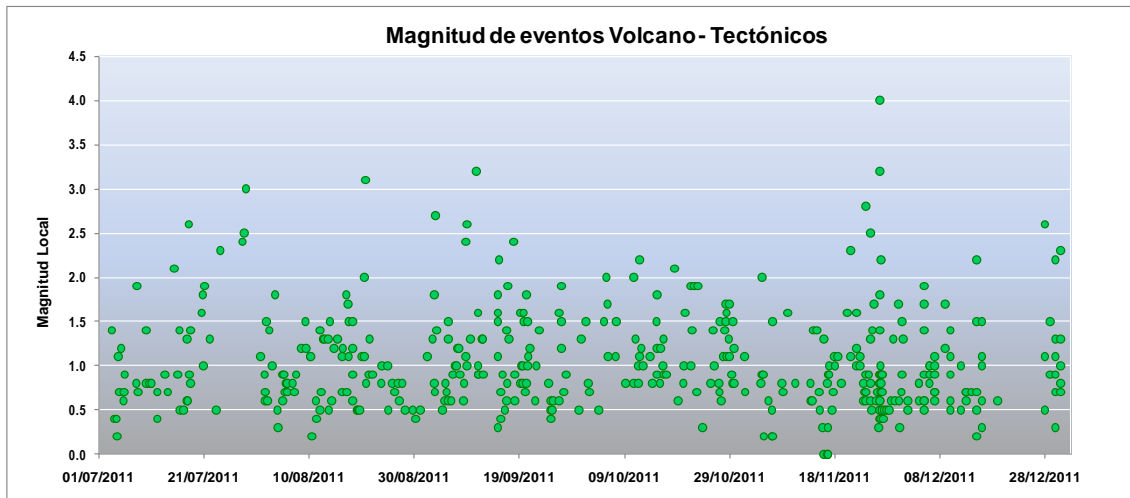


Figura 9. Relación de Magnitud vs Fecha de los eventos localizados en el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2011.

1.2.2. Actividad sísmica relevante registrada durante el segundo semestre de 2011. Durante el segundo semestre de 2011 la actividad sísmica se caracterizó por el predominio en energía liberada de eventos asociados con la dinámica de gases y fluidos dentro de los conductos volcánicos; por otro lado, los eventos sísmicos relacionados con fracturamiento de roca presentaron un incremento a finales del mes de noviembre, el cual no generó incrementos ni cambios drásticos en la actividad volcánica. Posteriormente a este período, los niveles de ocurrencia de sismos y energía liberada regresaron a los valores bajos registrados durante todo el semestre.

Pese a que en términos generales los procesos dominantes en el volcán Nevado del Huila durante todo el año 2011, estuvieron relacionados con la dinámica de gases y fluidos dentro de los conductos volcánicos, la sismicidad asociada no presentó grandes cambios relacionados con la evolución del cuerpo dómico emplazado en superficie desde finales del 2009; este comportamiento estuvo acompañado por una disminución en la actividad superficial: niveles bajos de emisión de SO_2 y procesos de desgasificación tranquila, indicando que el sistema volcánico atravesó por un periodo de relajación del proceso de migración de material magmático hacia niveles más superficiales, que se había iniciado desde el pasado mes de mayo de 2010.



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

El comportamiento de la actividad relacionada con los procesos de fractura presentó un incremento, caracterizado por un mayor aporte energético en el mes de noviembre, relacionado con la ocurrencia de 59 eventos, dentro de los cuales se destacaron dos ocurridos el día 26, a las 13:24 y 14:03 (UT) con magnitudes locales de 4.0 y 3.2 e hipocentros a 7.4 y 8.2 km respectivamente (Tabla 3, figuras 10, 11). No se registraron cambios posteriores relacionados con este incremento de la actividad VT.

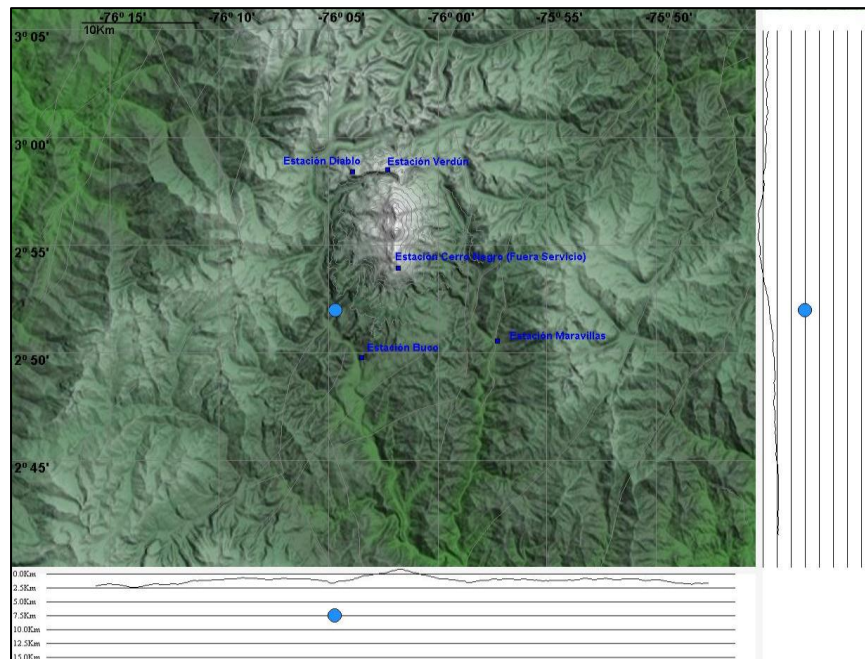


Figura 10. Evento mayor destacado durante el II semestre de 2011. Magnitud local de 4.0



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

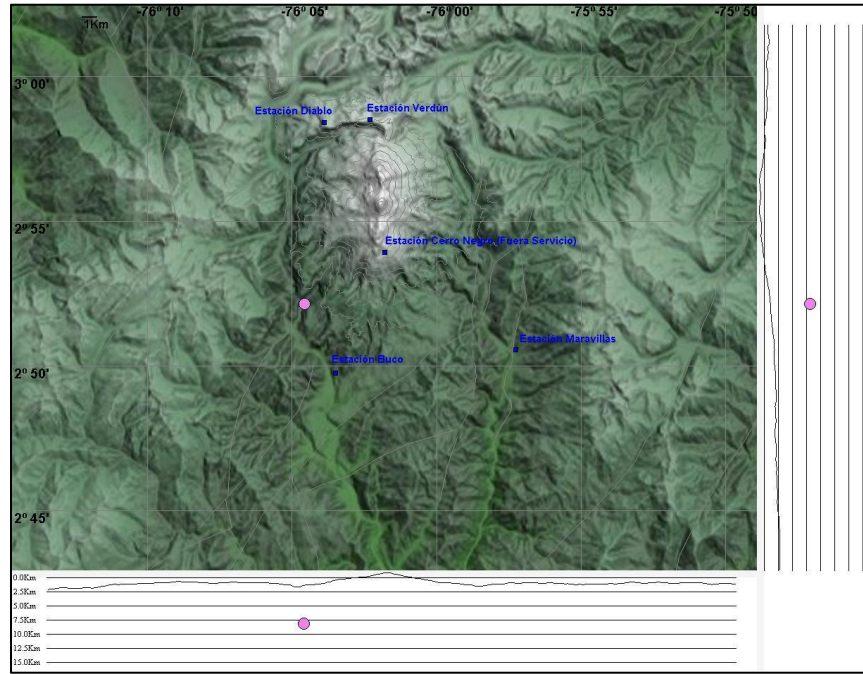


Figura 11. Evento destacado durante ocurrido en noviembre de 2011. Magnitud local de 3.2

1.3. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

1.3.1. Geoquímica. Las medidas de concentración de Dióxido de Azufre (SO_2) constituyen una importante herramienta para el proceso de vigilancia y monitoreo de un complejo volcánico, toda vez que este compuesto químico en estado gaseoso se halla presente en las columnas de gases emitidas por los volcanes activos y algunas veces se relacionan con incrementos en la actividad sísmica interna y/o superficial del mismo, o con procesos eruptivos en evolución.

Este método complementario en el proceso de vigilancia y monitoreo del volcán Nevado del Huila, se viene desarrollando a través de dos técnicas de medición conocidas como MobileDOAS y ScanDOAS, la primera de ellas se realizó de manera periódica en las carreteras del norte del Cauca y suroriente del Valle, la segunda técnica se implemento en el primer semestre de 2010, a través de las estaciones Manantial en Santander de Quilichao y Cali en la ciudad de Cali.



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

1.3.2. Medidas móviles del flujo de SO₂. Durante el II Semestre de 2011 en el Volcán Nevado del Huila se realizaron 18 mediciones del flujo de SO₂ a través de la técnica MobileDOAS, los resultados obtenidos se relacionan en la tabla 1 y en la figura 1. En ellas se puede apreciar que durante los meses de agosto y septiembre, los flujos de SO₂ calculados presentaron valores importantes de acuerdo al comportamiento y tendencia observado en el Sistema volcánico, donde el proceso de desgasificación refleja variaciones asociadas al dominio de la actividad sísmica de movimiento y transito de fluidos.

De acuerdo con las medidas realizadas para el II Semestre de 2011, el valor máximo obtenido se realizó el día 12 de julio, sobre la vía Panamericana entre las poblaciones de Villarrica y Mandivá (Cauca); en ella El flujo total fue estimado fue de 690 toneladas diarias con una velocidad del viento de 14.1 m/s en una columna con dispersión preferencial hacia el noroccidente del edificio volcánico; En la figura 12 se presenta las medición realizada.

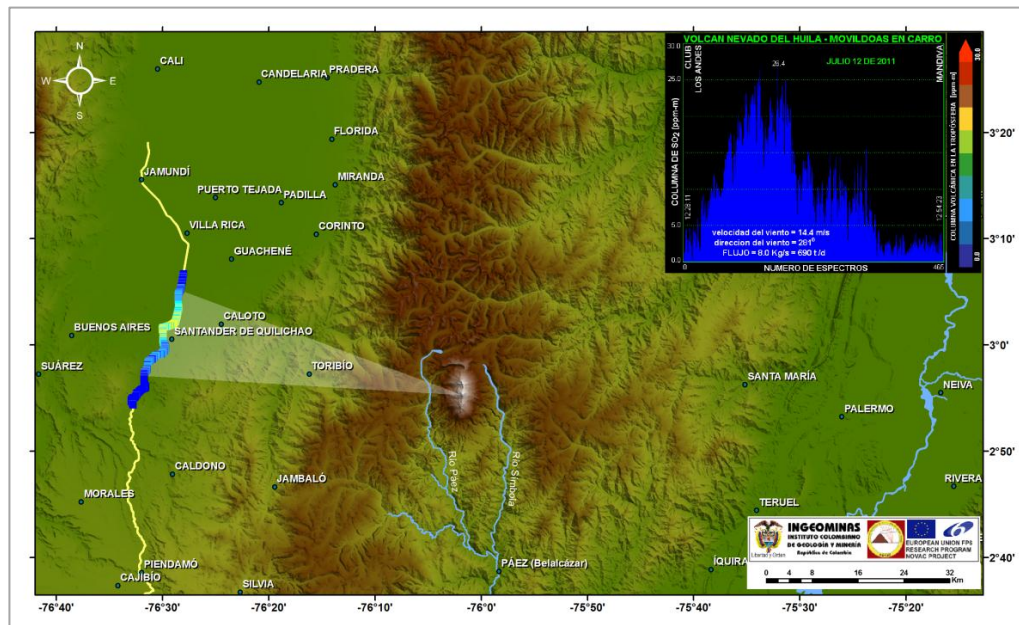


Figura 12. Ruta y espectrograma - Medida móvil de flujo de SO₂ – VNH –12 de julio de 2011

Los detalles de las mediciones realizadas durante el segundo semestre de 2011 y el resultado de los cálculos efectuados a los flujos de dióxido de azufre se compilan en las tablas 5 y 6, y algunas de las mediciones importantes se presentan en la figura 13.



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

Tabla 4. Resumen de las mediciones de SO₂ realizadas durante el II Semestre de de 2011.

Fecha	Recorrido	Dispersión de la Columna	Flujo SO ₂ (t/día)	Flujo SO ₂ (Kg /s)
12/07/2011	Villarrica - Mandiva (Cauca)	Noroccidente	690	8.3
18/07/2011	Candelaria y Florida (Valle del Cauca)	Noroccidente	261	3.0
08/08/2011	Quinamayó y Villarrica (Cauca)	Noroccidente	350	4.1
19/08/2011	Santander de Quilichao (Cauca) y Cali (Valle)	Noroccidente	462	5.3
22/08/2011	El Cabuyal (Candelaria) y La Primavera Pto Tejada (Cauca)	Noroccidente	124	1.4
23/09/2011	Mondomo - Villarrica (departamento del Cauca)	Noroccidente	226	2.6
26/09/2011	Quinamayó (Santander de Quilichao) - Primavera Pto Tejada	Noroccidente	323	3.7
03/10/2011	Quinamayó (Santander de Quilichao) - El Cabuyal (Candelaria)	Noroccidente	268	3.1
10/10/2011	Usenda - Pescador (Cauca)	Suroccidente	248	2.9
13/10/2011	Tunia - Villarrica (Cauca)	occidente	404	4.7
18/10/2011	Mondomo (Cauca) - El Cabuyal (Candelaria)	Noroccidente	291	3.4
25/10/2011	Santander de Quilichao (Cauca) - El Cabuyal (Candelaria)	Noroccidente	487	5.6
15/11/2011	Pto Tejada y La Agustina	Noroccidente	409	4.7
21/11/2011	El Cabuyal (Candelaria) - Quinamayó (Santander de Q)	Noroccidente	196	2.3
28/11/2011	Santander de Quilichao (Cauca) - El Cabuyal (Candelaria)	Noroccidente	135	1.6
01/12/2011	Piendamó y Santander de Quilichao (Cauca)	occidente	217	2.5
07/12/2011	Puerto Tejada (Cauca) y El Bolo (Valle del Cauca)	Noroccidente	74	0.9
19/12/2011	Miranda - Pescador (Cauca)	Noroccidente	564	6.5

Tabla 5. Resultado de las mediciones de SO₂ realizadas durante II Semestre de de 2011

Fecha	SO ₂ MAX (ppm-m)	Dirección del Viento (grados)	Velocidad del Viento (m/s)	Ancho de la columna (km)
12/07/2011	26.4	280°	14.4	28.4
18/07/2011	25.4	321°	10.8	35.6
08/08/2011	23.1	283°	14.7	23.1
19/08/2011	30.6	305°	7.0	41.4
22/08/2011	20.0	316°	5.0	29.2
23/09/2011	37.0	277°	5.0	40.6
26/09/2011	15.5	300°	13.1	31.0



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

03/10/2011	27.4	317°	3.9	53.6
10/10/2011	34.7	287°	4.2	70.9
13/10/2011	60.5	257°	8.7	53.5
18/10/2011	24.2	299°	8.9	61.5
25/10/2011	17.9	299°	6.2	64.0
15/11/2011	27.6	293°	5.8	37.3
21/11/2011	20.9	298°	5.5	40.6
28/11/2011	23.0	317°	1.8	57.8
01/12/2011	22.2	259°	2.4	57.7
07/12/2011	12.4	320°	2.2	33.6
19/12/2011	76.7	287°	1.8	70.3

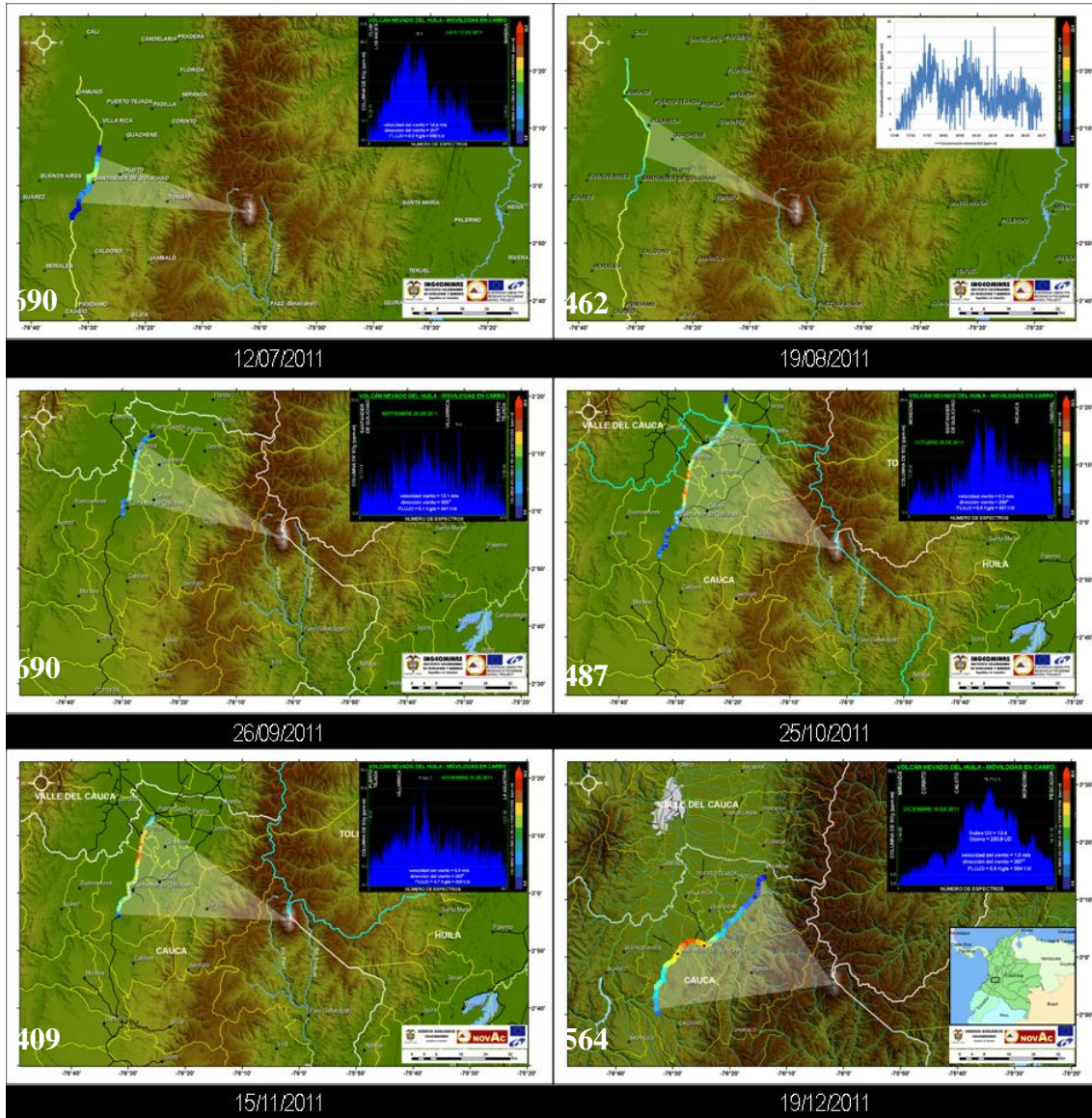


Figura 13. Ruta y espectrograma - Medidas móviles de flujo de SO₂ – Valores máximos mensuales II Sem de 2011

En la figura 14 se muestran los valores reportados las mediciones de flujo de SO₂ emitido por el volcán Nevado del Huila durante el segundo semestre de 2011. En ella, es posible apreciar las fluctuaciones de las emisiones de SO₂ durante lo corrido del segundo semestre, las cuales se han mantenido en valores que pueden ser considerados como bajos, (≤ 700 Ton/día), de acuerdo a los valores registrados en periodos post-crisis (2007, 2008, 2009).



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

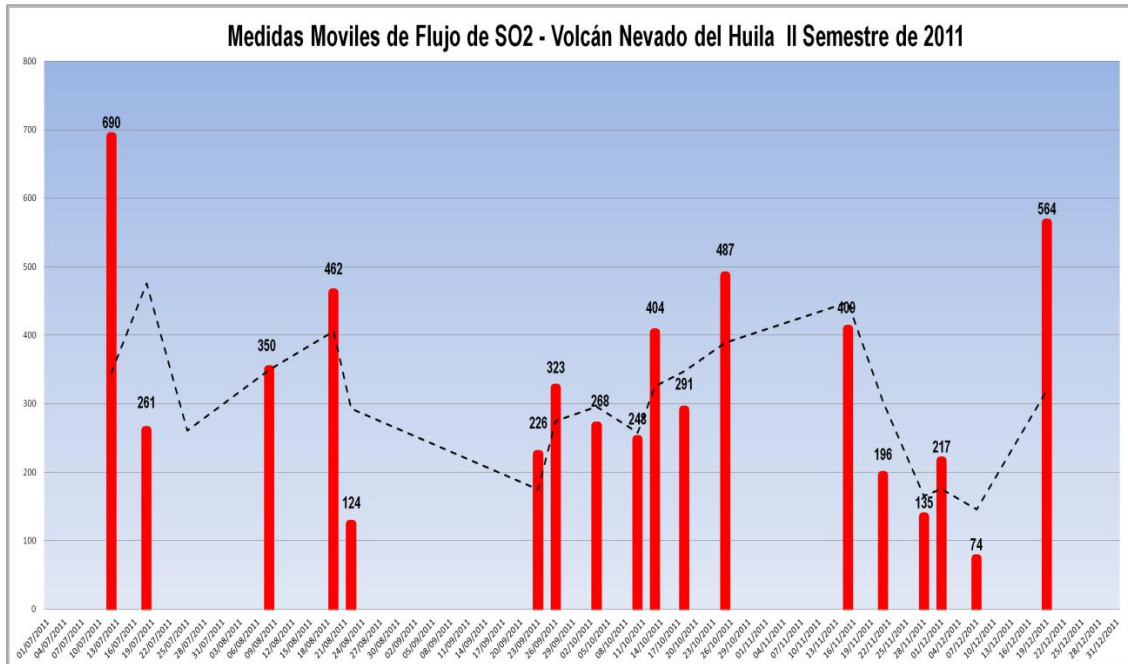


Figura 14. Medidas móviles de Flujo de SO₂ en el Volcán Nevado del Huila – II Semestre de 2011

En cuanto a los valores obtenidos en los cálculos de SO₂ reportados en el segundo semestre, se resalta que las velocidades del viento utilizadas (Modelo WRF) no han definido la tendencia del flujo de dióxido de azufre, sino que estos han tenido una relación directa con el número de moléculas medidas en el periodo de estudio, lo cual es importante resaltar el decremento notorio en los aportes y emisiones de este gas a superficie. Los aportes de SO₂ y el comportamiento de la actividad sísmica relacionada con la dinámica de fluidos, ha presentado de igual forma una tendencia baja estable durante el 2011 (Ver figuras 15 y 16).



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

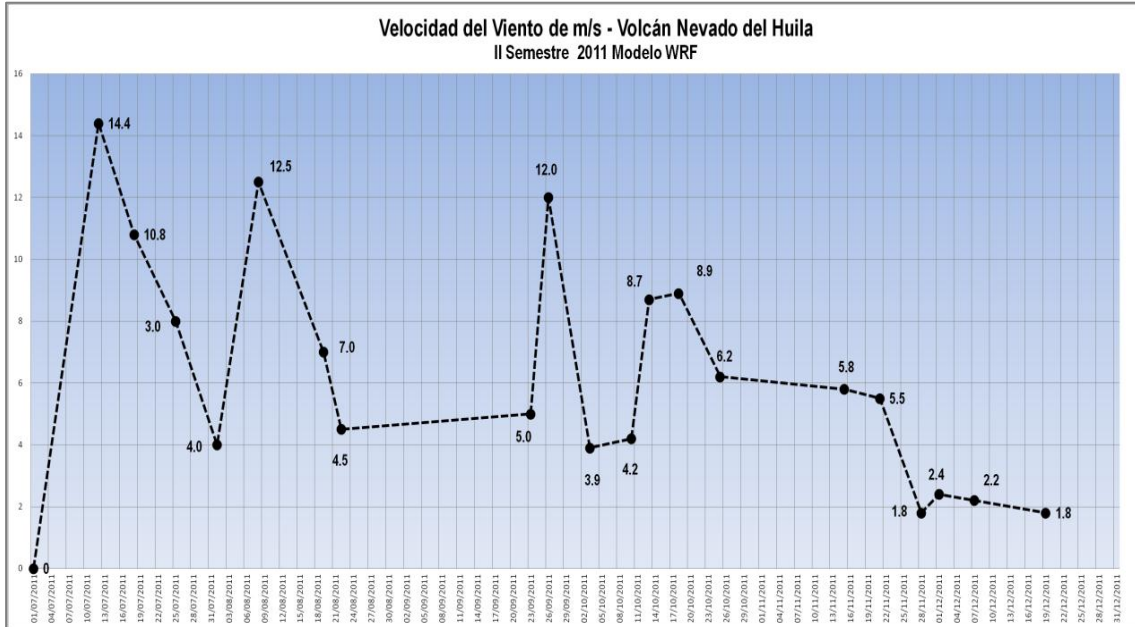


Figura 15.. Velocidades del viento asumidas para el cálculo de Flujo de SO₂ en el Volcán Nevado del Huila. Información suministrada por el Modelo WRF – IDEAM 2011.

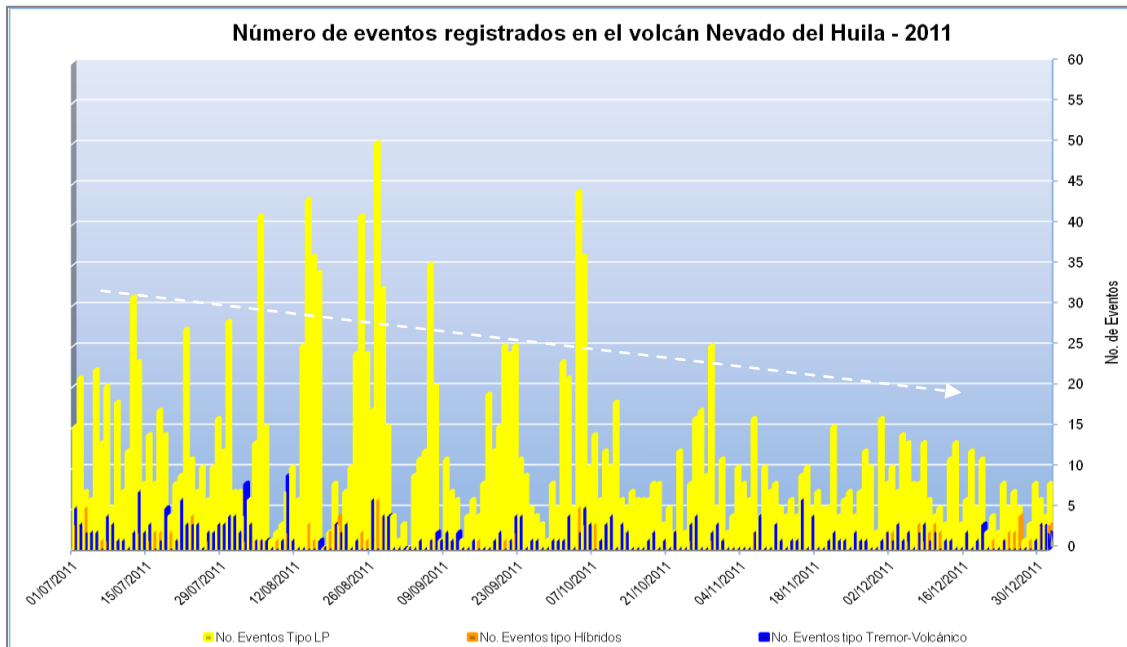


Figura 16. Sismicidad registrada en el VNH, asociada a movimiento y tránsito de fluidos - II Semestre de 2011.



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

Las medidas móviles se han realizado semanalmente en horarios cercanos al mediodía, cuando las condiciones atmosféricas y solares son las más favorables. Las columnas de gases del volcán Nevado del Huila en el segundo semestre del 2011 han estado dirigidas preferencialmente hacia los costados occidental – noroccidental del edificio, en dirección de los municipios del norte del Cauca y del Valle del Cauca como: Mondomo, Santander de Quilichao, Puerto Tejada, Villarrica, Jamundi, Candelaria, Cali, entre otras (Figura 17).

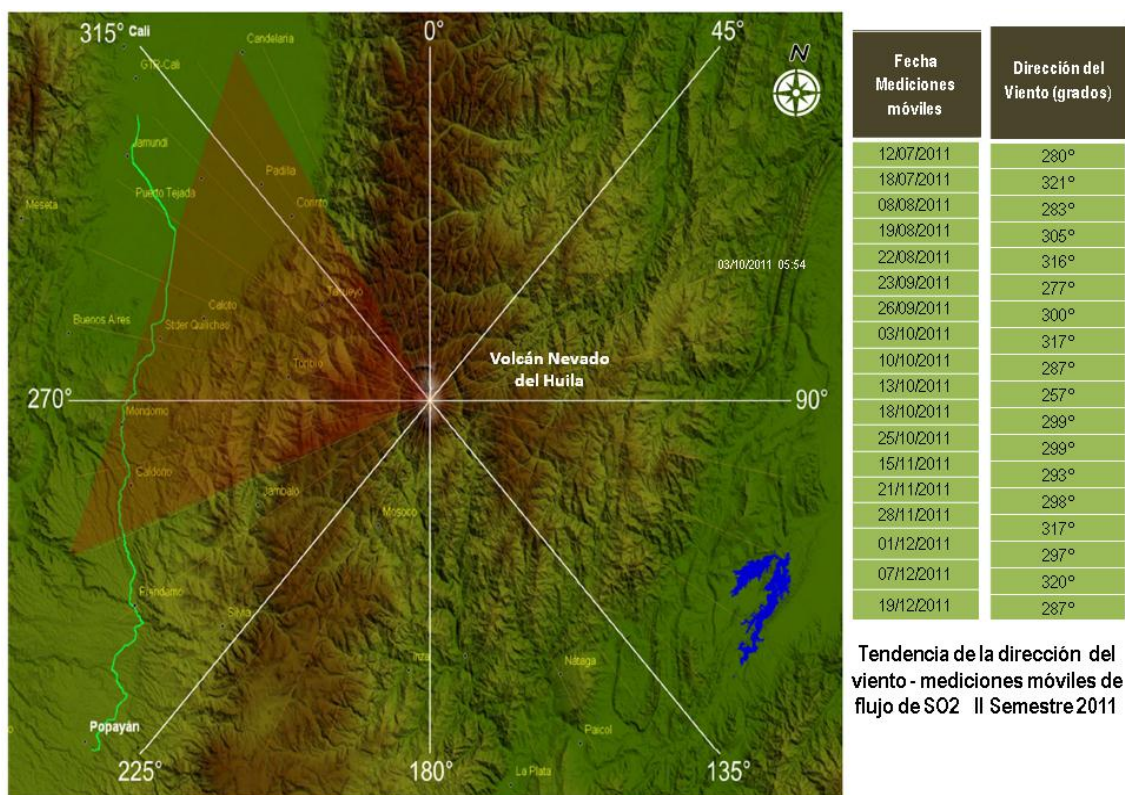


Figura 17. Tendencia de la dirección del viento - mediciones móviles de flujo de SO₂ – II Semestre 2011



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

1.3.3. Sobrevuelos. Los sobrevuelos para el monitoreo de los cambios superficiales del volcán Nevado del Huila se efectúan con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Desde noviembre de 2010, la FAC ha puesto a disposición de los Observatorios Vulcanológicos y Sismológicos, helicópteros Bell Huey II equipados con cámaras FLIR de la familia Star Safire de Alta Definición.

Durante estos sobrevuelos se recopila material fotográfico, de video, imágenes termográficas con una cámara de alta definición Fluke Ti32, la cual permite tomar valores de temperatura relativos a grandes distancias, además de la utilización de puntos georreferenciados de la superficie del volcán, obtenidos a través del sistema de designación de objetivos de la cámara FLIR de la aeronave.

Uno de los objetivos primordiales de los sobrevuelos al volcán Nevado del Huila es el de hacer seguimiento a la evolución de los domos extruidos durante los procesos eruptivos de 2008 y 2009, dado que éstos son el rasgo más notorio de cambios superficiales del edificio volcánico, junto con las fisuras generadas en 2007.

Las condiciones meteorológicas no fueron favorables en el segundo semestre de 2011, y por tanto solamente fue posible efectuar dos sobrevuelos: el 13 de septiembre y el 22 de octubre. Las observaciones más relevantes resultantes de éstos se describen a continuación:

- 13 de septiembre: Se apreció una intensa recarga de nieve sobre la superficie del domo y del edificio volcánico en general, con poca desgasificación emanada desde los diferentes puntos de emisión distribuidos en el domo, la cual por efecto de viento se dispersaba hacia el occidente. A pesar de haber volado por sobre la columna de gases, no se percibieron olores azufrados.

Las imágenes captadas con la cámara termográfica muestran que la superficie del domo no alcanzaba temperaturas cercanas a los 17°C, lo que indica que no se ha presentado extrusión de material juvenil recientemente.

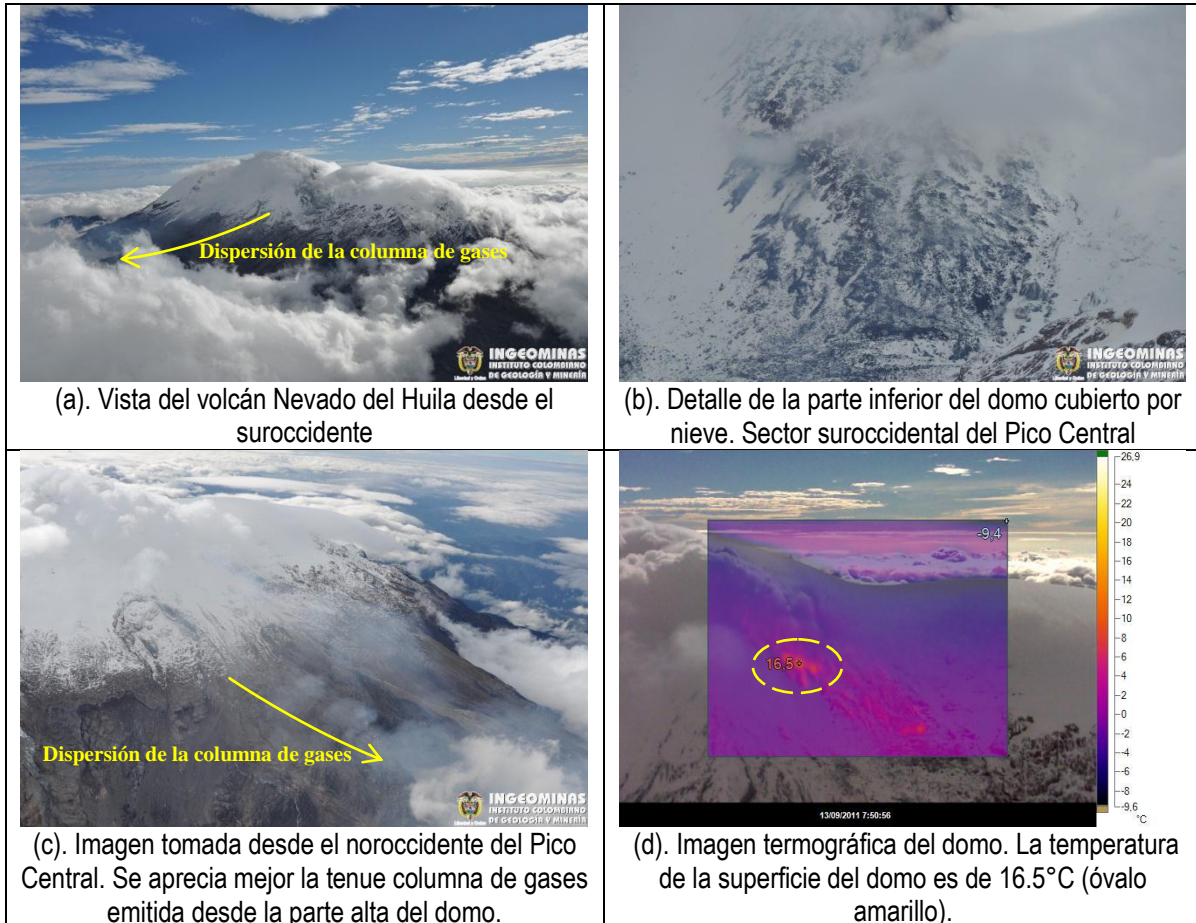


Figura 18. Imágenes más importantes del sobrevuelo al volcán Nevado del Huila efectuado el 13 de septiembre de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana.

- 22 de octubre: Durante el sobrevuelo efectuado el 22 de octubre se pudo apreciar intensa desgasificación en la parte alta del domo, en la zona en que el domo emerge del cráter generado durante la erupción de noviembre de 2008. La columna era de color blanco, debido a la alta concentración de vapor de agua. Debido a la recarga de nieve y a la pendiente del Pico Norte, se avistaron avalanchas de longitud estimada en menos de un kilómetro en el sector noroccidental de éste (Figura a). La recarga de nieve también se apreció en la pared norte del cráter (Figura c). Los tripulantes percibieron además intenso olor a azufre.



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



Figura 19. Imágenes más importantes captadas durante el sobrevuelo efectuado el 22 de octubre de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana

1.3.4. Cámaras web. Las cámaras web instaladas en Tafxnú (Resguardo de Taravira) y Maravillas captan imágenes del edificio volcánico cada minuto y se transmiten vía ftp al Observatorio de Popayán. Con éstas se realiza el seguimiento a la actividad superficial del volcán, especialmente al domo emplazado en superficie desde 2008 y a la columna de gases que emite el volcán permanentemente. Estas cámaras están localizadas a 10 y 12 km del volcán, respectivamente (Figura 2).

1.3.4.1. Cámara web Tafxnú. A través de las imágenes captadas durante el segundo semestre de 2011, se pudo apreciar que la columna de gases presentó una coloración blancuzca, debido a la alta concentración de vapor de agua. El régimen de vientos imperante en la zona determinó la dispersión de esta columna, sin



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

predominar una dirección en especial durante este período de tiempo. Aparte de estas observaciones, no se observaron otros aspectos relevantes dentro de los cambios superficiales del volcán.

El primero de septiembre se reemplazó la cámara Stardot NetCam XL 1MP, por una Vivotek IP7361 de 2 Megapíxeles, con el propósito hacer mejoras en la transmisión y almacenamiento de las imágenes captadas. Estas son las imágenes más representativas obtenidas durante el segundo semestre de 2011:

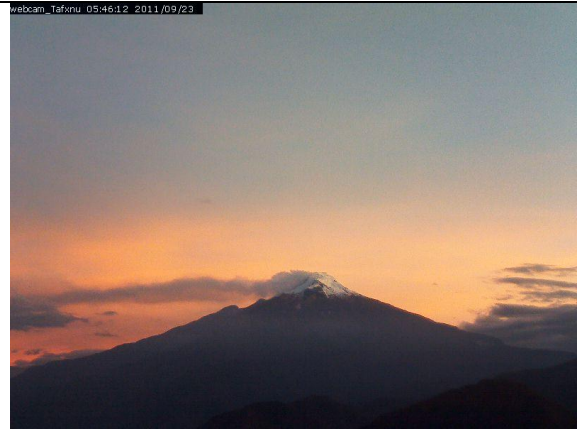




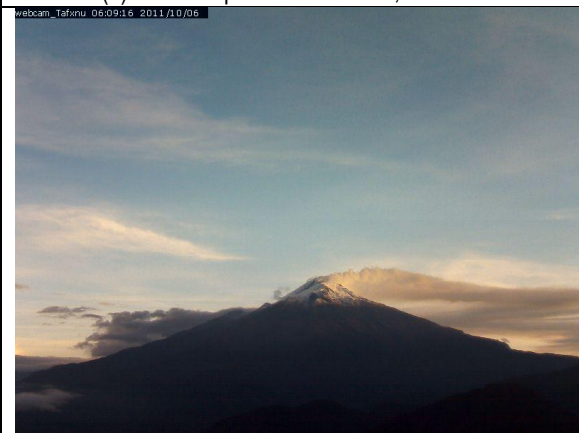
**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO
POPAYÁN**



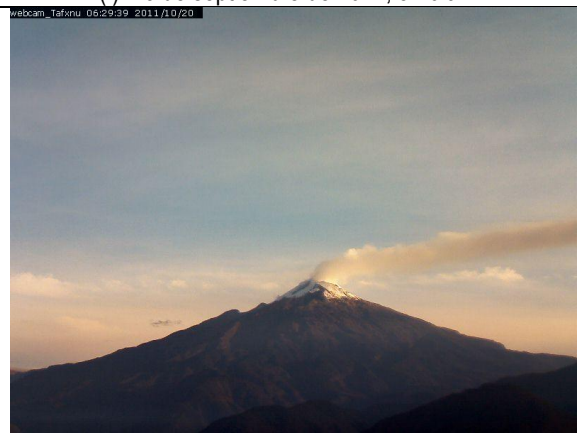
(e). 18 de septiembre de 2011, 6:11 a.m.



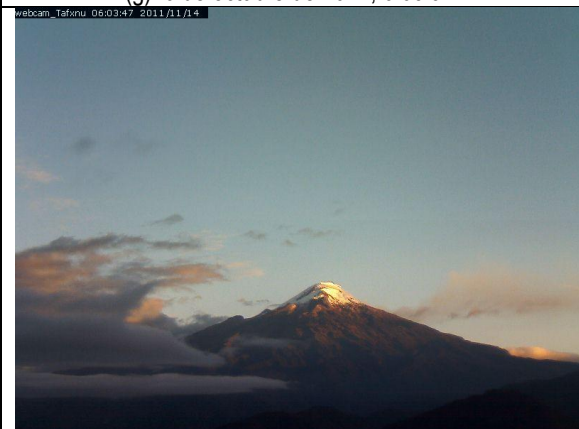
(f). 23 de septiembre de 2011, 5:46 a.m.



(g). 6 de octubre de 2011, 6:09 a.m.



(h). 20 de octubre de 2011, 6:29 a.m.



(i). 14 de noviembre de 2011, 6:03 a.m.



(j). 21 de noviembre de 2011, 7:25 a.m.



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

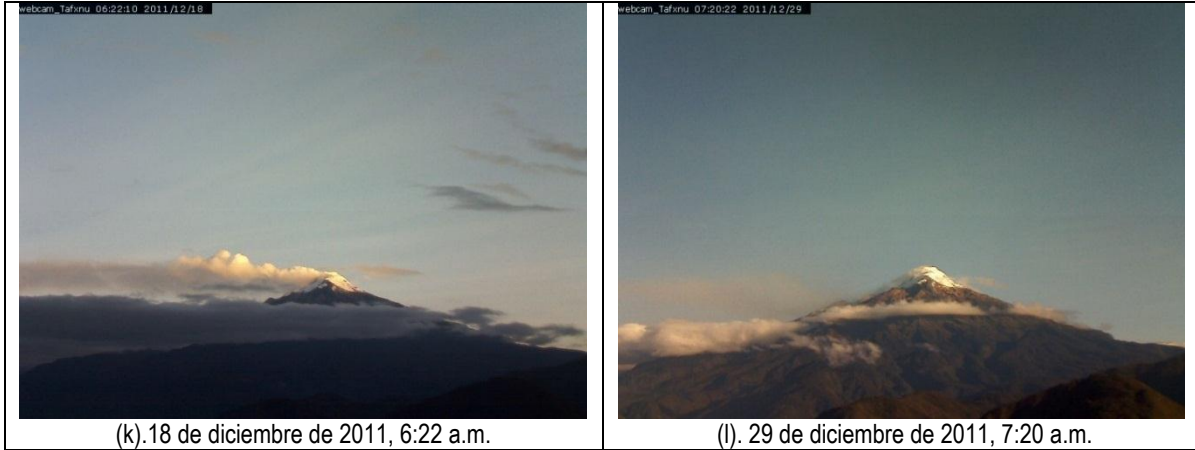
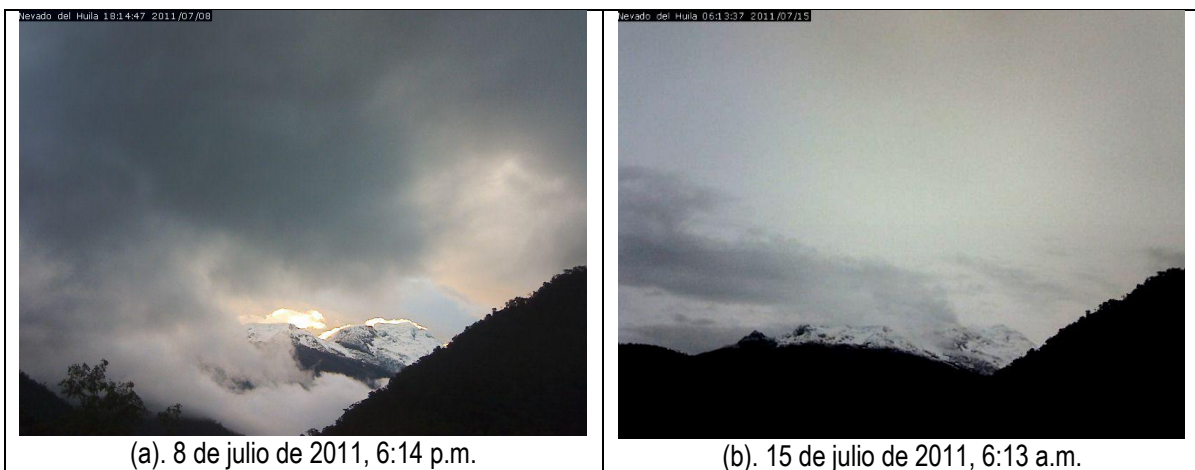


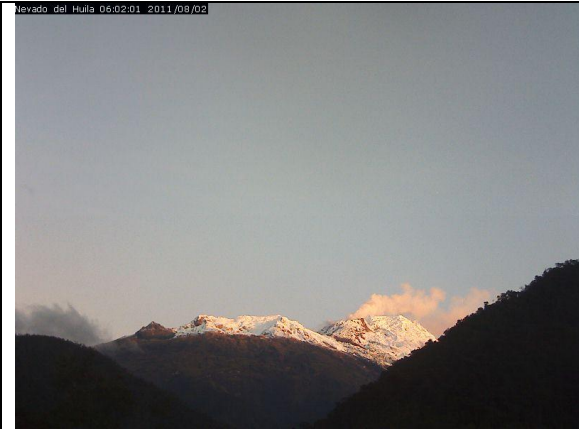
Figura 20. Imágenes más representativas del volcán Nevado del Huila obtenidas por la cámara web instalada en Tafxnú durante el segundo semestre de 2011

1.3.4.2. Cámara web Maravillas. Esta cámara capta las imágenes desde el suroriente del volcán, lo que permite tener un panorama permanente del domo. Durante el período de tiempo evaluado, no se apreciaron cambios significativos en su forma ni en su volumen. En ocasiones se vio parcialmente cubierto por una capa de nieve, coincidente con la recarga de glaciación característica de las temporadas de bajas temperaturas. Las imágenes más destacadas del segundo semestre de 2011 se muestran a continuación.

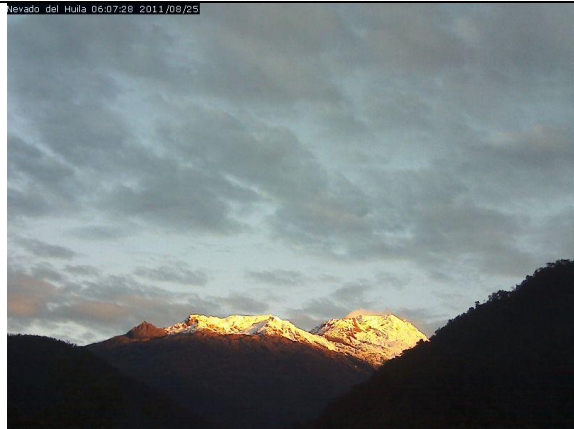




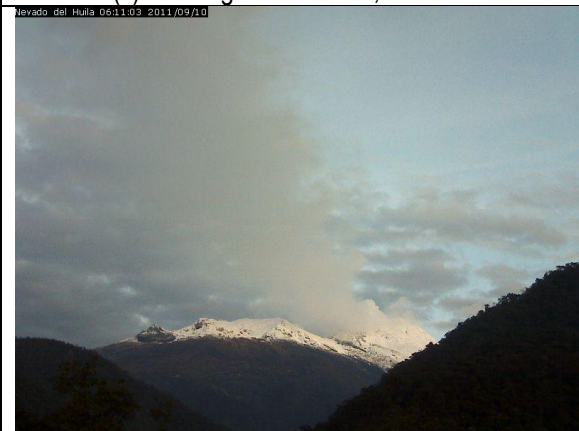
**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO
POPAYÁN**



(c). 2 de agosto de 2011, 6:02 a.m.



(d). 25 de agosto de 2011, 6:07 a.m.



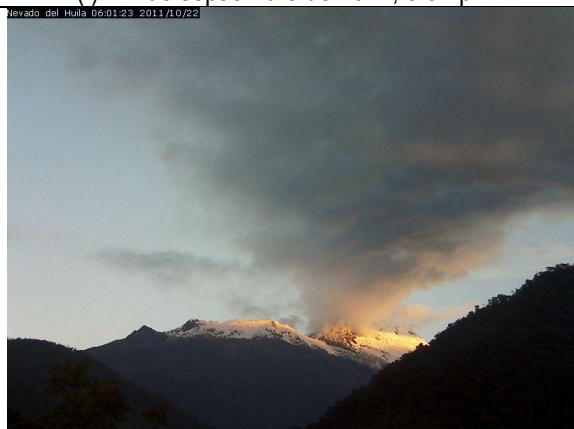
(e). 10 de septiembre de 2011, 6:11 a.m.



(f). 24 de septiembre de 2011, 3:32 p.m.



(g). 9 de octubre de 2011, 6:09 a.m.



(h). 22 de octubre de 2011, 6:01 a.m.



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

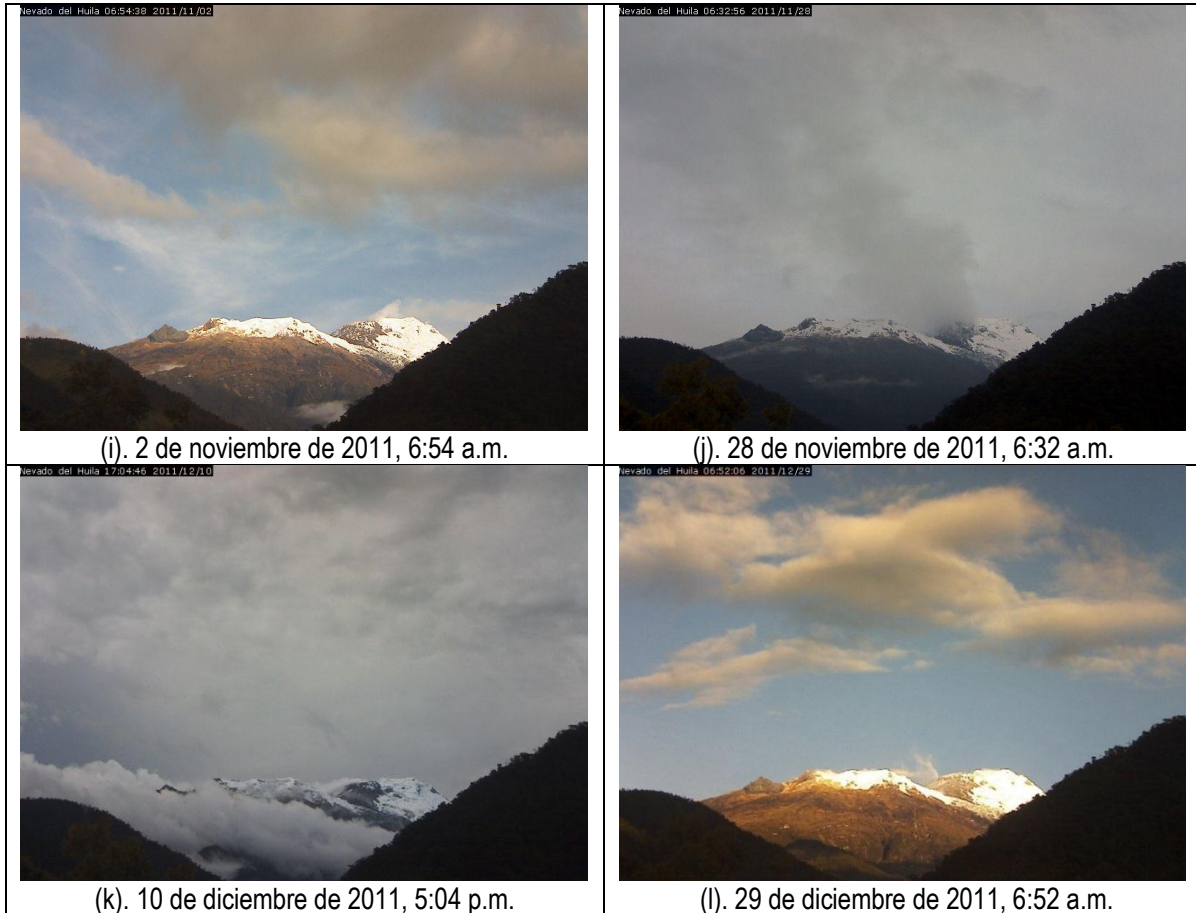


Figura 21. Imágenes más destacadas del flanco suroriental del volcán Nevado del Huila captadas por la cámara web instalada en Maravillas.

1.4. CONCLUSIONES

Basándose en el análisis de la información derivada de las diferentes técnicas de vigilancia con que cuenta actualmente el volcán Nevado del Huila, se concluye que:

El volcán presentó un comportamiento estable con bajos niveles de actividad sísmica, observándose un claro dominio de la sismicidad asociada a la dinámica de fluidos que se presenta al interior de los conductos volcánicos. El sistema volcánico continúa su proceso de desgasificación, se observaron columnas fumarólicas de color blanco que se dispersaron según el régimen de vientos imperante en la zona. Los valores calculados de emisión de SO₂ a la atmósfera continuaron siendo bajos.



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

Teniendo en cuenta el comportamiento presentado por el volcán durante el II Semestre de 2011, el OVS-Popayán mantiene el nivel de actividad del mismo en **NIVEL AMARILLO (III): CAMBIOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA**. EL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, continúa atento a mayores cambios en el comportamiento que este volcán pueda presentar.



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

2. VOLCÁN PURACÉ



Figura 22. Volcán Puracé. Imagen captada durante el sobrevuelo del 24 de diciembre de 2008.

El volcán Puracé se encuentra ubicado en el departamento del Cauca, en las coordenadas geográficas $2^{\circ} 22'$ N y $76^{\circ} 23'$ W, a una distancia de 26 km al 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° noroccidente-suroriente, siendo el Puracé el más joven y septentrional de la cadena.

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

La actividad fumarólica está concentrada en una grieta que atraviesa el fondo del cráter, y en un importante campo fumarólico ubicado en el flanco noroccidental externo del volcán (Fumarola Lateral). Su actividad



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

volcánica ha sido reportada desde 1801, con la ocurrencia de al menos 15 erupciones históricas bien documentadas, las cuales han causado daños materiales y pérdidas de vidas humanas; la última erupción ocurrió en marzo de 1977.

Existen al menos 15 fuentes termales ubicadas alrededor del edificio volcánico, algunas de las cuales son consideradas sitios turísticos y recreacionales, que presentan temperaturas comprendidas entre 20 y 90 °C. Se destacan las fuentes termales San Juan, Pilimbalá, Agua Tibia y Agua Hirviendo.

2.1. RED DE VIGILANCIA.

Actualmente el volcán Puracé cuenta con una red de vigilancia compuesta por diez (10) estaciones sismológicas, siete (7) de ellas de corto periodo y tres (3) de Banda Ancha, una red de deformación conformada por tres inclinómetros electrónicos y cinco vectores cortos de nivelación; además de seis estaciones isotópicas de radón, dos cámaras web instaladas en la estación La Mina y en el sector Lavas Rojas, además de una estación de magnetometría (Figura 23). Esta red presentó un óptimo nivel de funcionamiento durante el mes con un porcentaje promedio del 80%, tal como se observa en la tabla 6 y la gráfica de la figura 24.

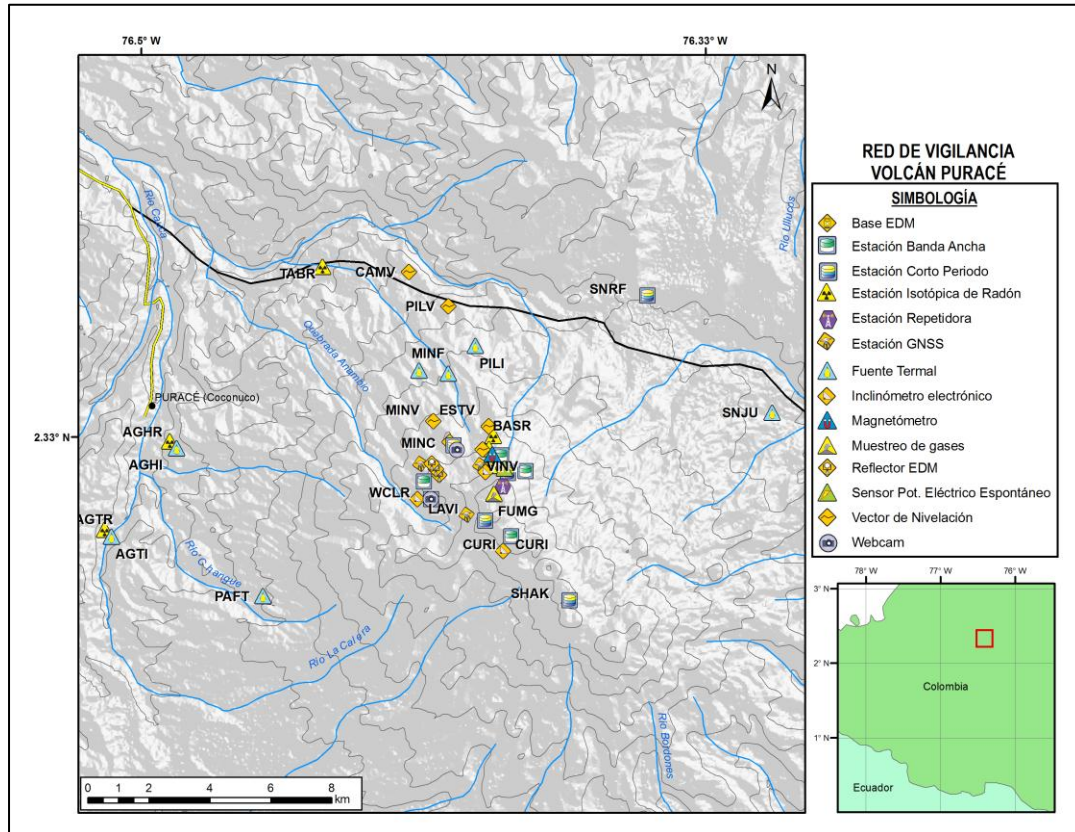


Figura 23. Red de vigilancia de la Cadena Volcánica del volcán Puracé. Diciembre de 2011.

Tabla 6. Principales características de la red de vigilancia instalada en el volcán Puracé.

Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altura (msnm)	Distancia al Cráter ()
Cóndor	Estación Corto Periodo	2.324840	76.393770	4294	1.02 N
	Estación Banda Ancha				
	Estación isotópica de Radón				
Aguablanca	Estación Corto Periodo	2.310830	76.400500	4374	0.74 E
	Estación Corto Periodo				
Curiqinga	Estación Corto Periodo	2.300980	76.390840	4507	2.03 SE
	Inclínómetro electrónico				
Cocuy	Estación Banda Ancha	2.320203	76.386562	4289	1.42 N
	Estación Corto Periodo				
Mina	Estación Corto Periodo	2.333010	76.409850	4049	2.12 NW
	Webcam				
	Vector corto de Nivelación				
Shaka	Estación Corto Periodo	2.287340	76.375580	4445	4.22 SE
San Rafael	Estación Corto Periodo	2.377140	76.352670	3518	8.40 NE
Lavas Rojas	Estación Corto Periodo	2.317140	76.416510	4046	1.94 E
	Inclínómetro electrónico				
	Estación Banda Ancha				
	Estación Banda Ancha	2.317105	76.416638	4049	1.96 E



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

	Webcam				
Guañarita	Inclinómetro electrónico	2.326810	76.398860	4294	1.06 N
Laguna	Magnetómetro	2.328267	76.396349	4177	1.25 N
Campamento	Vector corto de Nivelación	2.382110	76.421020	3050	7.60 NW
Estación	Vector corto de Nivelación	2.336620	76.397490	3933	2.15 N
Pilimbalá	Vector corto de Nivelación	2.372555	76.408861	3279	6.23 NW
Vinagre	Vector corto de Nivelación	2.329730	76.399300	3938	1.38 N
Agua Hirviendo	Estación isotópica de Radón	2.330110	76.489620	2652	10.16 W
Tabio	Estación isotópica de Radón	2.381580	76.444440	2772	8.74 NW
La Base	Estación isotópica de Radón	2.331820	76.394110	4104	1.70 N
Laguna	Estación isotópica de Radón	2.327930	76.395330	4196	1.25 N
Base EDM (Mina)	Base EDM	2.332000	76.409000	4075	1.97 NW
Reflector 1RA	Reflector EDM	2.322000	76.411000	4087	1.43 NW
Reflector 1RB	Reflector EDM	2.324000	76.412000	4067	1.62 NW
Reflector 1RC	Reflector EDM	2.326000	76.414000	4019	192 NW

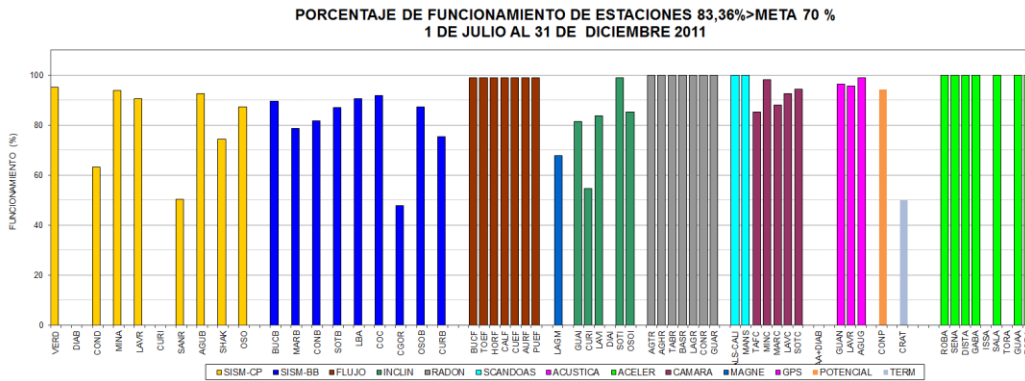


Figura 24. Porcentaje de funcionamiento de estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Puracé. II Semestre de 2011.



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

2.2. ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN PURACÉ.

Durante el segundo semestre de 2011, se registraron en el volcán Puracé 1077 eventos sísmicos, de los cuales 179 estuvieron relacionados con fracturamiento de roca (volcano-tectónicos, VT), 898 se catalogaron como eventos asociados a la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos (eventos de Largo Periodo, LP), 8 presentaron características tanto de fracturamiento de roca como de tránsito de fluidos (Híbridos, HB), 90 eventos tipo Tornillo (TO) y 9 pulsos de tremor (TR) de baja magnitud.

De acuerdo a esta estadística de número de ocurrencia, respecto al primer semestre de 2011, se registró una disminución del 35 % en número de eventos VT, del 20 % en eventos LP, del 65% en TR, del 41% en TO; al considerar todos los tipos de sismicidad de fluidos, la disminución fue del 19% y en el número total de eventos volcánicos, del 22%. Sólo en el caso de eventos HB y TO se registró un ligero incremento, del 33 % y del 3 %, respectivamente. No obstante, es claro que la tendencia general fue al descenso en ocurrencia.

La tabla 7 y la figura 25 detallan el comportamiento sísmico en cuanto a la ocurrencia de eventos registrados por el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2011.

Tabla 7. Número de eventos sísmicos registrados por el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2011.

Volcán Puracé	VT	LP	HB	TO	TR	Total Fluidos	Total VT+Fluidos
Sismicidad I semestre de 2011	276	992	6	87	26	1111	1387
Sismicidad II semestre de 2011	179	791	8	90	9	898	1077

Los niveles de energéticos presentados por la sismicidad tipo VT y LP en el volcán Puracé, durante el segundo semestre de 2011, mostraron una un ligero incremento hacia el final del semestre. La energía relacionada con la sismicidad tipo Tornillo, reportó niveles energeticos más altos (principalmente, hacia la segunda mitad del semestre) y su registro tuvo un promedio de 15 eventos/mes; cabe anotar que el registro de este tipo de sismicidad no a comprometido la estabilidad del sistema. Los eventos tipo tornillo, durante el segundo semestre de 2011, alcanzaron un valor de energía acumulado diariamente de $3.83E+08$ ergios^{1/2} y un máximo diario de $4.18E+07$ ergios^{1/2} (un 11 % del valor total), que corresponde al registro de 4 eventos el día 31 de diciembre de 2011. Los eventos TO se caracterizaron por presentar codas entre 14 s y 112 s (en



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

promedio, 45 s), con magnitudes de coda entre 0.8 y 2.9 (1.8, en promedio). Los eventos LP alcanzaron un valor energía acumulado diariamente de $4.30E+08$ ergios^{1/2} y un máximo diario de $1.43E+07$ ergios^{1/2}, que corresponde al registro de 4 eventos el día 28 de diciembre. Los eventos LP se caracterizaron por presentar codas entre 4 s y 69 s (en promedio, 18 s) y magnitudes de coda entre 0.1 y 2.3 (con un promedio de 0.9). Por su parte, los eventos VT durante el segundo semestre acumularon un valor de energía diaria de $1.25E+08$ ergios^{1/2} y registraron un máximo diario de $1.13E+07$ ergios^{1/2} el día 12 de agosto, asociado al registro de 5 eventos. Los eventos VT presentaron codas entre 5 s y 49 s (con promedio de 17 s), con magnitudes de coda entre 0.1 y 2.2 (0.8 en promedio). La figura 25 muestra el comportamiento de la energía liberada por los diferentes tipos de eventos registrados en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2011.

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. Así mismo ocurre con los valores reportados.

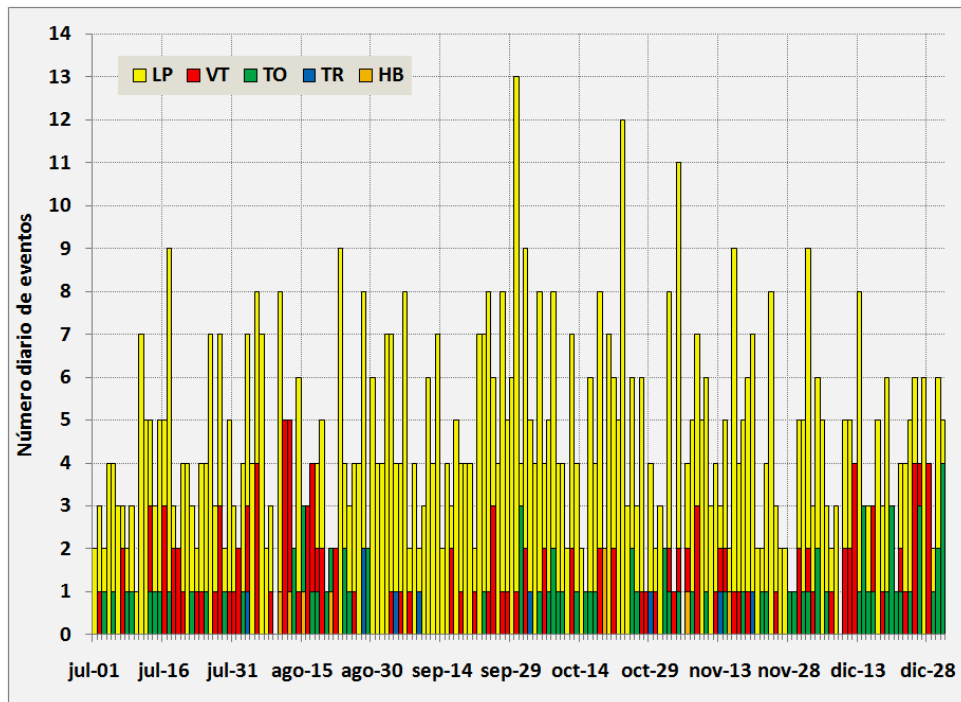


Figura 25. Gráfica que relaciona el número y tipo de eventos registrados en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2011.



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

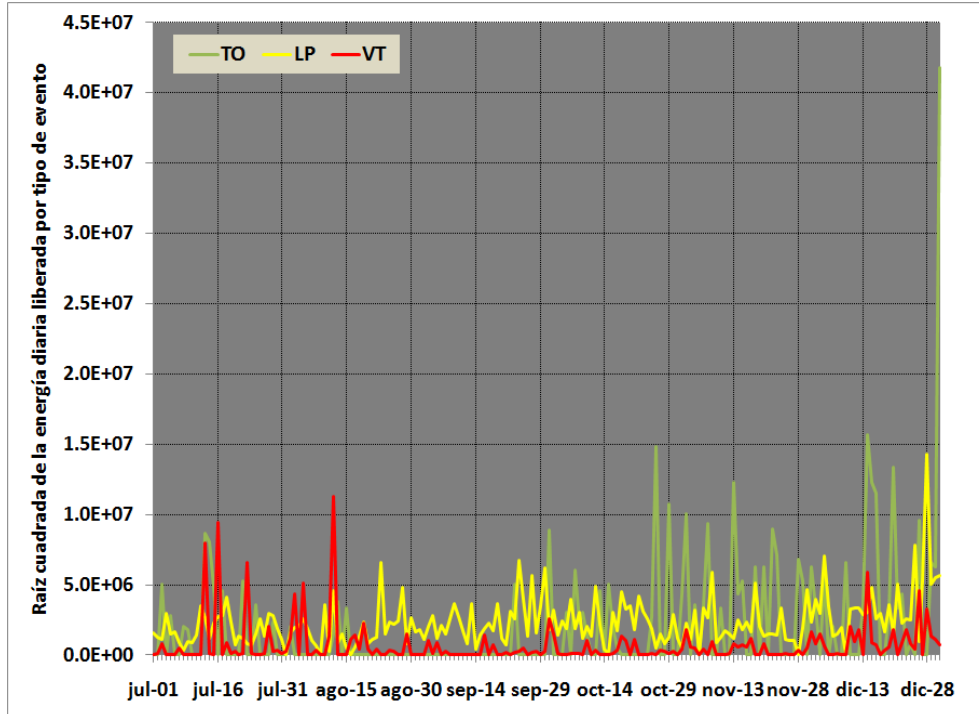


Figura 26. Energía sísmica liberada diariamente por el volcán Puracé, durante el segundo semestre de 2011. Los valores se expresan en términos de la raíz cuadrada de la energía liberada diaria, medida en ergios.

En cuanto a la energía sísmica acumulada, se tiene que el mayor aporte energético se hizo por parte de los eventos tipo LP, los cuales presentaron un incremento energético más marcado desde finales de noviembre hasta finales de diciembre (Figura 27).



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

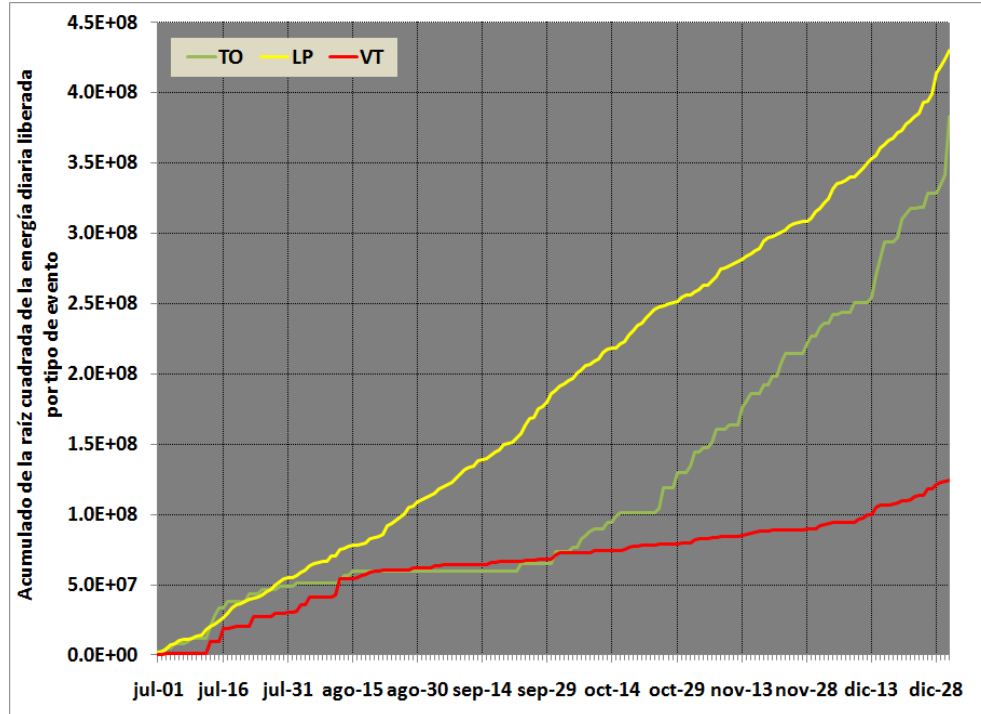


Figura 27. Energía sísmica acumulada por el volcán Puracé, durante el segundo semestre de 2011. Los valores se expresan en términos del acumulado de la raíz cuadrada de la energía liberada diaria, medida en ergios.

En las figuras 28, 29 y 30 se aprecia la distribución de la magnitud de duración vs. fecha, para los eventos de fractura (VT), largo periodo (LP) y tipo tornillo (TO), respectivamente. En las gráficas se observa que un gran porcentaje de los eventos VT presentan magnitudes de duración inferiores a 1.0 (el 68 % del total de los sismos VT); por su parte, los eventos LP en su mayoría presentan magnitudes de duración inferiores a 1.2 (el 76 %) y los eventos tipo TO presentaron, principalmente, magnitudes entre 1.2 y 2.4 (en este rango se encuentran el 94 % de estos sismos).



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

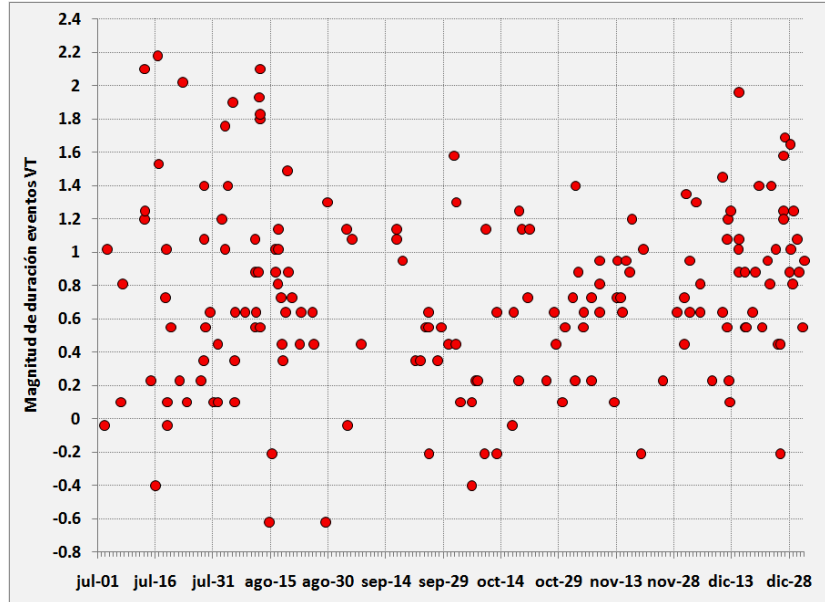


Figura 28. Distribución de la magnitud de duración para eventos VT, volcán Puracé, segundo semestre de 2011.

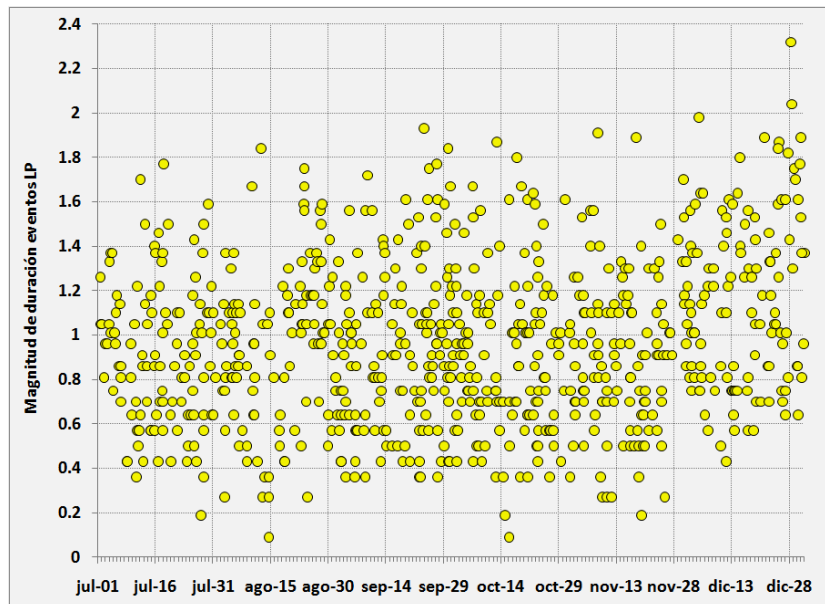


Figura 29. Distribución de la magnitud de coda para eventos de Largo Periodo (LP), volcán Puracé, segundo semestre de 2011.



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

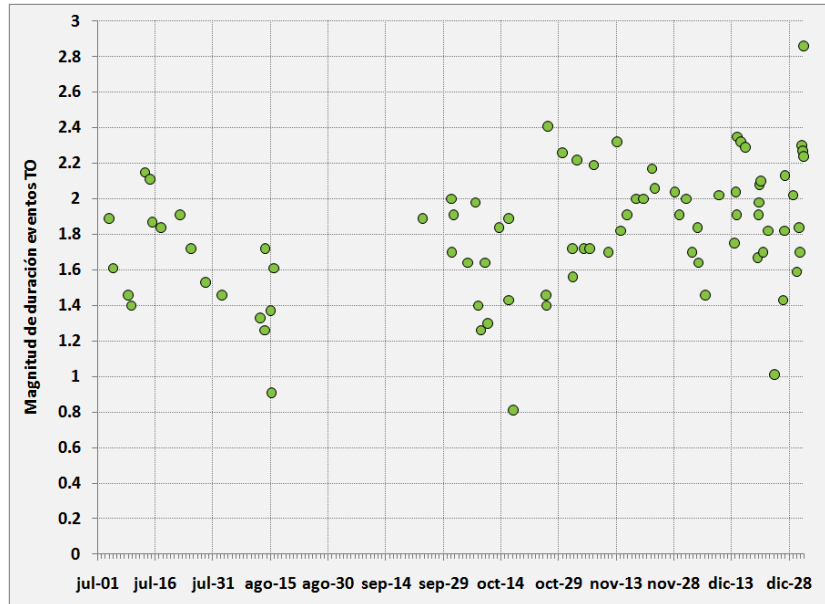


Figura 30. Distribución de la magnitud de duración para eventos tipo Tornillo (TO), volcán Puracé, segundo semestre de 2011.

En la figura 31, se muestra la relación de la diferencia de tiempo entre ondas S y P (S-P) para los eventos de fractura registrados en el volcán Puracé durante el segundo semestre de 2011. Se resalta una concentración de eventos en los rangos de S-P menores a 1.2 segundos (64 % del total); estos eventos se localizaron principalmente en la zona del cráter actual.



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

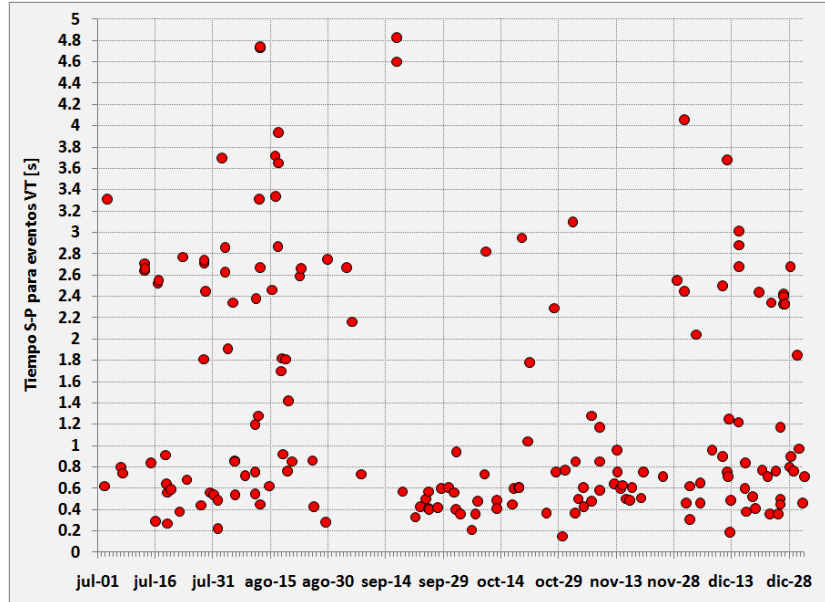


Figura 31. Diferencia de tiempo de S-P presentada por los eventos VT en el volcán Puracé, segundo semestre de 2011.

2.2.1. Localización de eventos sísmicos. Con la red de vigilancia sísmica del volcán Puracé fue posible localizar 116 eventos VT (de los 179 registrados, es decir, un 65 % del total) para el segundo semestre de 2011; estos eventos se concentraron principalmente en cercanías al cono activo (el 55 % de los eventos localizados corresponden a esta fuente sismogénica), la mayoría en una zona al nor-noroeste del cráter principal, a distancias de hasta 1.2 Km de éste, donde los hipocentros oscilaron en profundidades entre 0.7 y 3.4 km, respecto al nivel de referencia (4400 msnm) y alcanzaron magnitudes locales entre 0.1 y 2.2 grados en la escala de Richter; la sismicidad restante se localizó de manera dispersa en los alrededores del edificio volcánico y se caracterizó por presentar distancias al cono activo entre 1.2 y 26 km, rangos de profundidad mayores (entre 3.4 km y 18 km), con magnitudes locales entre 0.1 y 2.5 grados en la escala de Richter (Figura 32).



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

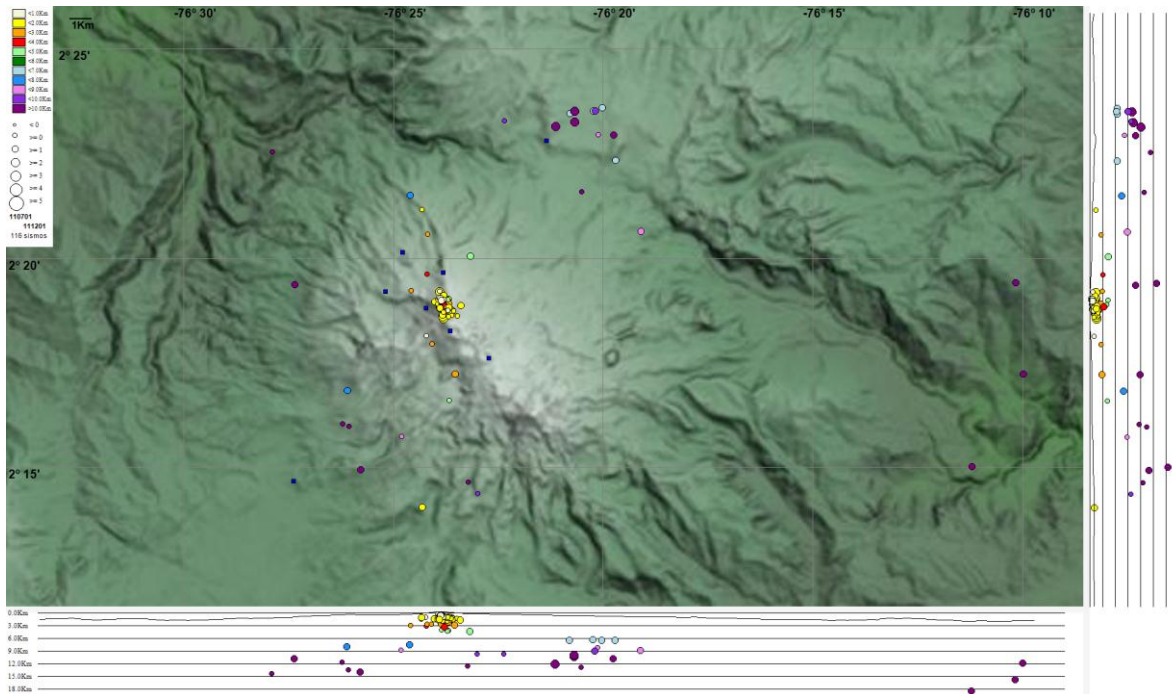


Figura 32. Mapa de localización epicentral e hipocentral de eventos VT, registrados durante el segundo semestre de 2011 en el volcán Puracé. La magnitud de la sismicidad se representa según el tamaño de los círculos que simbolizan los sismos y su color, según el color de los mismos, de acuerdo a las convenciones arriba a la izquierda. En los cortes EW (abajo) y NS (derecha), cada línea representa 2.5 km de profundidad.

Tabla 8. Eventos VT registrados durante el segundo semestre de 2011, con magnitudes locales mayores o iguales a 2.0 grados en la escala de Richter.

Fecha	Hora UT	Dirección respecto al Cráter	Dist. al cráter [Km]	Prof [Km]	Magnitud Local
26/12/2011	12:12	S W	13.0	6.9	2.5
16/07/2011	16:42	N E	10.4	12.0	2.4
07/07/2011	13:26	Cráter	0.7	1.7	2.2
13/07/2011	05:36	N E	9.6	12.1	2.2
23/07/2011	05:13	N E	10.6	10.0	2.1
01/10/2011	18:24	N Cráter	1.2	1.4	2.1



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

14/12/2011	23:17	N	E	10.1	9.9	2.0
------------	-------	---	---	------	-----	-----

Las localizaciones epicentrales de eventos tipo LP y tornillos, realizadas utilizando la atenuación de las amplitudes sísmicas, se concentraron principalmente en el área del cráter actual. En total se atenuaron 557 eventos LP (el 70 % del total de eventos LP registrados) y 70 eventos tipo Tornillo (el 78 % del total). Las figuras 33 y 34 muestran estas localizaciones.

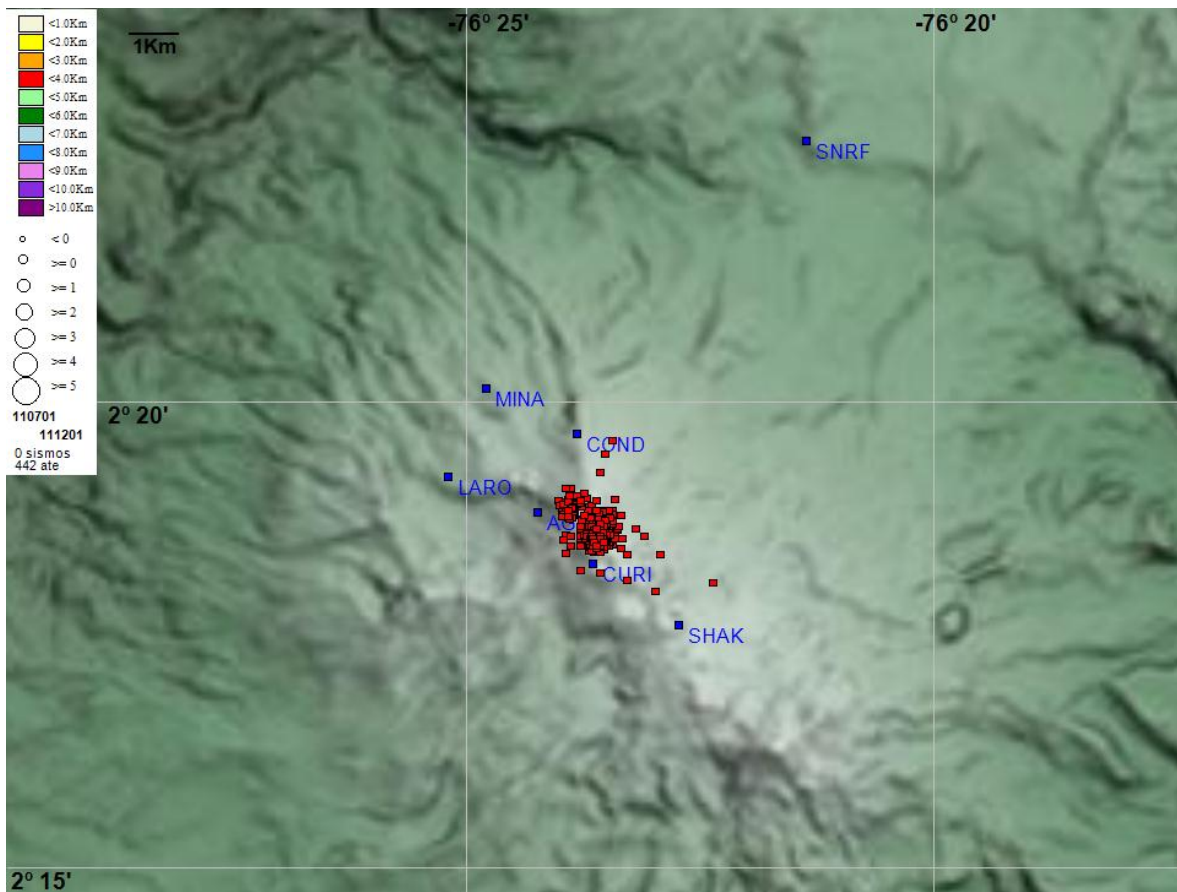


Figura 33. Mapa de localización de los eventos LP, durante el segundo semestre de 2011, en el volcán Puracé.



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



Figura 34. Mapa de localización de los eventos tipo Tornillo, durante el segundo semestre de 2011, en el volcán Puracé.

2.2.2. Actividad sísmica relevante registrada durante el segundo semestre de 2011. El volcán Puracé mostró un comportamiento estable en cuanto a la actividad sísmica registrada durante el segundo semestre de 2011, observándose un claro dominio de la sismicidad asociada al movimiento y tránsito de fluidos dentro de los conductos internos del volcán, en la figura 35 se observa que durante todo el año 2011 los eventos LP fueron dominantes en la sismicidad de este complejo volcánico. Como se puede observar en la figura 38, los eventos LP estuvieron caracterizados por presentar frecuencias dominantes (asociadas a sus máximas amplitudes), principalmente, en un rango entre 2 Hz y 6 Hz (el 58 % del total eventos LP se ubica en este rango).

Los eventos tipo Tornillo estuvieron presentes durante todo el año 2011, con una tasa de ocurrencia de 15 eventos por mes; este tipo de sismicidad se asocia principalmente a una respuesta del sistema hidrotermal a la recarga producida por las aguas lluvias. Los eventos tipo Tornillo presentan un registro de forma de onda aparentemente homogéneo en el contenido de frecuencias y una gran duración con decaimiento lento de coda.



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

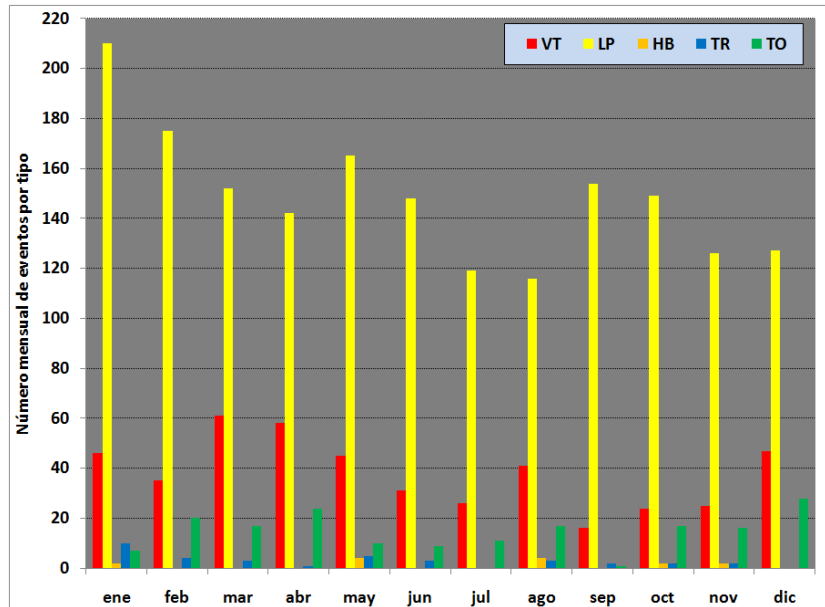


Figura 35. Número mensual de eventos sísmicos por tipo, volcán Puracé, año 2011.

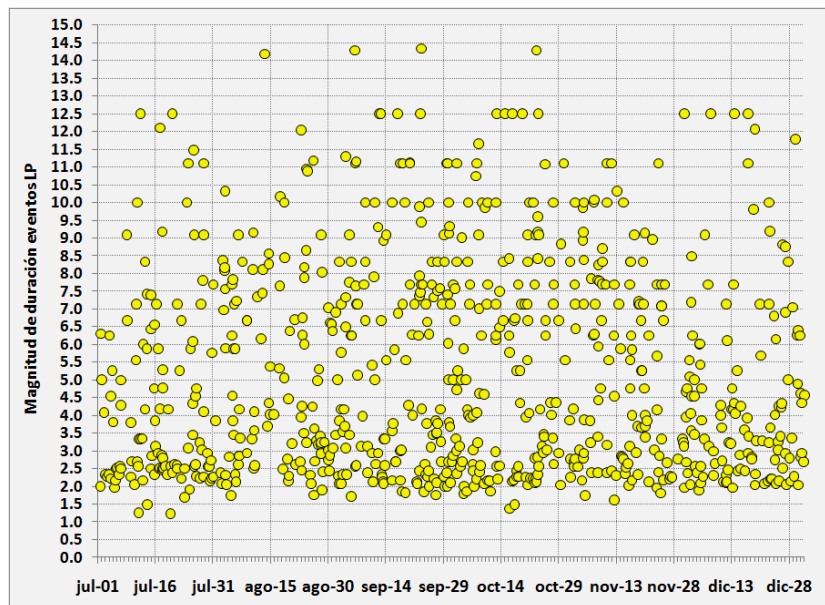


Figura 36. Frecuencia asociada a la máxima amplitud en eventos LP, segundo semestre de 2011.



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

La sismicidad tipo TO se caracterizó por ser muy energética y presentar picos de frecuencias dominantes en su espectro, las cuales se diferenciaron básicamente en dos familias: una con frecuencias dominantes que oscilaron entre 6 Hz y 7 Hz, que corresponde al 74% del total; y otra, con frecuencias dominantes entre 8 y 9 Hz (el 20 % del total). No obstante, cabe anotar que en algunos de estos eventos están presentes ambos rangos de picos de frecuencia. En la figura #12 se puede observar el registro de algunas de las señales más representativas de este tipo de sismicidad, registradas durante el segundo semestre de 2011. La figura #13 muestra el comportamiento de las frecuencias dominantes (de acuerdo a su espectro) de los eventos TO durante todo el año 2011.

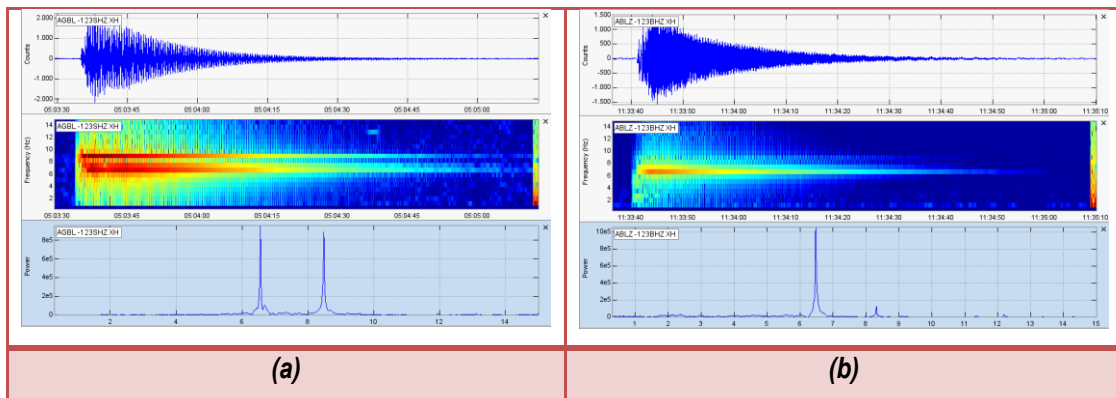


Figura 37. Registro sísmico que comprende: la señal sísmica, el espectrograma de la misma y su respectivo espectro de frecuencias. (a) Tornillo registrado el 29 de agosto, a las 5:03 UT. (b) Tornillo registrado el 14 de diciembre, a las 11:13 UT. Estación sísmica Agua Blanca, ubicada a 1 km al nor-noroeste del cráter.



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

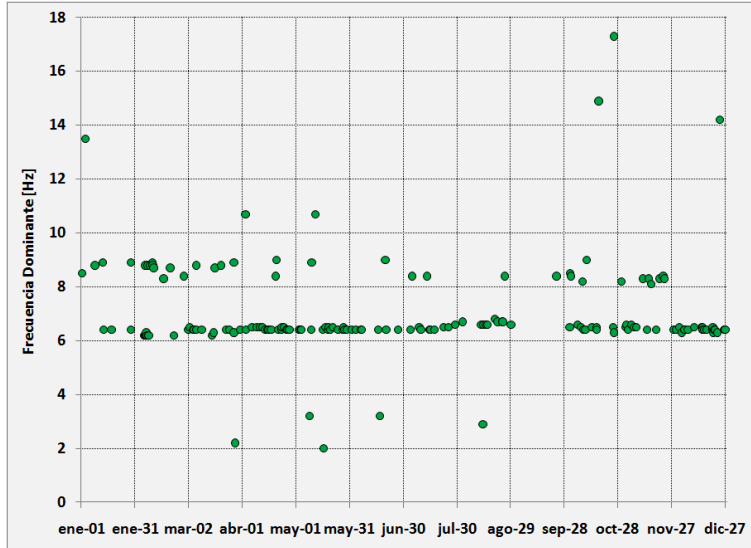


Figura 38. Histograma de frecuencias dominantes (de acuerdo al espectro de cada señal) para eventos tipo Tornillo registrados durante el año 2011.

En cuanto a la sismicidad asociada a procesos de fracturamiento de roca, registrada durante el segundo semestre de 2011 en proximidades al cráter actual, se destaca la ocurrencia de cuatro eventos con magnitudes locales iguales o mayores a 1.5 (Tabla 9), siendo el más relevante el evento del 7 de julio a las 13:26 UT, el cual alcanzó una magnitud local de 2.2 y presentó una profundidad superficial de 1.7 km respecto al nivel de referencia (Figura 39).

Tabla 9. Características principales de los eventos tipo VT registrados en el volcán Puracé en la zona del cráter, durante el segundo semestre de 2011 y que presentaron magnitudes locales mayores o iguales a 1.5.

Fecha	Hora UT	Dirección respecto al Cráter	Dist. al Cráter [Km]	Prof [Km]	Magnitud Local
07/07/2011	13:26	Cráter	0.7	1.7	2.2
01/10/2011	18:24	N Cráter	1.2	1.4	2.1
18/10/2011	17:46	Cráter	0.6	2.2	1.6
18/09/2011	09:07	Cráter	0.7	1.4	1.5



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

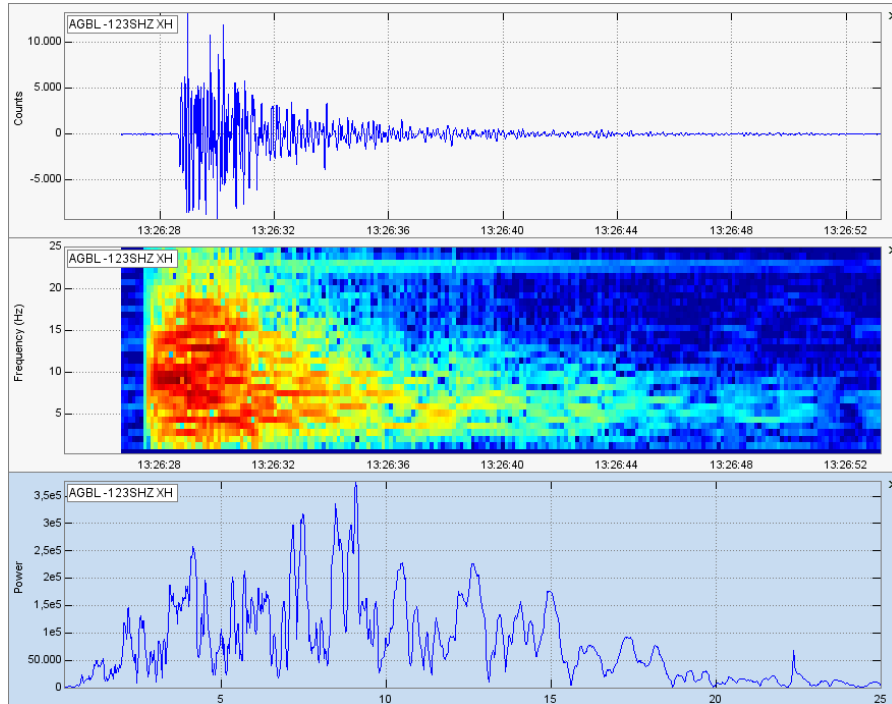


Figura 39. Evento de fractura del volcán Puracé, registrado el 7 de julio a las 13:26 UT. Señal digital, espectrograma y espectro de frecuencia para la estación sísmica Agua Blanca, ubicada a 1 km al nor-noroeste del cráter.

2.3. DEFORMACIÓN VOLCAN PURACÉ

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

Para medir los procesos deformativos que ocurren en un volcán (inflación o deflación), se emplean métodos geodésicos y topográficos de alta precisión (estaciones GNSS permanentes, vectores de nivelación, EDM, entre otros) y métodos electrónicos de alta sensibilidad (inclinómetros electrónicos); ya que las deformaciones volcánicas son muy pequeñas, del orden de los mm, décimas y centésimas de mm y en microradianes (variación vertical de 1 mm en una línea de 1 km de longitud).



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

Durante el segundo semestre de 2011, se contó con el funcionamiento de los 3 inclinómetros electrónicos, se realizaron ocupaciones de las líneas EDM y se instalaron tres estaciones GNSS permanentes en el volcán Puracé (no se realizaron ocupaciones de los vectores de nivelación).

Tabla 10. Características de la red de vigilancia de deformación para el Volcán Puracé.

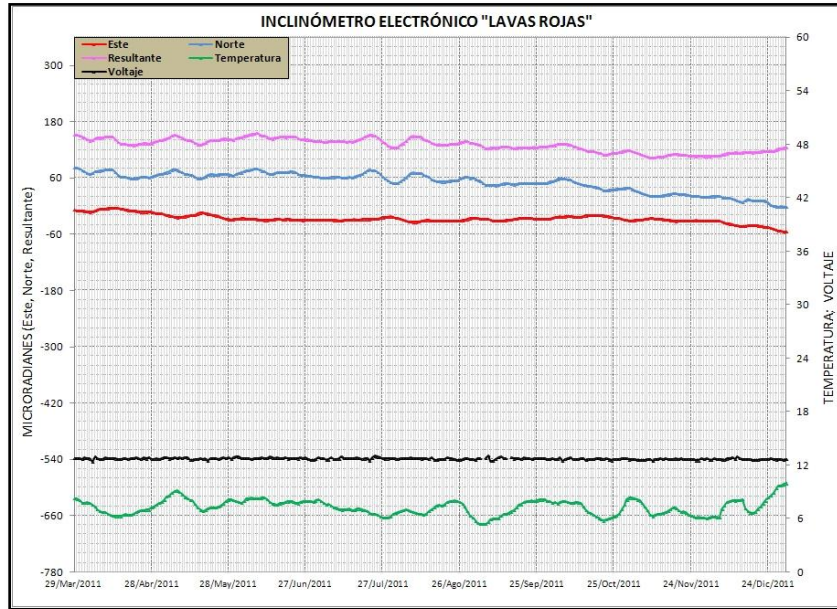
Nombre	Tipo	Latitud N	Longitud W	Altura (msnm)	Distancia al Cráter (km)
Guañarita	Inclinómetro Electrónico	2°19'30.3"	76°23'46.9"	4248	1.24 N
Curiquinga	Inclinómetro Electrónico	2°18'6.50"	76°23'28.5"	4482	1.42 SE
Lavas Rojas	Inclinómetro Electrónico	2°19'01.7"	76°24'59.4"	4046	2.42 E
Campamento	Vector de Nivelación	2°22'55.2"	76°25'15.6"	3050	8.10 NW
Estación	Vector de Nivelación	2°20'13.2"	76°23'49.2"	3933	2.50 N
Mina	Vector de Nivelación	2°20'16.8"	76°24'50.4"	3844	3.40 NW
Pilimbalá	Vector de Nivelación	2°22'19.2"	76°24'32.4"	3279	6.60 NW
Vinagre	Vector de Nivelación	2°19'48"	76°23'56.4"	3938	1.80 N
Base EDM (Mina)	Base EDM	2°19'53.9"	76°24'32.2"	4075	2.50 NW
Reflector 1RA	Reflector EDM	2°19'20.1"	76°24'40.5"	4087	2.03 NW
Reflector 1RB	Reflector EDM	2°19'26.3"	76°24'44.3"	4067	2.22 NW
Reflector 1RC	Reflector EDM	2°19'32.3"	76°24'48.7"	4019	2.43 NW
Guañarita	Estación GNSS Permanente	2°19'30.3"	76°23'46.9"	4248	1.24 N
Lavas Rojas	Estación GNSS Permanente	2°19'32"	76°24'50.7"	4051	2.48 NW
Agua Blanca	Estación GNSS Permanente	2°18'37.9"	76°24'1.70"	4380	0.72 W

2.3.1. Inclinometría electrónica. En general, los inclinómetros de la red de vigilancia del Volcán Puracé se han caracterizado por presentar fluctuaciones en sus dos componentes (Norte y Este); esto, debido a que su instalación física es a nivel superficial y por ello están propensos a grandes efectos ambientales y variaciones en magnitudes de decenas de micro radianes debidas a los diversos agentes atmosféricos y a deformaciones de la superficie de la roca expuesta causada por tensiones térmicas cuando el sol incide directamente sobre la misma. A la presente fecha se están generando líneas de comportamiento y en base a ello se puede decir que no se están presentando procesos deformativos importantes en los flancos del edificio volcánico.

2.3.1.1. 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 ligeras variaciones debidas efectos ambientales pero en general su línea base de comportamiento es estable en lo corrido del año. Su funcionamiento durante el segundo semestre fue del 91%.



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

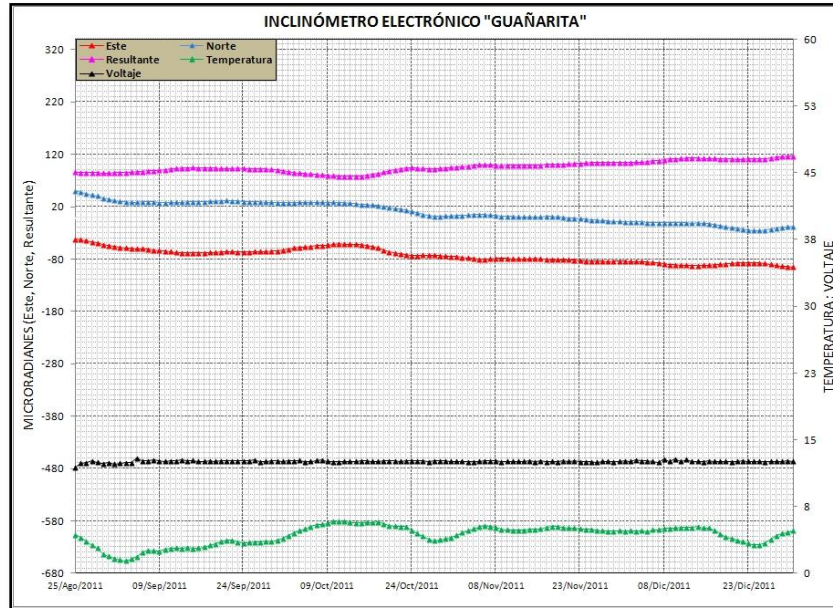


Comportamiento del inclinómetro electrónico Lavas Rojas.

2.3.1.2. Inclinómetro Guañarita. Localizado a 1.24 km al N del cráter del Volcán Puracé (4248 m.s.n.m), en el mes de agosto este inclinómetro fue reubicado con el fin de reducir el ruido en sus datos que posiblemente se debían a fenómenos de sitio. Sus dos componentes muestran variaciones debidas efectos ambientales pero en general su línea base de comportamiento es estable. Su funcionamiento durante el segundo semestre fue del 90%.



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

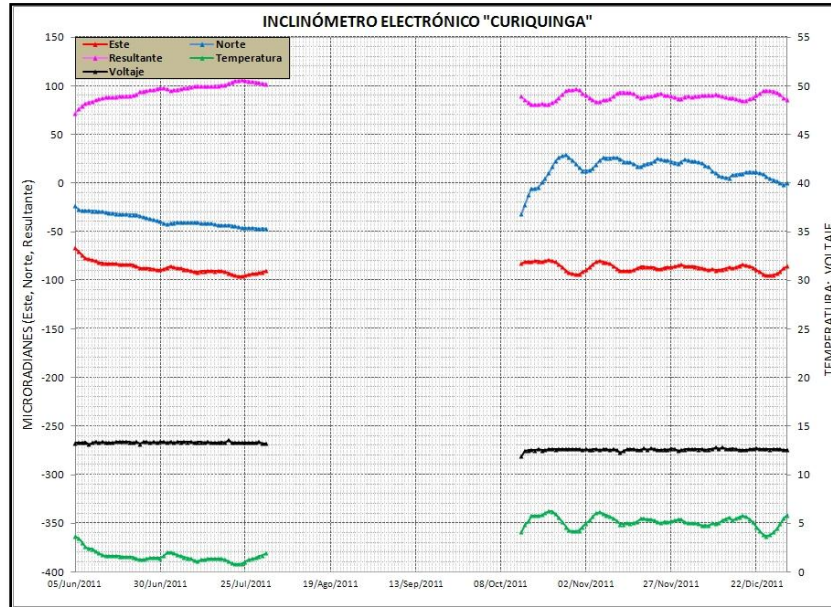


Comportamiento del inclinómetro electrónico Guañarita.

2.3.1.3. Inclinómetro Curiqinga. Localizado a 1.42 km al SE del cráter del Volcán Puracé (4482 m.s.n.m), Durante los meses de agosto y septiembre este inclinómetro estuvo por fuera debido a problemas eléctricos y de telemetría, en el mes de octubre se realizo mantenimiento a la estación y se cambio a una versión superior la tarjeta Gamatec del inclinómetro. Sus dos componentes muestran fluctuaciones asociadas a los cambios de temperatura en el lugar pero en general su línea base de comportamiento es estable. Su funcionamiento durante el segundo semestre fue del 70%.



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



Comportamiento del inclinómetro electrónico Curiquinga.

2.3.2. Medición Electrónica de Distancias – EDM. En los meses de Julio y noviembre de 2011 fue posible la ocupación de las líneas EDM del volcán Puracé, debido a que esta técnica de monitoreo en deformación esta recién implementada en este volcán, por ahora se están generando líneas bases y en próximas ocupaciones se podrá presentar una tendencia de las mismas.

2.3.3. Estaciones GNSS permanentes. En la actualidad, la aplicación de la tecnología GNSS (Sistema Satelital de Navegación Global), basada en el posicionamiento global por satélite, se constituye como la herramienta más versátil, eficaz y exacta para medir la deformación de la superficie de un volcán activo. La gran ventaja sobre las técnicas topográficas y geodésicas tradicionales que se ejecutan directamente sobre el volcán, es el registro continuo de información y la operación remota.

Actualmente el volcán Puracé cuenta con tres estaciones GNSS permanentes para monitorear la deformación de la corteza del edificio volcánico. Durante el segundo semestre de 2011 el funcionamiento para las mismas fue del 98%. Respecto al procesamiento de la información, se puede decir que por ahora las estaciones se



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

encuentran en un período de estabilización y se están generando líneas base de comportamiento; el tipo de procesamiento que se ha realizado hasta ahora es diferencial, tomando como estación de referencia GNSS LARO y utilizando el software “Trimble 4D Control”, los resultados se muestran a continuación:

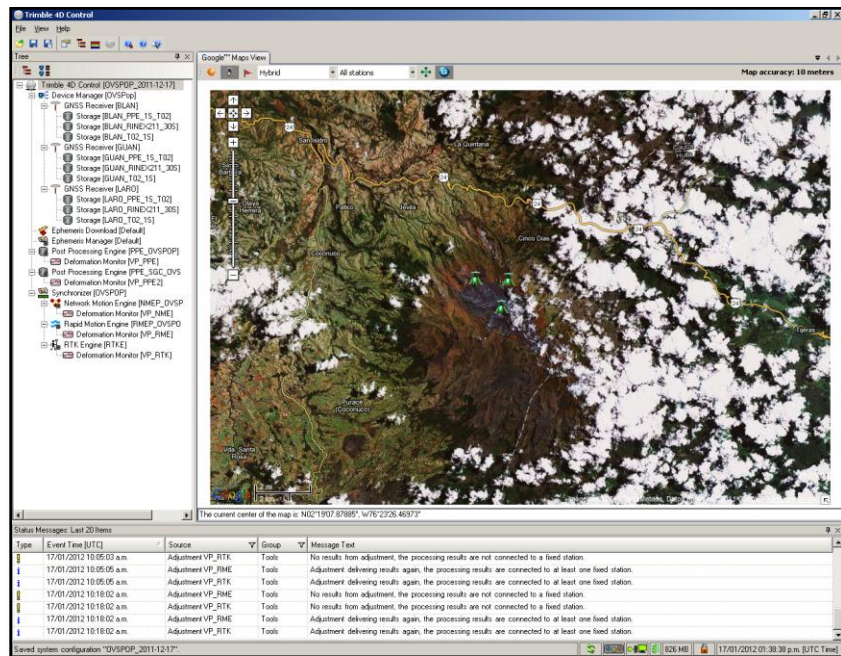


Figura 40. Detalles del software de procesamiento “Trimble 4D Control”.



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

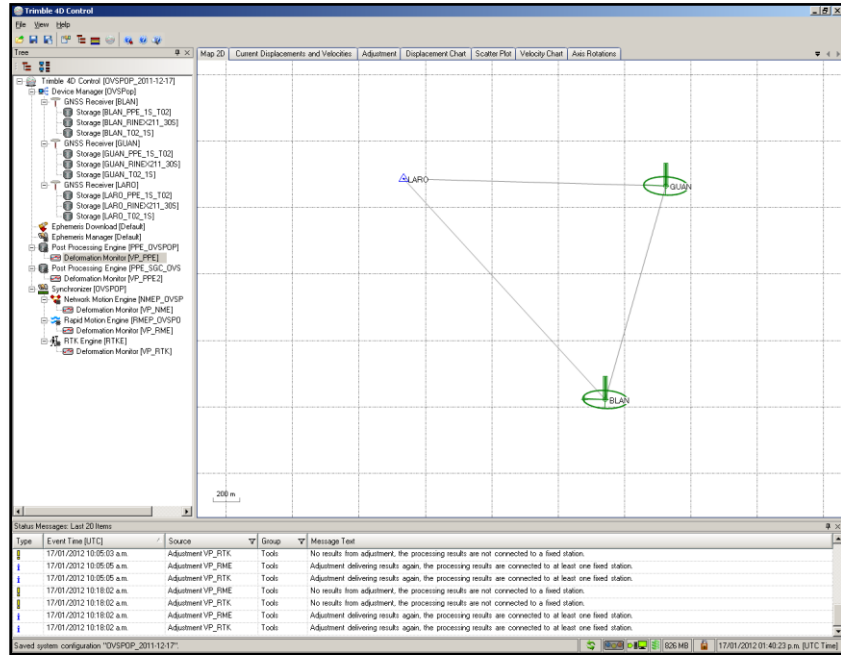


Figura 41. Detalles de la estación GNSS de referencia y de las GNSS de monitoreo.

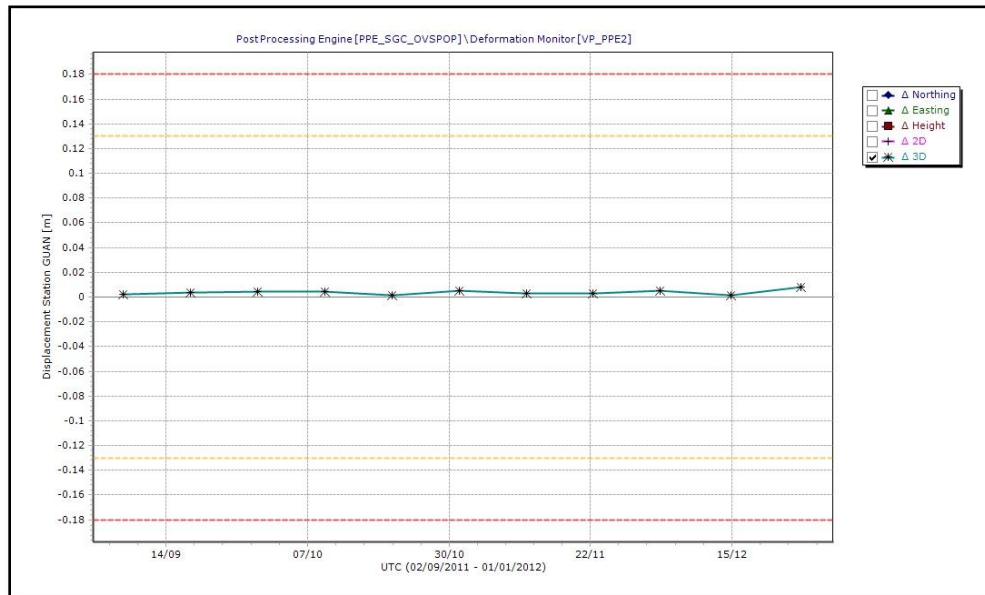


Figura 42. Post-procesamiento estación GNSS permanente Guañarita.



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

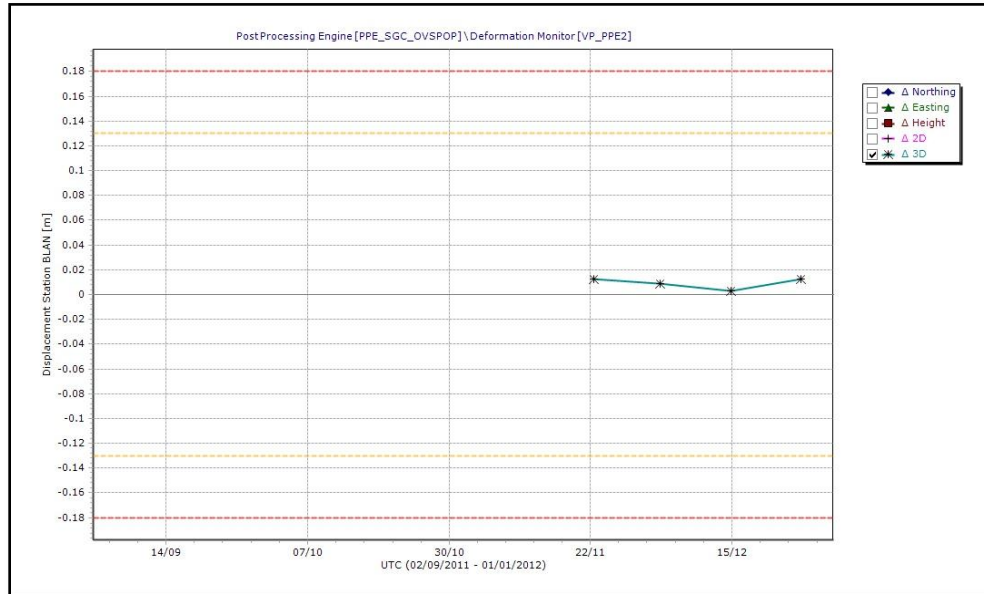


Figura 43. Post-procesamiento estación GNSS permanente Agua Blanca.

2.4. MAGNETOTELURICA

2.4.1. Potenciales eléctricos espontáneos. El método geofísico de campo natural de Potencial Eléctrico Espontáneo (PE) se ha implementado como una metodología dentro de la vigilancia volcánica, ya que los volcanes tienen dos fuentes de generación de señales PE: una por el sistema hidrotermal (para volcanes activos) y otra por el sistema hidrogeológico.

Para un volcán activo, el hecho de contar con una cámara magmática, permite que los fluidos dentro de este magma, o los que se ponen en contacto con él, incrementen su temperatura y generen movimientos ascendentes dando origen a las señales PE.

Se pretende instalar estaciones de monitoreo periódico alrededor del edificio volcánico, con las cuales se puede hacer un seguimiento a las variaciones de este tipo de señales y que, a partir su análisis y de la correlación con otros parámetros de la vigilancia, permitan hacer una evaluación de la actividad volcánica.



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

El día 14 de septiembre de 2011, se instaló en el volcán Puracé una estación para la detección de potenciales eléctricos espontáneos (PE), ubicada a 1.2 Km al nor-nororiente del cráter (4323 msnm) denominada Cóndor (Figura 44).

Una estación típica de medición de PE consta de dos ejes, dispuestos perpendicularmente, consistentes en dos sensores que son electrodos no polarizados, es decir, que están libres de potenciales causados por la acción electroquímica entre el electrodo y el terreno, permitiendo medir el gradiente del potencial eléctrico espontáneo generado en el área de estudio.

Entre el día de la instalación (14 de septiembre) y el 16 de noviembre, se registró un fuerte comportamiento oscilante con valores extremos de -44 y 10 mV. Luego, los valores tendieron a permanecer estables hasta el 19 de diciembre con valores entre -1 y 5 mV, para luego mostrar un incremento progresivo hasta llegar a 12 mV para el 31 de diciembre. Se resalta que, por el momento, este equipo inicia una etapa de registro que busca establecer una línea base de comportamiento, la cual sea adecuada y permita identificar cambios posiblemente asociados a la actividad volcánica.

La figura 44 muestra un histograma del registro de la estación Cóndor entre el 14 de septiembre (fecha de su instalación) y el 31 de diciembre de 2011.



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

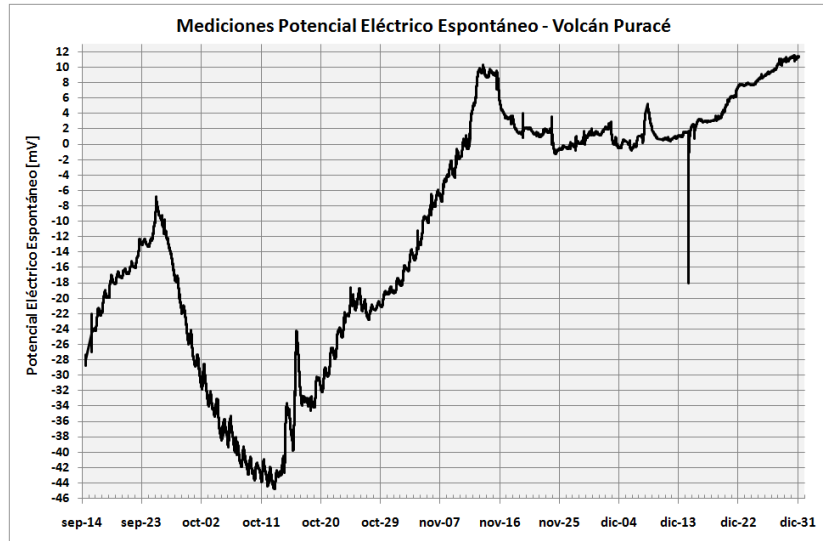


Figura 44. Potencial eléctrico espontáneo registrado por la estación Cóndor entre el 14 de septiembre y el 31 de diciembre 2011.

2.4.2. Magnetometría. Durante el segundo semestre de 2011, el magnetómetro Laguna mostró un comportamiento relativamente estable; su campo magnético resultante local registró valores en su línea base, en promedio, alrededor de 50 a 60 nano-Teslas (nT). Se observaron ciclos de fluctuaciones día-noche, debidos a las variaciones de radicación solar, junto con fluctuaciones más esporádicas, asociables a tormentas solares, consistentes en eyección de masa de la corona solar (CME, por sus siglas en inglés: *Coronal Mass Ejection*).

El día 5 de agosto dejaron de adquirirse sus señales en la sede del OVSPPOP por problemas en su sistema telemétrico; la adquisición de datos se restableció el 22 de septiembre de 2011.

Las principales tormentas solares registradas de julio a diciembre de 2011 se produjeron los días 11 de julio, entre el 29 y el 30 de julio, el 26 y 27 de septiembre, entre el 24 y el 26 de octubre, del mismo modo, entre el 28 y el 29 de noviembre y finalmente el 21 de diciembre.

Estos fenómenos se corroboraron teniendo en cuenta los datos de de Campo Magnético Interplanetario (IMF, por sus siglas en inglés: *Interplanetary Magnetic Field*) registrados por el magnetómetro AceRt acoplado al satélite GOES y la estación Kourou (Guyana Francesa) del *Instituto Central de Magnetismo Terrestre*.



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

La figura 45 muestra un histograma de los datos registrados por la estación Laguna, junto con los datos de la estación Kourou (Guyana Francesa), el magnetómetro satelital AceRt y la estación Cóndor para medición de PE en el volcán Puracé.

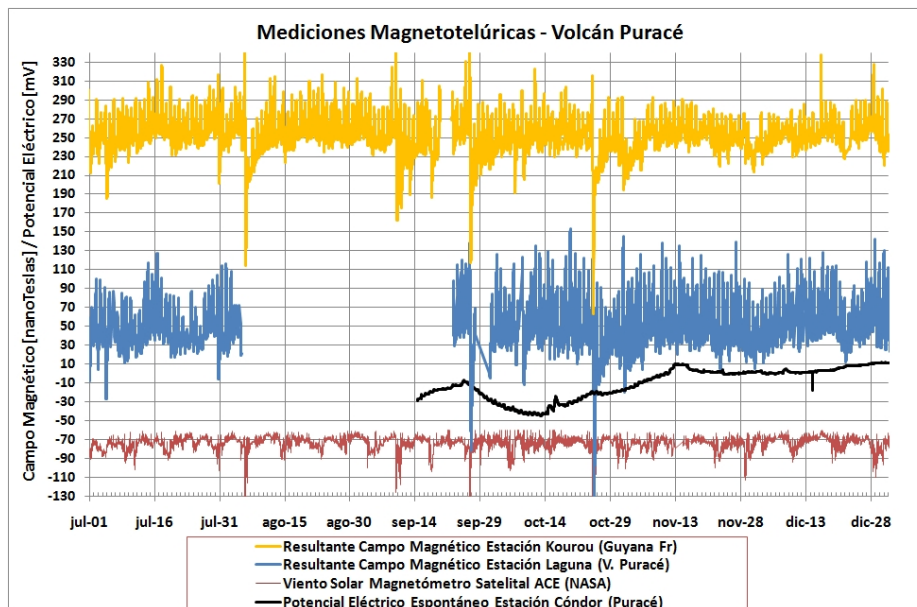


Figura 45. En azul: Resultante del campo magnético local para la estación Laguna. En rojo: Campo Magnético Interplanetario (IMF), registrado por el magnetómetro AceRt, acoplado al satélite GOES. En Naranja: Campo Residual de la resultante del campo magnético local para la estación Kourou en Guyana Francesa. En negro: Datos de la estación de potenciales eléctricos espontáneos Cóndor del volcán Puracé.

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

2.4.3. Sobrevuelos. Durante el segundo semestre de 2011 se efectuó un sobrevuelo al volcán Puracé y la Cadena de Los Coconucos, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. Durante éste no se observaron cambios en la actividad superficial del volcán Puracé que se relacionaran con la actividad registrada en otras metodologías de monitoreo.



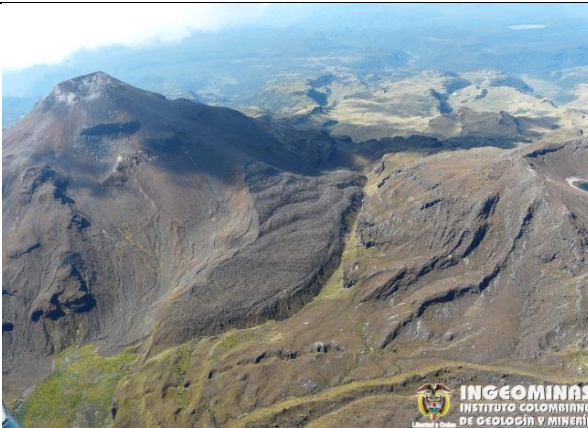
**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO
POPAYÁN**



(a). Detalle del cráter Puracé desde el norte y su fumarola Lateral.



(b). Volcán Pan de Azúcar desde el nororiente.



(c). Volcán Pan de Azúcar, a la izquierda, y cráter Machángara a la derecha.



(d). Cadena volcánica de Los Coconucos desde el noroccidente. En plano inferior fumarola Lateral del v. Puracé con poca acción de los vientos.



(e). Killá desde el nororiente



(f). En primer plano, el Pan de Azúcar con delgada capa de nieve; al fondo, Pukará.



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



(g). En primer plano, el intrusivo de Killa; al fondo, el segmento de centros eruptivos explosivos de la cadena volcánica de Los Coconucos.



(h). Cráter Quintín.

2.4.4. Cámaras web. El monitoreo continuo de la actividad superficial se efectúa a través de dos cámaras web: Mina y Lavas Rojas, ubicadas a 2.5 km del cráter Puracé. El objetivo principal de estas cámaras es monitorear el comportamiento del campo fumarólico ubicado en la cima del flanco noroccidental. En el segundo semestre de 2011, no se observaron cambios destacables en la actividad superficial; la profusión de las columnas de gases fue constante, y la dirección de su dispersión se vio condicionada solamente por la incidencia del viento.

2.4.4.1. Cámara web Mina. Está ubicada a 2.5 km al noroccidente del cráter Puracé. En las imágenes captadas durante el segundo semestre de 2011, se aprecia la desgasificación normal del sistema volcánico, así como esporádicas nevadas que cubren de escarcha la parte alta del volcán. Algunas de las imágenes capturadas por este instrumento se muestran a continuación (Figura 46).



(a). 7 de julio de 2011, 5:21 p.m.



(b). 2 de agosto de 2011, 7:03 a.m.



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

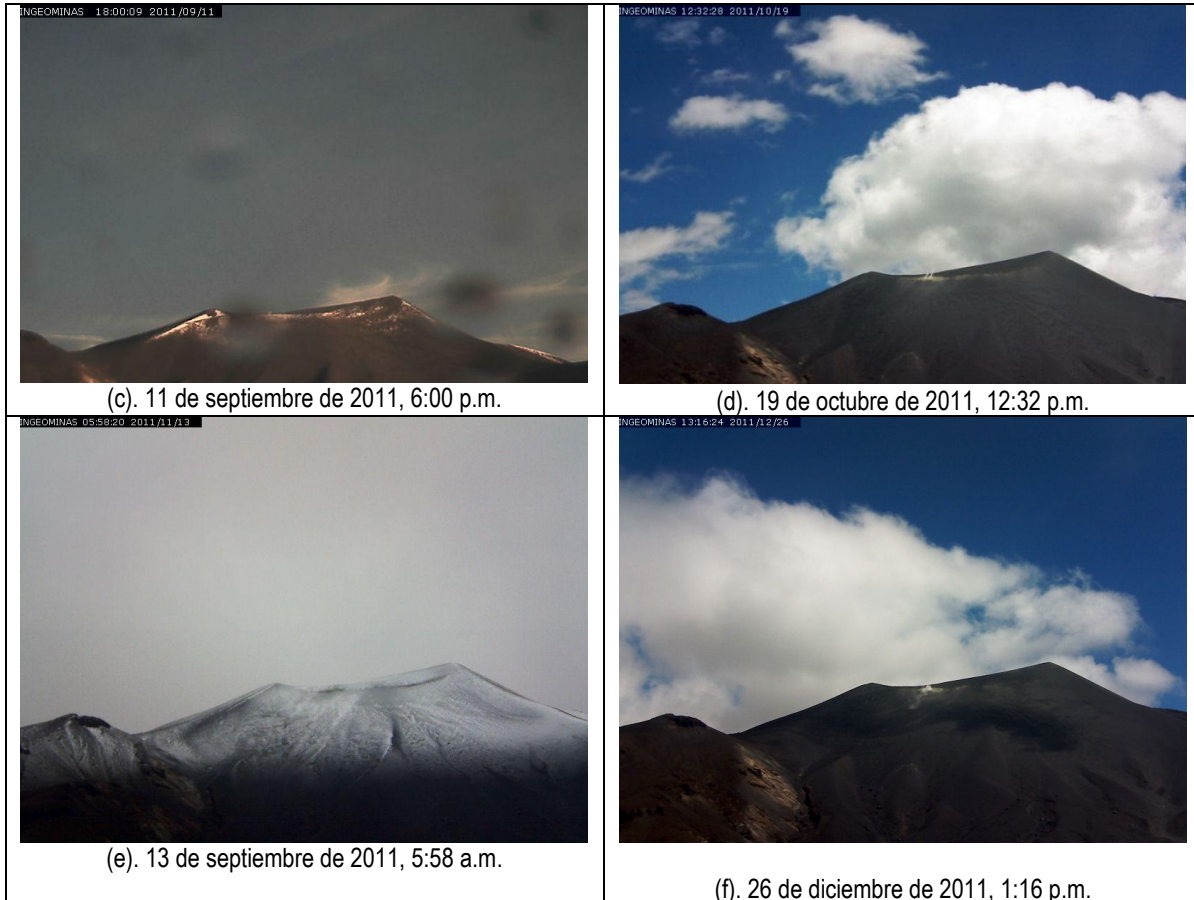
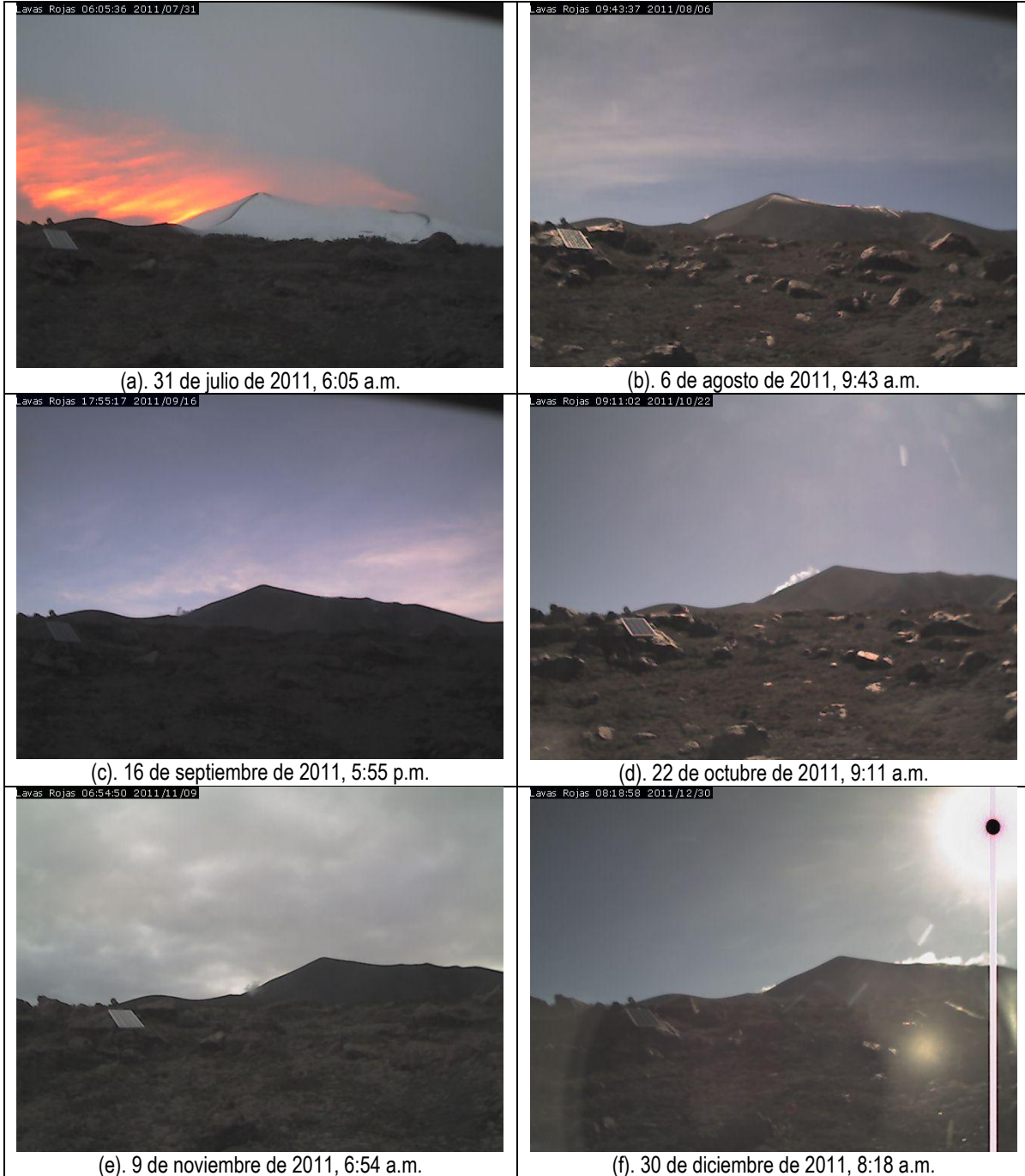


Figura 46. Variaciones temporales de la actividad superficial en el v. Puracé durante el II semestre de 2011.

2.4.4.2. Cámara web Lavas Rojas. Esta cámara, localizada a 2.5 km en dirección occidental respecto al cráter, permite tener una panorámica del flanco occidental del volcán Puracé. En las imágenes captadas entre julio y diciembre de 2011, se observa la actividad característica de la fumarola lateral y, ocasionalmente, depositaciones de escarcha sobre la superficie del volcán. Estas son las imágenes más representativas de este período de tiempo:



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



2.5. CONCLUSIÓN



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

El volcán Puracé continuó presentando un comportamiento estable durante el II Semestre de 2011, caracterizado por presentar bajos niveles en los diferentes parámetros de monitoreo. Por lo tanto, el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán mantiene su nivel de actividad en **NIVEL VERDE (IV): VOLCÁN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE.**

EL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, continúa atento a los cambios en el comportamiento que este volcán pueda presentar.



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

3. VOLCÁN SOTARÁ

El volcán Sotará (Figura 58) se encuentra ubicado en la Cordillera Central, en las coordenadas 2°12' de Latitud Norte y 76°31' de Longitud Oeste con una elevación máxima de aproximadamente 4420 m.s.n.m; conforma un complejo volcánico junto con los volcanes Cerro Gordo, Cerro Negro y Azafatudo.

El Sotará es un estrato volcán activo, rico en lavas (domina la actividad efusiva sobre la explosiva), posee calderas más o menos concéntricas de 4.5, 2.5 y 1 km. de diámetro respectivamente, varios domos exógenos (Figura 48) y por lo menos un volcán parásito (Cerro Gordo). Las Calderas externa y media se hallan parcialmente fosilizadas por la actividad posterior a ellas; y la más moderna (interna) se encuentra rota hacia la parte suroeste, originando con su derrumbe la formación de lahares.



Figura 47. Volcán Sotará visto desde el nor-noroccidente, a aproximadamente un kilómetro de la cima.



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



Figura 48. Domos somitales del volcán Sotará, vistos desde el nor-noroccidente. Al lado izquierdo de la foto se observa la pared interna del cráter. El más alto de los domos (Domo Norte) tiene aproximadamente 120 metros de alto. Para efectos de escala, se resalta con el círculo rojo a una persona ascendiendo al Domo Norte.

El comportamiento observado en el volcán Sotará durante el segundo semestre de 2011 fue estable, con bajos niveles en el registro de actividad sísmica, sin embargo se dio un particular registro de eventos tipo VT al NE (lo cual podría presumir orígenes tectónicos asociados a los sistemas de falla que atraviesan la zona), en el borde del valle de Paletará, donde se calcularon valores de magnitud local de hasta 2.7.

3.1. RED DE VIGILANCIA

Para el monitoreo de la actividad del volcán Sotará, se cuenta con una red de vigilancia compuesta por tres estaciones sísmicas, dos inclinómetros electrónicos y cuatro líneas para medición electrónica de distancias (EDM), Figura 49. La tabla 7 presenta sus principales características.

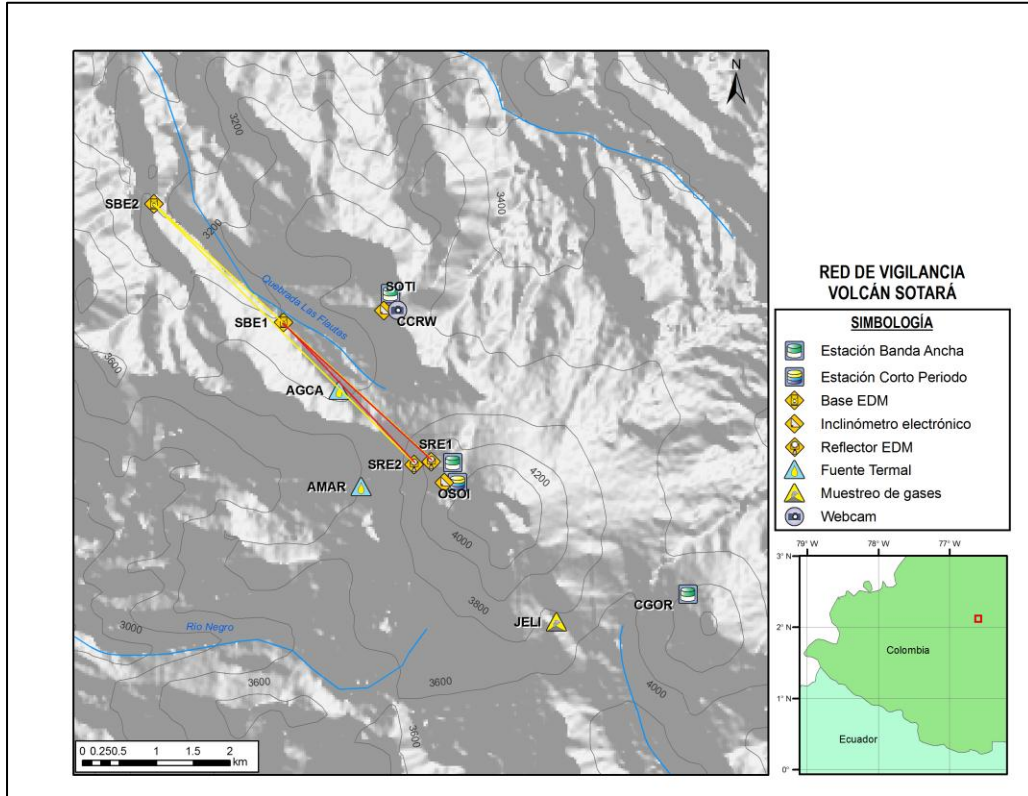


Figura 49. Mapa de las estaciones que conforman la red de vigilancia del volcán Sotará. Adicionalmente, se muestra la ubicación de los puntos de muestreo en la fuente termal Las Amarillas y el campo fumarólico Jelimá.



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

Tabla 11. Características principales de las estaciones que conforman la red de vigilancia sísmica del volcán Sotará

Nombre	Tipo de Sensor	Altitud [msnm]	Distancia al cráter [Km]	Ubicación respecto al cráter
Oso	Sismómetro de Corto Periodo	4060	0.8	Noroccidente
	Sismómetro de Banda Ancha			
	Webcam			
Sotará	Sismómetro de Banda Ancha	3856	3.1	Noroccidente
	Inclinómetro Electrónico			
	Webcam			
Cerro Gordo	Sismómetro de Banda Ancha	3874	2.9	Surorientado

En cuanto a la operatividad de la red, a excepción de la estación sísmica Cerro-Gordo (que no funcionó por encima de los valores mínimos requeridos durante todo el semestre, por problemas telemétricos), las estaciones restantes tuvieron un óptimo nivel de funcionamiento, con un promedio total del 83 % (Figura 50).

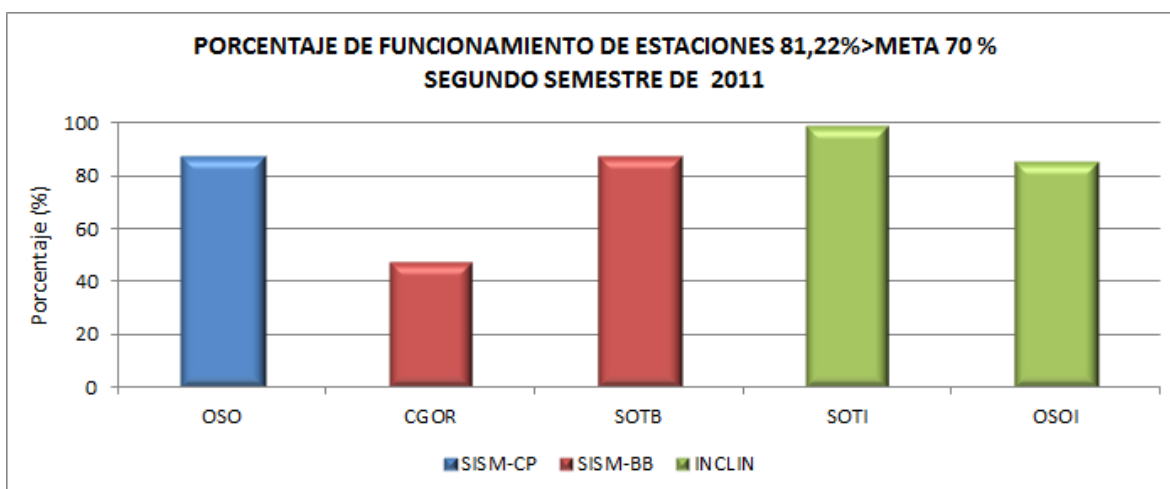


Figura 50. Porcentaje de funcionamiento de la red de vigilancia del volcán Sotará durante el segundo semestre de 2011.



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

3.2. ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN SOTARÁ

Durante el segundo semestre de 2011 se registró un total de 84 eventos volcano-tectónicos (VT), con un promedio de ocurrencia de 14 eventos/mes (0.46 eventos/día), representando un incremento del 110 % respecto al primer semestre de 2011.

La tabla 12 y la figura 51 resumen el comportamiento sísmico del volcán Sotará, durante el segundo semestre de 2011.

Tabla 12. Número de eventos registrados en el volcán Sotará durante el segundo semestre de 2011.

Fechas	Tipo de eventos	
	VT	LP
Sismicidad registrada durante el primer semestre de 2011	40	0
Sismicidad registrada durante el segundo semestre de 2011	84	0

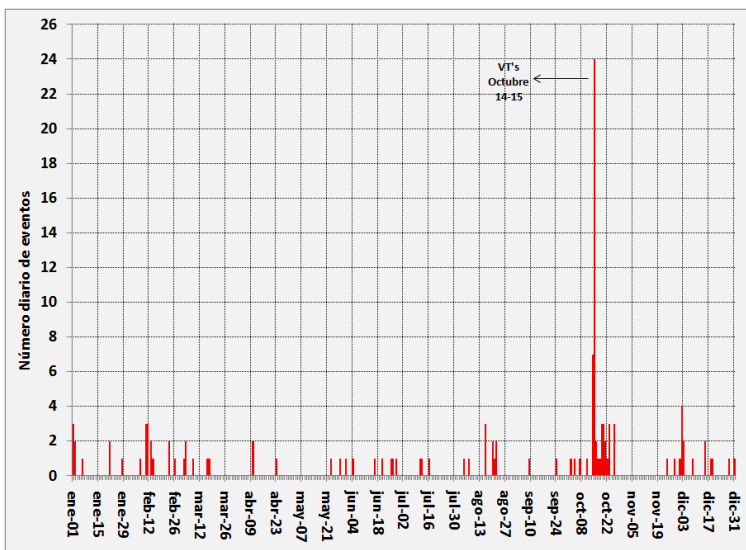


Figura 51. Número diario de eventos VT registrados en el volcán Sotará, durante el segundo semestre 2011



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

La energía liberada con los eventos registrados en este volcán durante el segundo semestre de 2011, se asocian a procesos de fractura (VT), con un valor acumulado semestral de $9.00E+07$ ergios, y un valor máximo de $2.32E+07$ ergios, asociado al registro de un evento el día 18 de diciembre, el cual tuvo una magnitud local de 3.2 grados en la escala de Richter.

Las figuras 52 y 53 muestran en detalle el comportamiento de la energía sísmica liberada diariamente y de la energía acumulada en el volcán Sotará, asociada y calculada para eventos VT registrados entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2011. Se puede notar en ellas que los cambios en pendiente se relacionan directamente con la ocurrencia de eventos tipo VT con magnitudes mayores que las del promedio general; sin embargo, dentro del contexto general de la actividad del volcán Sotará durante el segundo semestre de 2011, no representaron cambios importantes en su dinámica.

Nota: con el objetivo de visualizar mejor los detalles en los cambios de energía, las gráficas se realizan con la raíz cuadrada de los valores. Así mismo ocurre con los valores reportados en este capítulo.

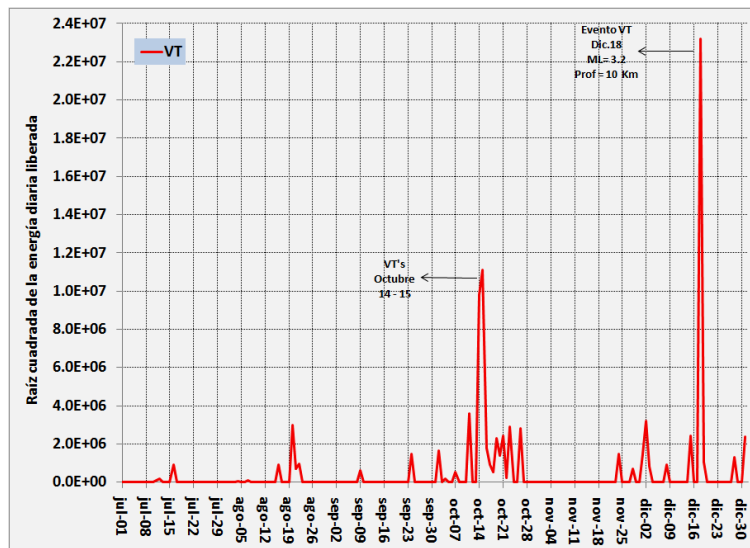


Figura 52. Energía diaria liberada por los eventos VT en el volcán Sotará, durante el segundo semestre de 2011.



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

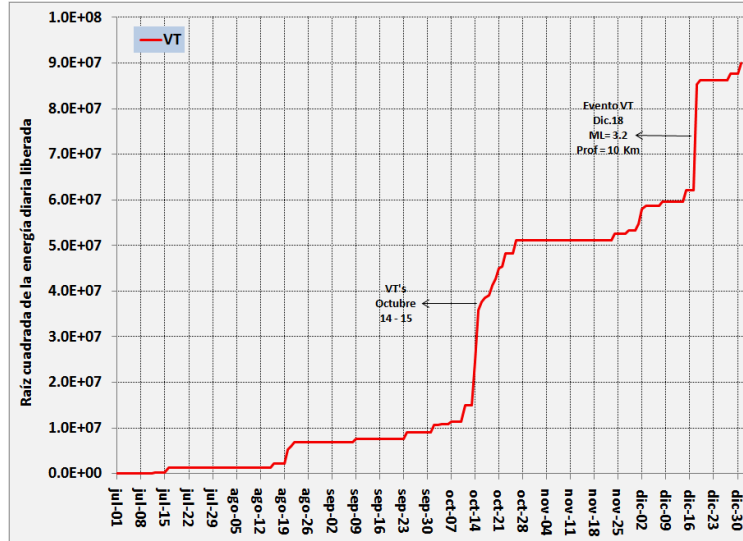


Figura 53. Energía diaria acumulada para eventos VT en el volcán Sotará, segundo semestre de 2011.

3.2.1. Eventos asociados a fracturamiento de roca en el volcán Sotará. En el periodo del 1 de julio al 31 de diciembre de 2011, se presentaron un total de 84 eventos asociados a fracturamiento de roca, de los cuales se obtuvo la localización de 78 eventos (el 93 % del total).

Se resalta el registro de catorce eventos ocurridos con magnitudes locales mayores o iguales a 1.5 en la escala de Richter, con profundidades que oscilan entre 5 y 16 km, principalmente ubicados al NE del volcán Sotará, cerca de la zona conocida como Valle de Paletará, el cual ha sido descrito como un antigua estructura volcánica (Caldera) y donde confluyen diversos trazos de falla regionales. Ver tabla 14 y figura 54.



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

Tabla 13. Parámetros de localización de eventos VT registrados del 1 de julio al 31 de diciembre de 2011, con magnitudes mayores o iguales a 1.5.

Fecha	Hora UT	Dirección respecto al cráter	Dist. al Cráter [Km]	Prof [Km]	Magnitud Local
18/12/2011	14:02	S W	23.7	9.6	3.2
15/10/2011	09:56	N E	8.5	6.9	2.7
14/10/2011	19:23	N E	6.6	6.8	2.5
11/10/2011	10:16	N E	7.4	6.0	1.8
21/10/2011	17:36	N E	3.8	15.6	1.8
15/10/2011	09:59	N E	6.9	6.1	1.7
15/10/2011	11:31	N E	8.8	6.9	1.7
15/10/2011	16:36	N E	6.7	6.9	1.7
16/10/2011	02:44	N E	7.0	6.3	1.7
23/10/2011	06:58	N E	4.7	6.7	1.6
01/12/2011	19:52	N E	5.5	5.5	1.6
14/10/2011	23:57	N E	9.0	6.8	1.5
19/10/2011	15:34	N E	15.6	7.0	1.5
02/12/2011	05:21	N E	5.4	5.8	1.5

Las características más destacadas de los sismos VT registrados por el volcán Sotará, durante el segundo semestre de 2011, fueron las siguientes:

- Magnitudes locales entre 0.1 y 3.2 (Figura 54a).
- Diferencia de tiempo entre ondas P y S (S-P) entre 0.6 y 4.9 segundos (Figura 54b).

Las localizaciones obtenidas para el segundo semestre de 2011 muestran una ocurrencia de eventos de fractura, principalmente en cercanías al borde de la falla Moras (valle de Paletará), con profundidades entre 2 y 16 km (Figura 54).



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

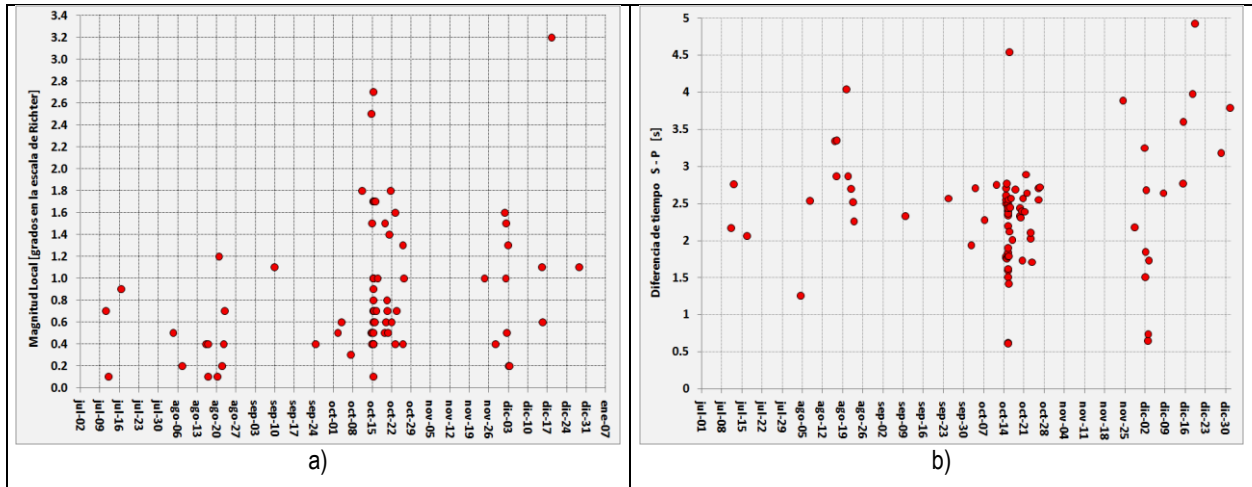


Figura 54. a) Distribución de la magnitud local y b) distribución de la S-P para la sismicidad VT del Volcán Sotará, durante el segundo semestre 2011.

3.2.2. Mapa de localización de eventos sísmicos. Es importante resaltar la interacción de la falla Moras con la actividad del volcán Sotará, evidenciando una componente tectónica ligada a la actividad volcánica del mismo, como se puede apreciar en el mapa de localización de la figura 55, donde se evidencia una dirección preferencial NE en la ubicación de los sismos VT.



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

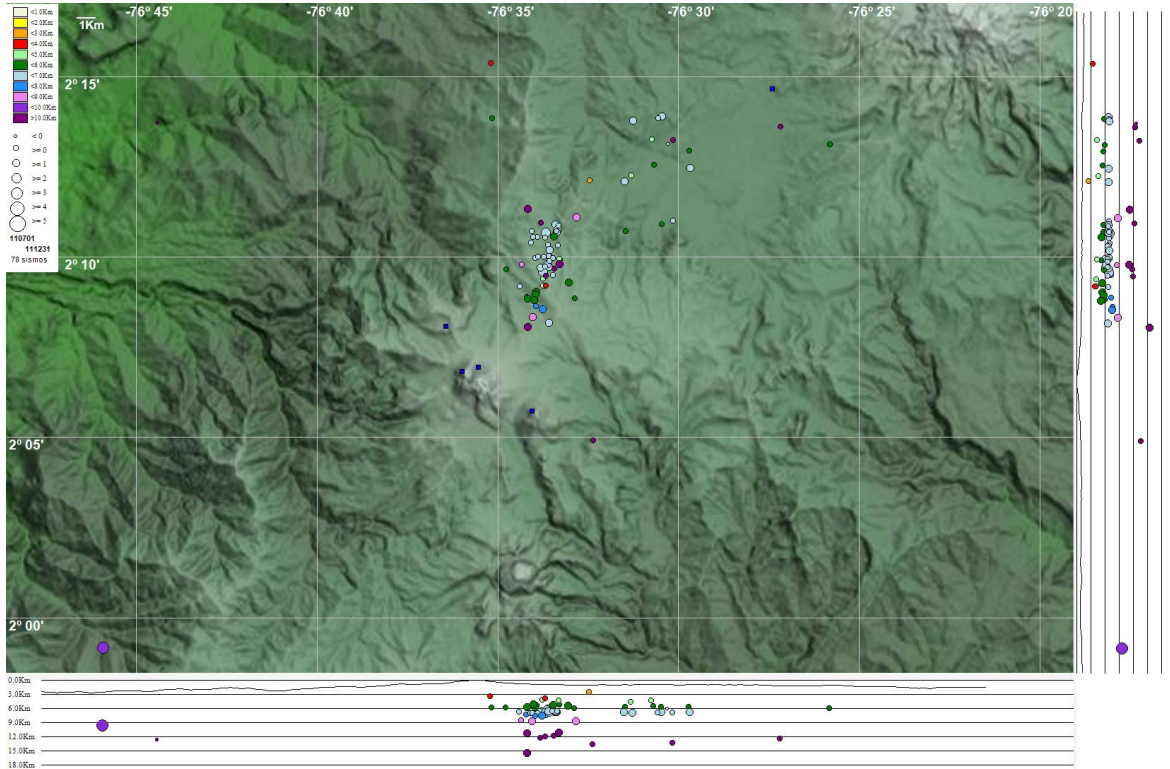


Figura 55. Localización de eventos VT del volcán Sotará del segundo semestre de 2011. La magnitud de la sismicidad se representa según el tamaño de los círculos que simbolizan los sismos y su color, según el color de los mismos, de acuerdo a las convenciones arriba a la izquierda. En los cortes EW (abajo) y NS (derecha), cada línea representa 2.5 km de profundidad.

Dentro del registro de este período, se resalta la ocurrencia de un evento el día 18 de diciembre de 2011, a las 9:02 a.m., se presentó un sismo VT de magnitud local 3.2 en la escala de Richter, a una profundidad de 9.6 km, con epicentro a 21 km del volcán y Sotará y reportado como sentido en la cabecera municipal de La Vega, departamento del Cauca. En la figura #7 se muestra el registro sísmico de este evento.



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

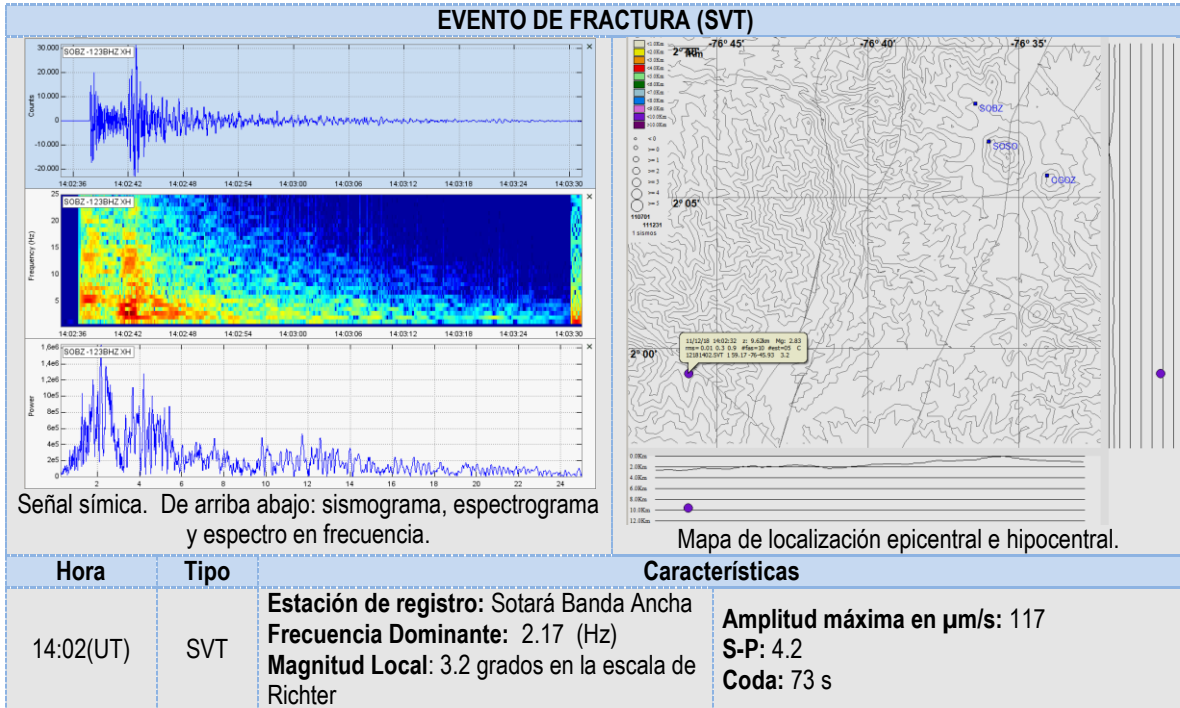


Figura 56. Evento de fractura del 18 de diciembre de 2011.

3.3. DEFORMACIÓN VOLCÁN SOTARÁ

Durante el segundo semestre de 2011, se contó con el funcionamiento de los inclinómetros electrónicos (Sotarà y Oso), pero debido a las adversas condiciones climáticas, no fue posible la ocupación de las líneas EDM del volcán Sotarà.

3.3.1. Inclinometría electrónica. En general, los inclinómetros de la red de vigilancia del Volcán Sotarà se han caracterizado por presentar fluctuaciones en sus dos componentes (Norte y Este), esto, debido a que su instalación física es a nivel superficial y por ello están propensos a grandes 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 se puede decir que no se están presentando procesos deformativos importantes en el edificio volcánico.

3.3.1.1. Inclinómetro Sotarà. Localizado a 3.3 km al NW del cráter Volcán Sotarà (3795 m.s.n.m), sus dos componentes muestran ligeras variaciones debidas a efectos ambientales; hasta el momento, no se han



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

identificado procesos deflacionarios o inflacionarios en el volcán (línea base de comportamiento es estable). Su funcionamiento durante el segundo semestre fue del 98% (Figura 58).

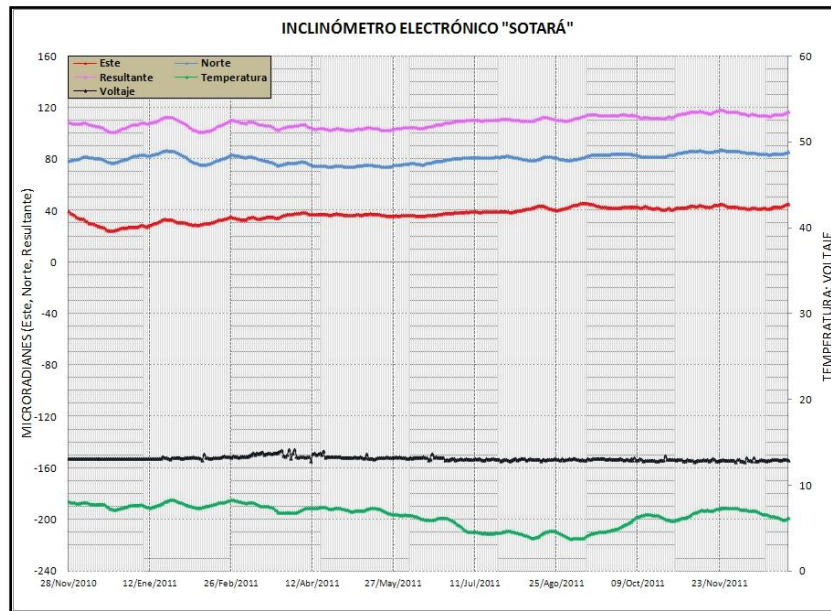


Figura 57. Comportamiento del inclinómetro electrónico Sotarà.

3.3.1.2. Inclinómetro Oso. Localizado a 1.2 km al NW del Volcán Sotarà (4153 m.s.n.m), después de un ligero comportamiento ascendente en las dos componentes desde enero hasta agosto del presente año, se observa que a partir de agosto hasta principios de noviembre la componente “este” presenta un descenso de 15 μ rad y la componente “norte” un descenso de 60 μ rad, posteriormente a este suceso, se observa estabilidad en las dos componentes. Hasta el momento, este comportamiento no muestra correlación con las demás técnicas de vigilancia, y por lo tanto se puede asociar a un fenómeno de sitio, influenciado por diversos parámetros meteorológicos (los cuales posiblemente generan tensiones térmicas en la roca de cimentación e incremento en la presión de poro en el suelo adyacente al inclinómetro debido a las fuertes precipitaciones por la temporada invernal). Su funcionamiento durante el segundo semestre fue del 89%.



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

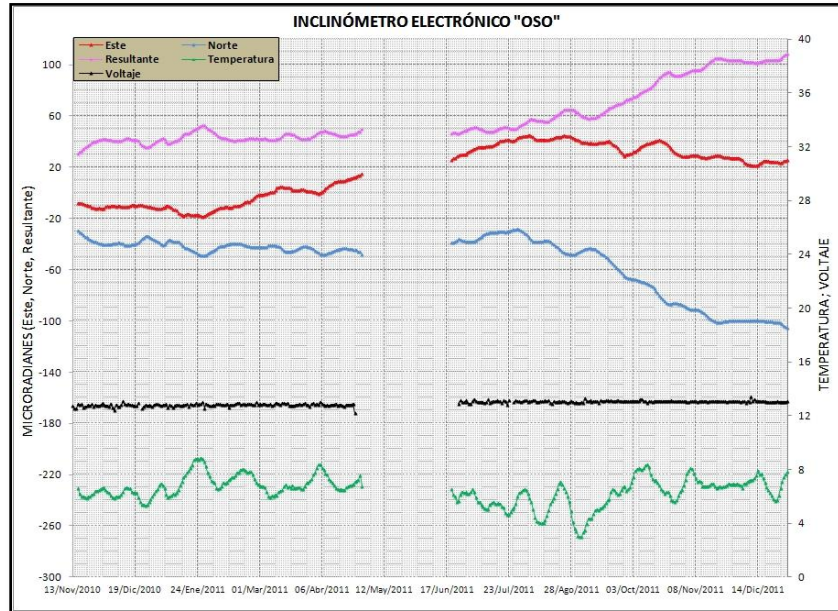


Figura 58. Comportamiento del inclinómetro electrónico Oso.

3.4. ACTIVIDAD SUPERFICIAL

3.4.1.1. Cámara web Cerro Crespo

Esta cámara, instalada desde marzo pasado a 3 km al NNW del edificio volcánico, envía una imagen cada minuto al servidor ftp del Observatorio de Popayán, y éstas se publican en la página web del Observatorio.

Durante el segundo semestre de 2011 no se detectaron cambios o indicios de actividad superficial en este volcán. A continuación se muestran algunas de las imágenes más importantes de este período de tiempo.



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



(a). 14 de julio de 2011, 8:16 a.m.



(b). 20 de agosto de 2011, 7:43 a.m.



(c). 15 de septiembre de 2011, 5:24 p.m.



(d). 19 de octubre de 2011, 9:10 a.m.



(e). 13 de noviembre de 2011, 10:53 a.m.



(f). 26 de diciembre de 2011, 1:45 p.m.



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

3.5. CONCLUSIÓN

En el segundo semestre de 2011 el volcán Sotará continuó presentando un comportamiento estable, con niveles bajos de actividad, la mayoría de los eventos sísmicos fueron distales del volcán; además no se apreciaron cambios deformativos que pudiesen ser asociados con la actividad del volcán. Por lo anterior, el nivel de actividad correspondiente a éste volcán se mantiene en **NIVEL VERDE (IV): VOLCÁN ACTIVO Y COMPORTAMIENTO ESTABLE.**

EI SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO - Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Popayán, continúa atento a los cambios en el comportamiento que este volcán pueda presentar.