



NOMBRE	DESCRIPCION	DOMINIO
IDENTIFICACIÓN		
Información de la citación		
CITACIÓN		
Nombre del responsable	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano
Tipo de responsable	Autor Corporativo	Autor corporativo
Nombre del responsable		Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto;
Tipo de responsable	Autor intelectual. Si hay varios autores hay que escribirlo cada uno.	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto;
Nombre del responsable		
Tipo de responsable	Procesador: persona encargada de recibir y organizar la información	Grupo de Trabajo Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto
Nombre del responsable		GRUPO TECNICO OVSPASTO
Fecha	De publicación/disposición tres primeras letras del mes/año	Ene/2012
Título		Boletín Semestral de Actividad de Volcanes de Nariño. Julio a Diciembre de 2011.
Edición	Primera versión.- Actualización conjunto de datos la numeración va del 0.1 al 0.9	0.1
Serie		No aplica
Identificador	En proceso de definición	
Descripción	Breve descripción del conjunto de datos, se destacan los objetivos, metodologías y productos entregados	Presentación de resultados y análisis de datos obtenidos del monitoreo continuo de la actividad de los volcanes Galeras, Azufral, Cumbal y Doña Juana, en áreas como: funcionamiento de estaciones, actividad sísmica, actividad superficial, muestreos geoquímicos, climatología y deformación. Se utiliza gráficas, tablas, esquemas, mapas y fotografías que ilustran el trabajo.
Uso/Información complementaria	Información básica sobre aplicaciones específicas donde el conjunto de datos ha sido o se está utilizando. Incluye opcionalmente lista de anexos, fuentes y documentos relacionados con el conjunto de datos.	
Programa-Proyecto		
Tipo de programa o proyecto	Cobertura macro y la capa a la cual pertenece el conjunto de datos según las estrategias institucionales.(Investigación, plan, programa, proyecto)	Proyecto
Nombre del programa/proyecto	Nombre del proyecto	Investigación y Monitoreo de la Actividad Volcánica (AME09 – 42).
Nombre del programa/Proyecto	Nombre del proyecto	
Periodo de tiempo	Lapso de tiempo que corresponde a la información contenida en el conjunto de datos	Julio /2011 a Diciembre /2011
Dominio Espacial		
	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto. Incluir área geográfica dada en km ² .	Zona de influencia – Volcanes de Nariño.



**SERVICIO
GEOLOGICO COLOMBIANO**
República de Colombia

NOMBRE	DESCRIPCION	DOMINIO
Coordenadas /límites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
Descriptores		
Descriptor de tema	Palabra o frase común que describe aspectos temáticos del conjunto de datos	Descriptores primarios: -Actividad Sísmica -Número diario -Energía diaria -Frecuencia -Localizaciones -Deformación -Variación -Emisiones -Flujo -Campo eléctrico -Campo magnético -Emisiones -Actividad Superficial -Temperaturas -Estación climatológica -Cenizas -Observaciones
Descriptor de lugar	Nombre de lugares geográficos cubiertos por el conjunto de datos. Nombre de zonas, regiones, municipios	-Zona de influencia – volcanes de Nariño: Galeras, Cumbal, Azufral, Doña Juana -Cono activo -Municipios de la carretera Circunvalar a Galeras -Pasto, Túquerres, Cumbal, Las Mesas
Código temático		Capas de información
Restricción de acceso	Limitaciones para el acceso del conjunto de datos incluye restricciones que aseguren protección de la privacidad o propiedad intelectual o limitaciones en la obtención del conjunto de datos.	Derechos de propiedad intelectual. Prohibida su reproducción total o parcial con fines comerciales. Incluye información básica para documentos e investigación
Muestra gráfica	Ilustración gráfica del conjunto de datos. Se especifica la dirección del computador, trayectoria, nombre y extensión del archivo.	Los datos se encuentran en el Servidor: \\Chapacual\Vigilancia\informes\informes_finales\VIGILANCIA\Boletines_semestrales\2011\bol_II_11
Calidad de los datos		
Informe general de calidad	Incluye conceptos sobre limitaciones, exactitud temática, contenido, normatividad	Se vigila y monitorea las diferentes manifestaciones de la actividad volcánica y sísmica en la zona de influencia del Volcán Galeras, en orden a entender los diferentes fenómenos internos que las producen y a un pronóstico de eventos eruptivos.
Distribución		
Distribuidor		
Tipo de producto	Artículo, boletín, fotografía aérea, mapa,	Boletín



**SERVICIO
GEOLOGICO COLOMBIANO**
República de Colombia

NOMBRE	DESCRIPCION	DOMINIO
	imagen satelital, informe técnico	
Proceso estándar de pedido		
Productos impresos	Identificación que tipo de producto impreso. Ej. mapa impreso a color	No aplica.
Forma digital		
Formato	Nombre, versión del formato Ejm: PDF.- Si no se encuentra en forma digital se escribe "No disponible"	El informe se encuentra en formato PDF
Opción de transferencia digital		
Dirección en línea	Dirección electrónica donde se puede obtener el conjunto de datos	http://www.ingegominas.gov.co/Pasto/Publicaciones/Informes-tecnicos/Informe-Semestral.aspx
Medio digital/Ubicación	Opciones del medio digital en el cual puede ser entregado en archivo digital, en el servidor de archivos.	Corpasto, Chapacual
Contacto		
Organización	Nombre de la organización	Servicio Geológico Colombiano.
Cargo/persona	Nombre e identificación del cargo o persona asociado al conjunto de datos	Asesores de Oficina de Servicio al Cliente
Sede		Bogotá
Dirección		Diag. 53 No. 34-53
Ciudad		Bogotá, D.C.
Departamento		Cundinamarca
País		Colombia
Teléfono		57-2221811/57-1-2220020
Fax		57-1-2220438
Correo electrónico		Cliente@ingegominas.gov.co



**SERVICIO
GEOLOGICO COLOMBIANO**
República de Colombia



**BOLETÍN SEMESTRAL DE ACTIVIDAD DE VOLCANES DE NARIÑO
JULIO A DICIEMBRE DE 2011**

Edición:

GRUPO TECNIO OBSERVATORIO VULCANOLOGICO Y SISMOLOGICO PASTO

San Juan de Pasto, febrero de 2012

República de Colombia

Servicio Geológico Colombiano



**SERVICIO
GEOLOGICO COLOMBIANO**
República de Colombia

**REPÚBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA
SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO**

**BOLETÍN SEMESTRAL DE ACTIVIDAD DE VOLCANES DE NARIÑO
JULIO A DICIEMBRE DE 2011**

Edición:

GRUPO TECNICO OBERVATORIO VULCANOLOGICO Y SISMOLOGICO PASTO

San Juan de Pasto, febrero de 2012



CONTENIDO

		Pág.
	INTRODUCCIÓN	1
	RESUMEN	2
2.	VOLCANES DE NARIÑO	4
2.1.	VOLCÁN GALERAS	5
2.1.1.	Red de vigilancia	5
2.1.2.	Sismología	12
2.1.3.	Deformación	34
2.1.3.1.	Inclinometría Electrónica	35
2.1.3.2.	Estaciones GNSS permanentes	42
2.1.3.3.	Medición Electrónica de Distancias- EDM	42
2.1.4.	Fisicoquímica	43
2.1.4.1.	Mediciones de flujo de emisión de SO ₂ con instrumentos scandoas y movildoas	43
2.1.4.2.	Mediciones de gas radón m ₂₂₂ en el suelo - línea Galeras	47
2.1.4.3.	Mediciones de gas radón m ₂₂₂ en el suelo - línea Barranco	49
2.1.4.3.1.	Instalación de estaciones de gas Radón en la Línea Barranco	49
2.1.4.3.2.	Proceso de instalación y equipos utilizados	49
2.1.4.3.3.	Ejecución de la Instalación	49
2.1.4.3.4.	Mediciones de gas radón m ₂₂₂ en el suelo	49
2.1.4.4.	Muestreo de aguas termales	52
2.1.4.4.1.	Procedimiento para el muestreo de Aguas Termales	53
2.1.5.	Actividad superficial y cambios geomorfológicos	56
2.1.6.	Imágenes térmicas	67
2.1.7.	Actividad tectónica especial registrada entre el 28 de septiembre y el 28 de octubre de 2011	68
2.1.8.	Conclusiones	70
2.2.	VOLCÁN DOÑA JUANA	72
2.2.1.	Red de vigilancia	73
2.2.2.	Sismología	75
2.2.3.	Deformación	77
2.2.3.1.	Inclinometría Electrónica	77
2.2.4.	Muestreo de aguas termales	78
2.2.4.1.	Ubicación de las fuentes termales	78
2.2.4.2.	Toma de la muestra	79
2.2.4.3.	Mediciones de Parámetros Fisicoquímicos	80
2.2.5.	Actividad Superficial	82
2.2.6.	Conclusiones	83
2.3.	VOLCÁN AZUFRAL	84
2.3.1.	Red de vigilancia	84
2.3.2.	Sismología	87
2.3.3.	Deformación	88
2.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	88
2.3.3.2.	Medición Eléctrica de Distancias – E.D.M.	90
2.3.4.	Fisicoquímica	92
2.3.4.1.	Muestreo de aguas termales	92
2.3.4.2.	Toma de muestras de gases en fumarola – domo activo laguna verde	96
2.3.5.	Actividad superficial	97
2.3.6.	Conclusiones	99
2.4.	VOLCÁN CUMBAL	100



2.4.1.	Red de vigilancia	100
2.4.2.	Sismología	102
2.4.3.	Deformación	110
2.4.3.1.	Inclinometría Electrónica	110
2.4.4.	Fisicoquímica	111
2.4.4.1.	Muestreo de aguas termales	111
2.4.5.	Actividad superficial	114
2.4.6.	Conclusiones	118
2.5.	BIBLIOGRAFÍA	119
2.6.	PERSONAL PARTICIPANTE	119

TABLAS

		Pag.
Tabla 2.1.1.	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad sísmica y de cambios de presión acústica en el volcán Galeras durante el segundo semestre de 2011	16
Tabla 2.1.2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el segundo semestre de 2011.	17
Tabla 2.1.3.	Características de las estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras, las cuales funcionaron durante el segundo semestre de 2011.	18
Tabla 2.1.4.	Características de la estación EM-Frailejón que monitorea las variaciones de campo eléctrico y de campo magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras, funcionando en el segundo semestre de 2011.	19
Tabla 2.1.5.	Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red de Galeras, durante el segundo semestre de 2011.	21
Tabla 2.1.6.	Número de sismos volcánicos por tipo, registrados en los periodos indicados.	24
Tabla 2.1.7.	Energía sísmica liberada para cada tipo de evento, en los periodos indicados.	24
Tabla 2.1.8.	Características de las estaciones instaladas durante el II semestre de 2011, para el monitoreo de gas Radón en el volcán Galeras	61
Tabla 2.1.9.	Características de los sitios de Aguas Termales en el área de influencia de volcán Galeras	63
Tabla 2.1.10.	Parámetros Fisicoquímicos para las mediciones realizadas en el periodo evaluado, en los puntos de muestreo de Aguas Termales en el área de influencia de volcán Galeras.	65
Tabla 2.1.11.	Sobrevuelos realizados con las temperaturas máximas obtenidas en el segundo semestre de 2011.	68
Tabla 2.2.1.	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana durante el segundo semestre de 2011.	83
Tabla 2.2.2.	Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red del volcán Doña Juana, durante el segundo semestre de 2011.	85
Tabla 2.2.3.	Características de las fuentes termales de Volcán Doña Juana	89
Tabla 2.2.4.	Parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Doña Juana.	90
Tabla 2.2.5.	Concentración de Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , CO ₃ ⁼ , HCO ₃ ⁼ y CO ₂ de las fuentes termales del Volcán Doña Juana medidos en mg/L	91
Tabla 2.3.1.	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufraal durante el segundo semestre de 2011.	95
Tabla 2.3.2.	Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red del volcán Azufraal, durante el segundo semestre de 2011.	96
Tabla 2.3.3.	Coordenadas WGS84 de los puntos materializados sobre la superficie del volcán Azufraal, donde se ubican reflectores EDM y las Bases.	100
Tabla 2.3.4.	Características de las fuentes termales de Volcán Azufraal.	103
Tabla 2.3.5.	Parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del volcán Azufraal.	104



Tabla 2.4.1.	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Cumbal durante el segundo semestre de 2011.	112
Tabla 2.4.2.	Características de las fuentes termales del volcán Cumbal.	121
Tabla 2.4.3.	Parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del volcán Cumbal.	123
Tabla 2.4.4.	Parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Cumbal	123

FIGURAS

Pág.

Figura 2.1.1.	Mapa de localización de algunas de las estaciones (sismómetros de corto periodo-CP y banda ancha-BA, presión acústica y repetidoras) que conformaron la red de monitoreo de Galeras durante el segundo semestre de 2011. En líneas negras se señalan los enlaces que usan repetidoras, los demás son directos al OVP	15
Figura 2.1.2.	Red para el monitoreo de la deformación volcánica de Galeras, conformada por ocho inclinómetros electrónicos, que funcionaron en el segundo semestre de 2011.	16
Figura 2.1.3.	Mapa de localización de las estaciones telemétricas ScanDOAS del proyecto NOVAC para el monitoreo de emisiones de Dióxido de Azufre (SO ₂) en el volcán Galeras, que funcionaron durante el segundo semestre de 2011.	17
Figura 2.1.4.	Mapa de localización de las cámaras de video y de la estación para medición de variaciones del campo electromagnético en el volcán Galeras, que funcionaron durante el segundo semestre de 2011.	18
Figura 2.1.5.	Mapa de localización de las estaciones para monitoreo de flujos de lodos en la quebrada Mijitayo, que nace en el volcán Galeras, y de las estaciones GNSS para monitoreo de la deformación volcánica; las cuales funcionaron durante el segundo semestre de 2011.	19
Figura 2.1.6.	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el segundo semestre de 2011 (julio a diciembre), de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras.	20
Figura 2.1.7.	Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	22
Figura 2.1.8.	Histograma de energía liberada diaria, en términos de su raíz cuadrática, de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	23
Figura 2.1.9.	Relaciones comparativas de la variación de la sismicidad del segundo semestre del 2011 en comparación con el primer semestre de 2011. Izquierda, en cuanto a número de sismos y derecha, energía sísmica liberada.	23
Figura 2.1.10.	Relaciones porcentuales de conteo (arriba) y energía sísmica liberada (abajo) por tipo de sismos para el primer semestre de 2011 (izquierda) y el segundo semestre de 2011 (derecha).	24
Figura 2.1.11.	Histograma de número diario de sismos LP (arriba) y acumulado de sismos LP (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	25
Figura 2.1.12.	Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos LP (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	26
Figura 2.1.13.	Histograma de número diario de episodios TRE (arriba) y acumulado de episodios TRE (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	27
Figura 2.1.14.	Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos TRE (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	28
Figura 2.1.15.	Histograma de número diario de sismos HYB (arriba) y acumulado de sismos HYB (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	29
Figura 2.1.16.	Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos HYB (arriba) y acumulado de la	30



	energía (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	
Figura 2.1.17.	Histograma de número diario de sismos VT (arriba) y acumulado de sismos VT (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	31
Figura 2.1.18.	Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos VT (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.	32
Figura 2.1.19.	Hipocentros de sismos VT en la zona de influencia de Galeras durante el segundo semestre de 2011. En los cortes norte-sur (derecha) y este-oeste (abajo) cada división equivale a 2.5 Km.	33
Figura 2.1.20.	Relaciones porcentuales por rangos de profundidad (izquierda) y por rangos de magnitud local (derecha) para los sismos VT localizados durante el segundo semestre de 2011. A la derecha de cada diagrama se presentan sus convenciones.	33
Figura 2.1.21.	Evolución espacio temporal de sismos VT durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. En la gráfica superior se muestra las latitudes y en la inferior las longitudes.	34
Figura 2.1.22.	Evolución espacio temporal de sismos VT durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. En la gráfica superior se muestra las profundidades y en la inferior las magnitudes	35
Figura 2.1.23.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento TRE (armónico), registrado el 1 de julio de 2011 a las 00:57 a.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.	36
Figura 2.1.24.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS, registrado el 1 de julio de 2011 a las 2:12 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.	36
Figura 2.1.25.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento TRE, registrado el 4 de julio de 2011 a las 6:37 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.	37
Figura 2.1.26.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento TRE, registrado el 6 de julio de 2011 a las 10:20 a.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.	37
Figura 2.1.27.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS, registrado el 20 de julio de 2011 a las 4:18 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.	38
Figura 2.1.28.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS, registrado el 20 de julio de 2011 a las 12:30 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.	38
Figura 2.1.29.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS, registrado el 20 de julio de 2011 a las 8:16 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.	39
Figura 2.1.30.	Sismogramas y espectros en frecuencia del episodio de temblor espasmódico (TRE), registrado el 1 de septiembre de 2011 a las 9:33 p.m. por algunas de las estaciones sísmicas de Galeras.	39
Figura 2.1.31.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento HYB, registrado el 3 de septiembre de 2011 a las 7:07 p.m. por algunas de las estaciones sísmicas de Galeras.	40
Figura 2.1.32.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS registrado el 23 de octubre de 2011 a las 5:52 p.m.	40
Figura 2.1.33.	Sismograma en la estación sísmica de corto periodo ANGANÓY del enjambre de sismos registrado entre el 25 y 30 de octubre de 2011.	41
Figura 2.1.34.	Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados en el mes de noviembre de 2011.	42
Figura 2.1.35.	Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR y PST registrados en el mes de noviembre de 2011.	42
Figura 2.1.36.	Sismograma, espectro y espectrograma del evento TOR registrado el 10 de noviembre de 2011 a las 7:51 p.m. en el volcán Galeras.	43
Figura 2.1.37.	Sismograma, espectro y espectrograma en frecuencia del evento TOR registrado el 14 de noviembre de 2011 a las 11:28 p.m. en el volcán Galeras.	43
Figura 2.1.38.	Sismograma de la estación ANGANÓY, ubicada a 0,8 km al ESE de edificio volcánico de Galeras. En el recuadro rojo se destaca el enjambre sísmico registrado entre el 27 y 28 de	44



	noviembre de 2011.	
Figura 2.1.39.	Red para el monitoreo de la deformación volcánica de Galeras, conformada por ocho inclinómetros electrónicos, que funcionaron en el segundo semestre de 2011.	45
Figura 2.1.40.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.	46
Figura 2.1.41.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.	47
Figura 2.1.42.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.	48
Figura 2.1.43.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.	49
Figura 2.1.44.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.	49
Figura 2.1.45.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de septiembre de 2011 (fecha de instalación) y el 31 de diciembre de 2011.	50
Figura 2.1.46.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Condor instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 2 de noviembre de 2011 (fecha de instalación) y el 31 de diciembre de 2011.	50
Figura 2.1.47.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola y Cobanegra, instalados en Galeras, para el periodo comprendido entre mayo y el mes de diciembre de 2011.	51
Figura 2.1.48.	Vectores resultantes para los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, Cobanegra y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 23 de julio y el 22 de diciembre de 2011. El asterisco indica el lugar donde se encuentra cada estación.	51
Figura 2.1.49.	Pos procesamiento para las estaciones GNSS Cráter y Barranco, tomando como referencia la estación Córdor, en la grafica se observa que la magnitud del vector resultante calculado con sus tres componentes, no es muy significativa.	52
Figura 2.1.50.	Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Galeras. Las figuras de color violeta indican la ubicación de las Base 1 y 2, las figuras de color verde (oscuro y claro) indican la ubicación de los prismas reflectores.	53
Figura 2.1.51.	Localización de las estaciones telemétricas, empleadas en ScanDOAS.	54
Figura 2.1.52.	Flujo de emisión de SO ₂ registrado entre el 1 de enero de 2011 y el 31 de diciembre de 2011, se resalta en gris el periodo evaluado.	56
Figura 2.1.53.	Total Flujo de SO ₂ , por semestre año 2011.	56
Figura 2.1.54.	Porcentajes de emisión de Flujo de SO ₂ por mes I semestre 2011.	57
Figura 2.1.55.	Concentración del isótopo Radioactivo Rn-222, registrado entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2011, en la Línea Galeras.	58
Figura 2.1.56.	Mapa de localización de las estaciones no telemétricas para el monitoreo de gas Radón, instaladas en la línea Barranco.	60
Figura 2.1.57.	Proceso de instalación de las estaciones de Rn-222, de la línea Barranco	61
Figura 2.1.58.	Concentración del isótopo Radioactivo Rn-222, registrado entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2011, en la Línea Barranco.	62
Figura 2.1.59.	Mapa de Localización de las Fuentes Termales presentes en el área de influencia de Volcán Galeras.	62
Figura 2.1.60.	Procedimiento de toma de muestra de aguas termales para Volcán Galeras	64
Figura 2.1.61.	Imágenes del volcán Galeras, capturadas desde la sede del Observatorio, el 14 de julio de 2011 en horas de la tarde, en las fotografías se observa la emisión de gases. Izquierda (5:42 p.m.), derecha (6:31 p.m.).	68



Figura 2.1.62.	Imágenes del volcán Galeras, en las cuales se observa la emisión de gases registrada en horas de la mañana del 16 de julio de 2011. Las imágenes de la parte superior fueron capturadas desde el Observatorio y las de la parte inferior, desde la Población de Consacá.	68
Figura 2.1.63.	Imágenes del volcán Galeras, capturadas desde la cima por Personal del Observatorio, el 29 de julio de 2011 en horas de la mañana, en las fotografías se observa emisión de gases.	69
Figura 2.1.64.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el municipio de Consacá el 5 de agosto de 2011 a las 1:29 p.m. (Izquierda) y desde la zona de Barranco Alto en la cima de Galeras a las 3:48 p.m. (Derecha).	69
Figura 2.1.65.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el municipio de Consacá el 23 de agosto de 2011 a las 5:52 a.m. (Izquierda) y a las 6:04 a.m. (Derecha).	70
Figura 2.1.66.	Imagen del volcán Galeras, capturada desde Consacá, el 15 de septiembre de 2011, en horas de la tarde, a las 4:54 p.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.	70
Figura 2.1.67.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el sector de Barranco Alto (Cima de Galeras) el 19 de octubre de 2011 a las 3:05 a.m.	71
Figura 2.1.68.	Imágenes del volcán Galeras, capturadas en sobrevuelo, el 2 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.	72
Figura 2.1.69.	Imagen del volcán Galeras, capturada desde Barranco Alto, el 10 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 11:17 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.	72
Figura 2.1.70.	Imagen del volcán Galeras, capturada desde la sede del OVSP, el 14 de noviembre de 2011 en horas de la tarde, a las 5:50 p.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.	73
Figura 2.1.71.	Imagen del volcán Galeras, capturada desde la Población de Consacá, el 16 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 5:57 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases	73
Figura 2.1.72.	Imagen del volcán Galeras, capturada desde Barranco Alto, el 17 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 8:29 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.	74
Figura 2.1.73.	Imagen del volcán Galeras, capturada por Personal del OVSP en trabajos por la cima volcánica, el 19 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 10:01 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.	74
Figura 2.1.74.	Imagen del volcán Galeras, capturada desde Barranco Alto, el 21 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 9:53 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.	75
Figura 2.1.75.	Imagen del volcán Galeras, capturada desde la sede del OVSP, el 21 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 10:06 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.	75
Figura 2.1.76.	Imágenes del volcán Galeras, capturadas en sobrevuelo, el 26 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.	76
Figura 2.1.77.	Imágenes del volcán Galeras, capturadas en sobrevuelo, el 27 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.	76
Figura 2.1.78.	Imagen del volcán Galeras, capturada desde la sede del OVSP, el 27 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 6:45 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.	77
Figura 2.1.79.	Imágenes térmicas del volcán Galeras, capturada en sobrevuelo, el 26 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografía se observan anomalías térmicas en varios sectores del cono activo.	78
Figura 2.1.80.	Zona de influencia de la sismicidad presentada entre el 28 y 29 de septiembre de 2011, que corresponde a los departamentos de Nariño y Putumayo. Las líneas rojas señalan los lugares evaluados y el criterio de intensidad.	80
Figura 2.2.1.	Imagen tomada de Google Earth en donde se observan algunos volcanes del sur de Colombia y del norte del Ecuador, entre ellos están Doña Juana, Galeras, Azufral y Cumbal, monitoreados por el OVSP - INGEOMINAS	82
Figura 2.2.2.	Imagen de la cima del volcán Doña Juana.	82
Figura 2.2.3.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el segundo semestre de 2011.	83



Figura 2.2.4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el segundo semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	84
Figura 2.2.5.	Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	86
Figura 2.2.6.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento VT de magnitud local 1 en la escala de Richter, ocurrido el 4 de julio de 2011, a las 2:44 a.m., registrado en las estaciones de monitoreo del volcán Doña Juana.	86
Figura 2.2.7.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo VT de magnitud local 1 en la escala de Richter, ocurrido el 17 de julio de 2011, a las 7:57 p.m., registrado en las estaciones de monitoreo del volcán Doña Juana.	87
Figura 2.2.8.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.	88
Figura 2.2.9.	Imágenes de las fuentes termales de Volcán Doña Juana	89
Figura 2.2.10.	Imagen del volcán Doña Juana, capturada en sobrevuelo, el 2 de noviembre de 2011, en horas de la mañana.	92
Figura 2.2.11.	Imágenes del volcán Doña Juana, capturadas en sobrevuelo, el 2 de noviembre de 2011, en horas de la mañana.	93
Figura 2.3.1.	Panorámica de la laguna cratérica del volcán Azufral. Nótese el domo pequeño de color claro en la parte izquierda de la imagen y detrás de la laguna, los grandes domos. Septiembre 4 de 2008, 12:10 p.m	94
Figura 2.3.2.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el segundo semestre de 2011.	95
Figura 2.3.3.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el segundo semestre de 2011. Las líneas amarillas (punteada y continua) muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.	95
Figura 2.3.4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el segundo semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral.	96
Figura 2.3.5.	Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	97
Figura 2.3.6.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento VT ocurrido en Azufral el 20 de julio de 2011, a las 3:53 a.m., el cual fue reportado como sentido.	97
Figura 2.3.7.	Sismogramas y espectros en frecuencia de un VT ocurrido en Azufral el 30 de julio de 2011, a las 11:26 a.m.	98
Figura 2.3.8.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.	99
Figura 2.3.9.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.	99
Figura 2.3.10.	Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Azufral. Las figuras de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2 y 3 los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas.	100
Figura 2.3.11.	Imágenes de la construcción de la Base EDM Panamal en roca hacia el sector suroriental de Azufral.	101
Figura 2.3.12.	Comportamiento de los prismas-reflectores EDM, instalados en la superficie del volcán Azufral, medidos desde la Base1. En la gráfica se representa la diferencia acumulativa en milímetros de cada prisma.	102
Figura 2.3.13.	Comportamiento de los prismas-reflectores EDM, instalados en la superficie del volcán Azufral, medidos desde la Base2. En la gráfica se representa la diferencia acumulativa en milímetros de cada prisma.	102
Figura 2.3.14.	Mapa de localización de las fuentes termales del volcán Azufral	103
Figura 2.3.15.	Imágenes de las fuentes termales de Volcán Doña Juana	104
Figura 2.3.16.	Toma de muestras de gases en el domo activo de la Laguna Verde del volcán Azufral	106



	utilizando botellas de Giggenbach	
Figura 2.3.17.	Imágenes de la Laguna Verde del volcán Azufral, en las cuales se observa la zona de mayor burbujeo sobre la superficie de la Laguna, ubicada hacia el noroccidente de la misma. Fotografías capturadas el 8 de septiembre de 2011.	107
Figura 2.3.18.	Imágenes de la Laguna Verde del volcán Azufral. Fotografías capturadas en comisión el 15 de noviembre de 2011	107
Figura 2.3.19.	Imágenes de la Laguna Verde del volcán Azufral. Fotografías capturadas en sobrevuelo el 2 de noviembre de 2011.	1088
Figura 2.3.20.	Imagen térmica del volcán Azufral, capturada en sobrevuelo del 6 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observan anomalías térmicas por varios sectores al nor occidente de la laguna.	108
Figura 2.4.1.	Imagen del complejo volcánico Cumbal.	110
Figura 2.4.2.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el segundo semestre de 2011.	111
Figura 2.4.3.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el segundo semestre de 2011. Las líneas punteadas muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.	111
Figura 2.4.4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento, durante el segundo semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal.	112
Figura 2.4.5.	Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe	113
Figura 2.4.6.	Relaciones comparativas de la variación de la sismicidad del segundo semestre del 2011 en comparación con el primer semestre de 2011, en cuanto a número de sismos.	113
Figura 2.4.7.	Relaciones porcentuales de conteo por tipo de sismos para el primer semestre de 2011 (izquierda) y el segundo semestre de 2011 (derecha).	114
Figura 2.4.8.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 5 de julio de 2011 a las 2:49 a.m.	114
Figura 2.4.9.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 31 de julio de 2011 a las 6:36 a.m.	114
Figura 2.4.10.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LPS, ocurrido en Cumbal, registrado el 8 de julio de 2011 a la 2:20 a.m.	115
Figura 2.4.11.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LPS, ocurrido en Cumbal, registrado el 30 de julio de 2011 a la 9:31 p.m.	115
Figura 2.4.12.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, registrado el 1 de agosto de 2011 a las 4:49 a.m. por la estación La Mesa.	116
Figura 2.4.13.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LP, registrado el 16 de agosto de 2011 a las 11:18 a.m. por la estación La Mesa.	116
Figura 2.4.14.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LP, registrado el 17 de agosto de 2011 a las 10:37 a.m. por la estación La Mesa.	117
Figura 2.4.15.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento LP, registrado el 25 de octubre de 2011 a las 8:36 a.m. por la estación La Mesa.	117
Figura 2.4.16.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento LP, registrado el 30 de octubre de 2011 a las 4:02 a.m. por la estación La Mesa.	118
Figura 2.4.17.	Sismograma de la estación La Mesa, ubicada a 2 km del cráter de Mundo Nuevo en el edificio volcánico de Cumbal. En la imagen se destaca el enjambre sísmico registrado el 18 de noviembre de 2011.	118
Figura 2.4.18.	Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de agosto de 2011.	119
Figura 2.4.19.	Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de agosto de 2011.	119
Figura 2.4.20.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.	120



Figura 2.4.21.	Mapa de localización de las fuentes termales del volcán Cumbal	121
Figura 2.4.22.	Imágenes de las fuentes termales de Volcán Cumbal	122
Figura 2.4.23.	Toma de muestras de gases en la fumarola El Rastrojo del volcán Cumbal, empleando botellas de Giggenbch.	124
Figura 2.4.24.	Imágenes del complejo volcánico Cumbal, capturadas en sobrevuelo, el 4 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.	125
Figura 2.4.25.	Imágenes del complejo volcánico Cumbal, capturadas desde la parte alta del volcán Azufral, el 17 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.	125
Figura 2.4.26.	Imágenes del complejo volcánico Cumbal, capturadas en sobrevuelo, el 27 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.	126
Figura 2.4.27.	Imágenes del complejo volcánico Cumbal, capturadas en sobrevuelo, el 6 de diciembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cráter secundario El Verde (arriba) y la cima del edificio volcánico (abajo).	126
Figura 2.4.28.	Imágenes térmicas del complejo volcánico Cumbal, capturadas en sobrevuelo, el 27 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observan anomalías térmicas por varios sectores del cono activo.	128



INTRODUCCIÓN

El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto –Servicio Geológico Colombiano, durante el segundo semestre de 2011, continuó con la tarea institucional de vigilar la actividad de los volcanes del segmento Sur de Colombia, monitoreando en forma continua durante las 24 horas del día y en tiempo real, los diferentes parámetros de estudio que permiten la evaluación de la actividad volcánica. De esta manera tiene instalada una red de vigilancia en los volcanes Galeras, Doña Juana, Azufral y Cumbal con sensores sísmicos, geofísicos, de deformación cortical y muestreos periódicos de geoquímica. El monitoreo de la actividad superficial y cambios de temperatura en la zona de los cráteres volcánicos, se realiza mediante sobrevuelos de reconocimiento a la cima del volcán, trabajo realizado gracias al apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), quienes tienen a disposición del Servicio Geológico Colombiano, una tripulación especializada en vuelos en altura, un helicóptero Huey equipado con una cámara Flir de muy alta tecnología.

El presente informe resalta los resultados obtenidos en las diferentes áreas del monitoreo, durante el segundo semestre del 2011, para los volcanes Galeras, Cumbal, Azufral y Doña Juana y presenta la evaluación de la misma y el estado de actividad de los volcanes.

Este informe técnico de la actividad de los volcanes del segmento Sur de Colombia: Galeras, Doña Juana, Azufral y Cumbal puede ser consultado por personas con diferentes niveles académicos y puede ser usado como guía informativa, de consulta ó como una base para el desarrollo de estudios posteriores que requieran mayor detalle y nivel de análisis, siempre y cuando se respete y se cite la fuente primaria.

Para el trabajo que el OVSP-Servicio Geológico Colombiano realiza en los volcanes, es importante resaltar el apoyo y colaboración de Instituciones como La Fuerza Aérea Colombiana (FAC), La Policía Nacional de Colombia, el Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) de Alemania, el United States Geological Survey (USGS) de los Estados Unidos y al Proyecto NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change) de la Unión Europea; a quienes El Servicio Geológico expresa su agradecimiento.



Libertad y Orden

RESUMEN

Durante el segundo semestre del 2011, en el volcán Galeras, se notó una disminución en la ocurrencia de sismos comparada con el semestre anterior. La actividad sísmica, se caracterizó principalmente por el predominio en ocurrencia de eventos asociados con fracturamiento de material cortical y posterior movimiento de fluido (HYB), acompañados también por el registro de eventos relacionados con movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico (LPS y TRE), con menor ocurrencia de los eventos tipo TRE.

En el periodo evaluado, se destaca el cambio presentado el 7 de noviembre, caracterizado por la disminución en ocurrencia y energía liberada de los sismos y por el registro de eventos tipo tornillo (TOR) que en el análisis e interpretación, se asocian con incremento de presión al interior del sistema volcánico. Debido a las fluctuaciones en los niveles de ocurrencia de sismicidad y al registro de tornillos, los cuales adquieren gran relevancia en Galeras ya que se han registrado en periodos previos a eventos eruptivos de este volcán, el 24 de noviembre se generó cambio en el nivel de actividad de Galeras, de Nivel Amarillo ■ (III) "Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica", a Nivel Naranja ◆ (II). Posteriormente en diciembre, se observó un incremento en la liberación de gases tanto desde el cráter principal como desde otros cráteres secundarios, así como también, la disminución en la ocurrencia de eventos tipo Tornillo, lo cual permitió que el 6 de diciembre el nivel de actividad retornara a Amarillo ■ (III): "Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica" sin que mediara un proceso eruptivo como tal.

Con respecto a la red de Deformación, para este segundo semestre, esta fue ampliada con la instalación de 2 inclinómetros y 3 receptores GNSS. Se resalta que entre el 23 de julio de 2011 y el 22 de diciembre, se observan variaciones en las componentes de algunos inclinómetros, que pueden estar asociados con una deflación en el sector nor-este del volcán.

En el transcurso del periodo evaluado, el monitoreo de las emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) a la atmósfera, provenientes del volcán Galeras, para la mayor parte del segundo semestre del 2012, arrojó valores de flujo considerados entre bajos y moderados, con los mayores valores registrados en el mes de julio.

En cuanto a la actividad del volcán Doña Juana, se observó que la sismicidad estuvo dominada por eventos asociados con fracturamiento de material cortical, las magnitudes locales de los sismos localizados fluctuaron entre -0.2 y 2 en la escala de Richter, varios de los cuales se ubican en una zona intermedia entre los volcanes Doña Juana y Ánimas, aproximadamente entre 6 y 9 km de distancia al noreste de Doña Juana y a profundidades entre 6 y 8 km. En este segundo periodo se inició con el muestreo de aguas termales en cinco fuentes localizadas en la zona de influencia del volcán Doña Juana y denominadas como Ánimas I, Ánimas II, Tajumbina, La Vega y el Silencio.

En relación al volcán Azufral, en éste periodo se observó una notable disminución en la actividad, respecto al semestre anterior, que estuvo dominada por eventos asociados con fracturamiento de material cortical al interior del edificio volcánico, seguidos por pocos eventos relacionados con



movimiento de fluidos de fuente transitoria en el tiempo (LPS). Se destaca el evento registrado el 20 de julio a las 3:53 a.m. el cual fue reportado como sentido por habitantes de la zona de influencia del volcán, el cual se localizó al suroccidente del edificio volcánico y tuvo una magnitud local de 3 en la escala de Richter.

De acuerdo al monitoreo sísmico registrado por la estación La Mesa, instalada en el complejo volcánico de Cumbal, se registró un incremento en la sismicidad desde mediados de octubre, que en su mayoría estuvo asociados a movimientos de fluidos al interior del edificio volcánico y fracturamiento de material cortical. En el transcurso del periodo evaluado se registraron 15 eventos tipo Tornillo. Adicionalmente se resalta que a partir de noviembre se notó un incremento en la sismicidad, relacionada con movimiento de fluidos.

Con base en el análisis de la información de los volcanes Doña Juana, Cumbal y Azufral, su nivel de actividad se considera en Nivel Verde ● (IV): "Volcán activo y comportamiento estable". Se está evaluando la posibilidad de subir el nivel de actividad del volcán Cumbal, dependiendo de cómo siga evolucionando su proceso volcánico.



2. VOLCANES DE NARIÑO

2.1. VOLCÁN GALERAS

2.1.1. Red de vigilancia

Durante el segundo semestre de 2011, la red instalada para la vigilancia del volcán Galeras estuvo conformada por las siguientes estaciones:

- Diez estaciones sismológicas telemétricas de las cuales siete son de corto periodo (3 triaxiales y 4 de componente vertical) y tres de banda ancha (Figura 2.1.1, Tabla 2.1.1.). Para recibir la información que detectan estas estaciones en la sede del Observatorio Vulcanológico de Pasto (OVP), se cuenta con una red telemétrica punto a punto, con cuatro repetidoras instaladas en sitios estratégicos. Las estaciones que usan repetidora para el enlace son: Cóndor (repite por Cruz de Amarillo); Calabozo (repite por Bruma); Nariño-2 (repite por Morasurco-2) y Arles (repite por Lomalarga y Morasurco-2). En la figura 2.1.1. se muestran los enlaces de radio entre las estaciones que envían su señal hasta el OVP a través de las repetidoras.
- Tres sensores acústicos, uno ubicado en el sector occidental, en el sitio de la estación sismológica de corto periodo Calabozo, otro ubicado en el sitio de la estación sismológica de corto periodo Cráter-2 y uno ubicado en la estación sismológica de corto periodo Cóndor (Figura 2.1.1, Tabla 2.1.1.).

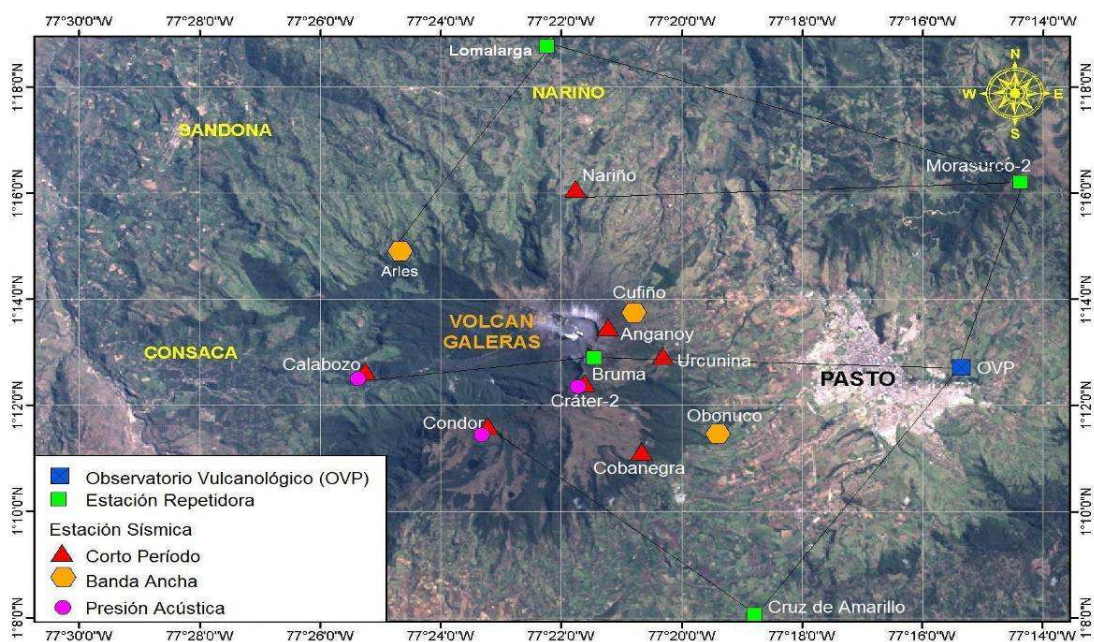


Figura 2.1.1. Mapa de localización de algunas de las estaciones (sismómetros de corto periodo-CP y banda ancha-BA, presión acústica y repetidoras) que conformaron la red de monitoreo de Galeras durante el segundo semestre de 2011. En líneas negras se señalan los enlaces que usan repetidoras, los demás son directos al OVP.

Tabla 2.1.1. Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad sísmica y de cambios de presión acústica en el volcán Galeras durante el segundo semestre de 2011.

Estación	Tipo de información	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Anganoy	Analógica	Sismómetro Corto Periodo	Vertical	0.84	ESE	4170
Cráter-2	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Vertical	1.48	S	4048
Cufiño-BB	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1.90	ENE	3800
Urcunina	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	2.26	ESE	3494
Cobanegra-3	Analógica	Sismómetro Corto Periodo	Vertical	3.94	SSE	3625
Cóndor	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	4.86	SW	3985
Obonuco	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4.94	SE	3010
Nariño-2	Analógica	Sismómetro Corto Periodo	Vertical	5.00	NNW	2870
Calabozo	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	6.83	SSW	2353
Arlés	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	3.59	WNW	3386
Cráter-Acústico	Digital	Presión Acústica	Unidireccional	1.48	S	4048
Calabozo-Acústico	Digital	Presión Acústica	Unidireccional	6.83	SSW	2353
Cóndor-Acústico	Digital	Presión Acústica	Unidireccional	4.86	SW	3985

- Ocho inclinómetros electrónicos telemétricos (Tabla 2.1.2, Figura 2.1.2). La transmisión de los datos para cuatro de estos inclinómetros (Cráter, Peladitos, Huairatola, y Cobanegra) se realiza a través de una red telemétrica punto-multipunto configurada para todos los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño. Por su parte los inclinómetros Cóndor y Calabozo emplean el mismo radio-enlace de la estación sísmica y el sensor acústico, y los inclinómetros Arlés y Urcunina emplean el mismo radio-enlace de la estación sismológica.

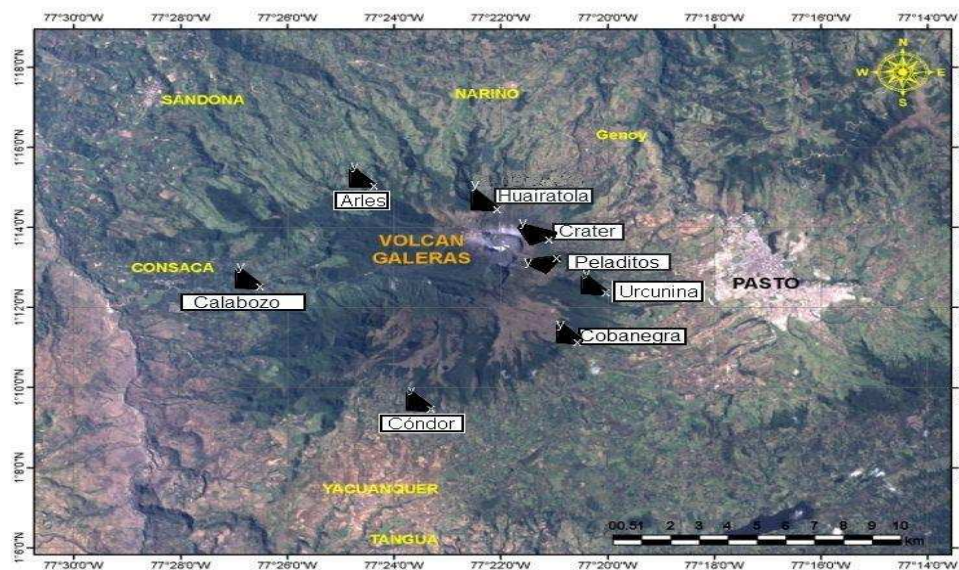


Figura 2.1.2. Red para el monitoreo de la deformación volcánica de Galeras, conformada por ocho inclinómetros electrónicos, que funcionaron en el segundo semestre de 2011.

Tabla 2.1.2. Inclínómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el segundo semestre de 2011.

Inclínómetros Electrónicos	Distancia al cráter (km)	Ubicación respecto al cráter principal	Altitud (msnm)
Cráter	0.8	ENE	4060
Peladitos	1.4	SE	3850
Huairatola	1.7	N	3745
Calabozo	7.1	WSW	2350
Cobanegra	3.94	SSE	3625
Urcunina	2.26	ESE	3494
Cóndor	4.86	SW	3985
Aries	3.56	WNW	3386

- Una red de tres estaciones telemétricas para la detección de emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂), que se encuentran localizadas en el cuadrante noroccidental del edificio volcánico. Para recibir la información de estas estaciones en el OVP se cuenta con una red telemétrica punto a punto conmutable (*switchable*), con dos repetidoras en los cerros Alto de la Palma y Morasurco-2 (Figura 2.1.3, Tabla 2.1.3). Adicionalmente, se dispone de un equipo portátil MiniDOAS para hacer seguimientos de las emisiones de SO₂, a través de detecciones instrumentales efectuadas recorriendo la vía circunvalar al volcán Galeras.

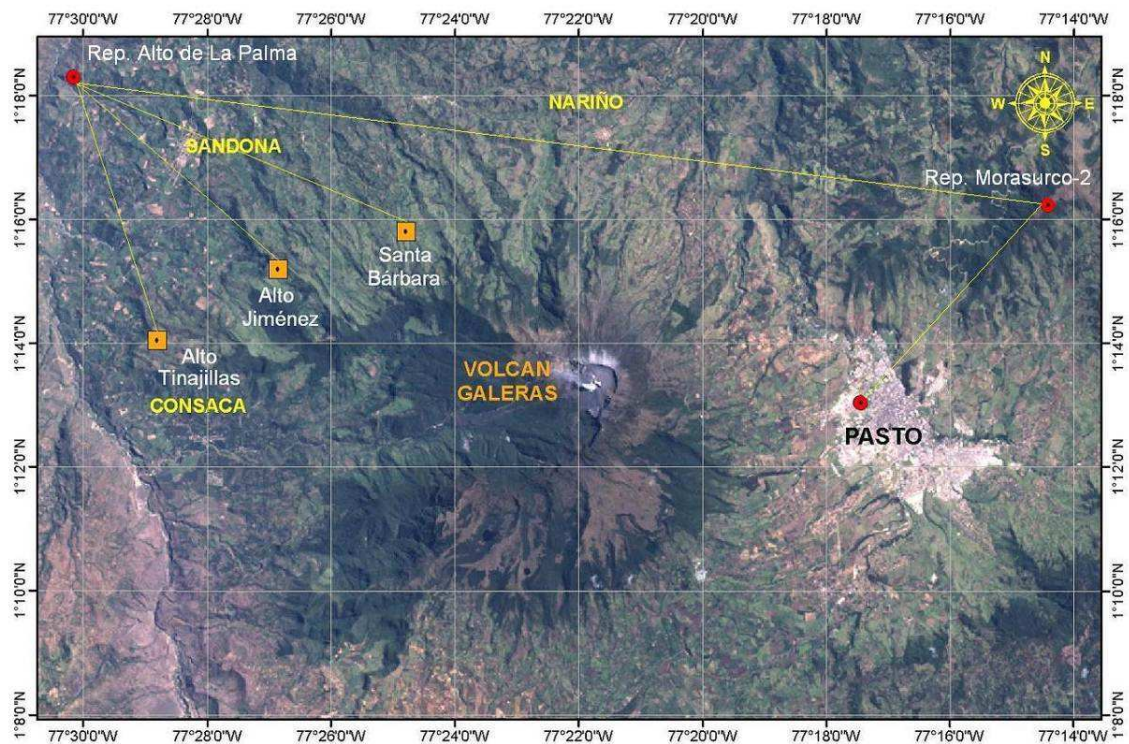


Figura 2.1.3. Mapa de localización de las estaciones telemétricas ScanDOAS del proyecto NOVAC para el monitoreo de emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) en el volcán Galeras, que funcionaron durante el segundo semestre de 2011.

Tabla 2.1.3. Características de las estaciones que conforman la red de instrumentos ScanDOAS del proyecto NOVAC en el volcán Galeras, las cuales funcionaron durante el segundo semestre de 2011.

Estación	Distancia al cráter (km)	angulo del scan (°)	Altura de referencia de la pluma* (m)	Dirección compás (° contra-azimut)	Ubicación respecto al cráter	Altitud (msnm)
Santa Bárbara	7.9	60	1600	131	NNW	2600
Alto Jiménez	10.8	90	1800	115	NE	2400
Alto Tinajillas	13.3	60	2100	94	W	2100

* Altura de referencia de la pluma respecto a la cima de Galeras (aproximadamente 4200 msnm).

- Una estación telemétrica para detectar cambios en el campo eléctrico y campo magnético, llamada Frailejones (Figura 2.1.4, Tabla 2.1.4.).
- Tres cámaras de video para observación y seguimiento de la actividad superficial, instaladas, una en la sede del Observatorio Vulcanológico de Pasto (OVP), otra en el municipio de Consacá, ubicado en el sector occidental del volcán y una ubicada en el flanco noroccidental del edificio volcánico, en el sector conocido como Barranco (Figura 2.1.4.).

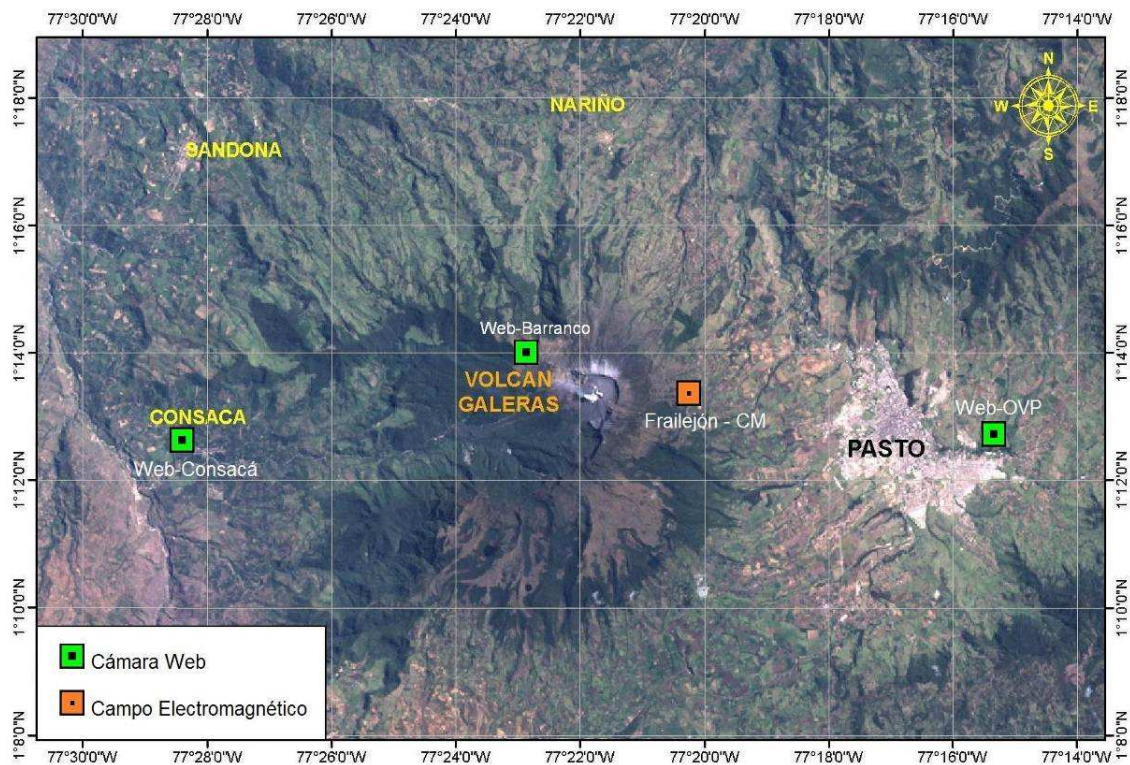


Figura 2.1.4. Mapa de localización de las cámaras de video y de la estación para medición de variaciones del campo electromagnético en el volcán Galeras, que funcionaron durante el segundo semestre de 2011.

Tabla 2.1.4. Características de la estación EM-Frailejón que monitorea las variaciones de campo eléctrico y de campo magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras, funcionando en el segundo semestre de 2011.

Estación	Tipo de Información	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (Km)	Dirección respecto al Cráter	Altitud (msnm)
Frailejón	Digital	Eléctrico	Biaxial	2.7	E	3727
Frailejón	Digital	Magnético	Triaxial	2.7	E	3727

- Dos estaciones telemétricas (Mijitayo Alto y Mijitayo Bajo), conformadas cada una por un geófono y un pluviómetro, para detectar flujos de lodos en el cauce de la quebrada Mijitayo (Figura 2.1.5.).
- Tres estaciones GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) telemétricas, una ubicada en el emplazamiento de la estación sismológica de corto periodo Cráter-2, otra ubicada en el sector de Barranco Alto y una en el flanco suroccidental del edificio volcánico, en el sitio conocido como Cóndor (Figura 2.1.5.).

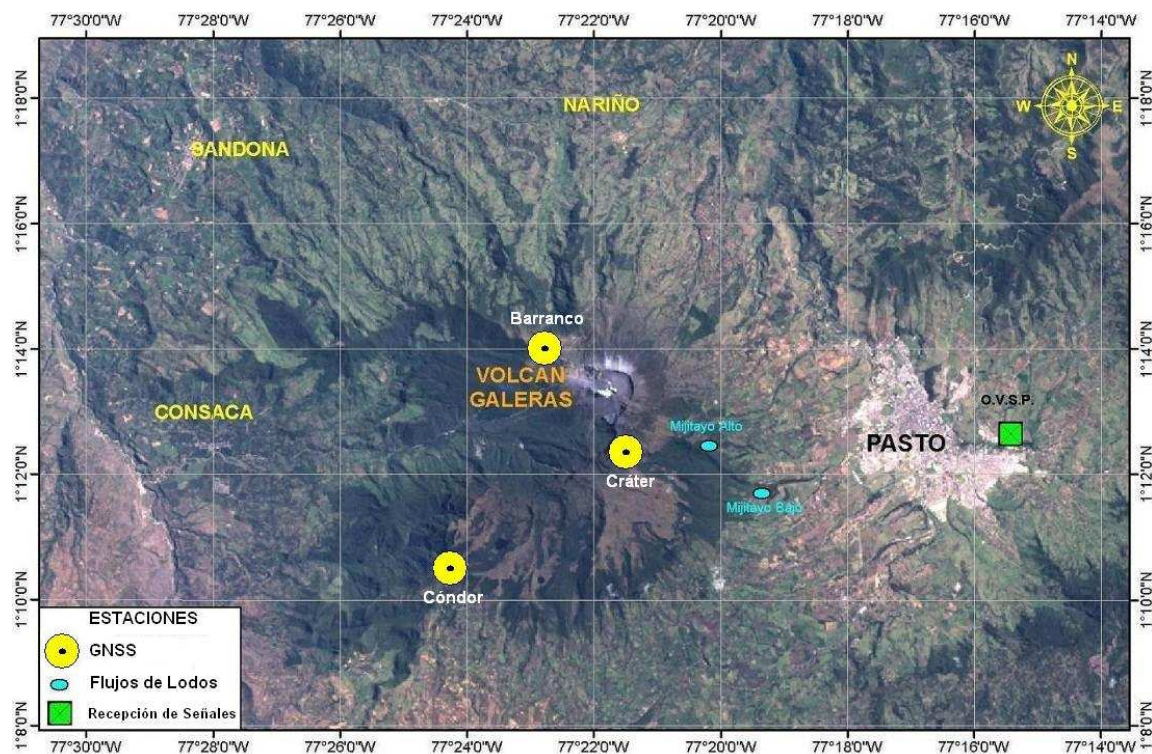


Figura 2.1.5. Mapa de localización de las estaciones para monitoreo de flujos de lodos en la quebrada Mijitayo, que nace en el volcán Galeras, y de las estaciones GNSS para monitoreo de la deformación volcánica; las cuales funcionaron durante el segundo semestre de 2011.

- Una cámara térmica FLIR para el monitoreo de anomalías térmicas en la roca, en el área del cono activo, utilizada por el personal del OVP durante reconocimientos aéreos que se realizan con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Adicionalmente, durante este semestre se

contó de forma temporal con una cámara térmica FLUKE del Observatorio Vulcanológico de Popayán (OVPO), con la que se realizaron tomas de imágenes y trabajos de validación de las capturas realizadas con la FLIR.

En este semestre se efectuaron en campo los mantenimientos preventivos y correctivos de las estaciones que conforman las redes de monitoreo volcánico de Galeras; adicionalmente, se hicieron mantenimientos en las repetidoras y equipos de recepción en la sede del Observatorio. La operatividad total de la red instrumental de Galeras fue del 90% con un registro de calidad, lo que permitió garantizar una información confiable para la apropiada evaluación de la actividad volcánica. La Figura 2.1.6. muestra el histograma del porcentaje de funcionamiento de las estaciones que conformaron la red de monitoreo sísmico, inclinometría electrónica, mediciones de gas SO₂ de Galeras, acústica, campo EM, video, monitoreo de flujos de lodos y GNSS, durante el segundo semestre de 2011. Se resalta los porcentajes bajos de funcionamiento en la estación Calabozo, debido a problemas en el radio enlace; en la estación Cóndor, porque se realizó trabajos de adecuación en el sistema de protección contra robo para la instalación de un nuevo inclinómetro, un sensor acústico y el cambio de sensor uniaxial por uno de tres componentes; en la estación de campo EM Frailejón, porque ha funcionado intermitentemente presentando inconvenientes durante tormentas eléctricas, y en la estación para monitoreo de flujos de lodos en la cual se realizó cambio de equipo después de haberlo retirado y diagnosticado su mal funcionamiento en laboratorio.

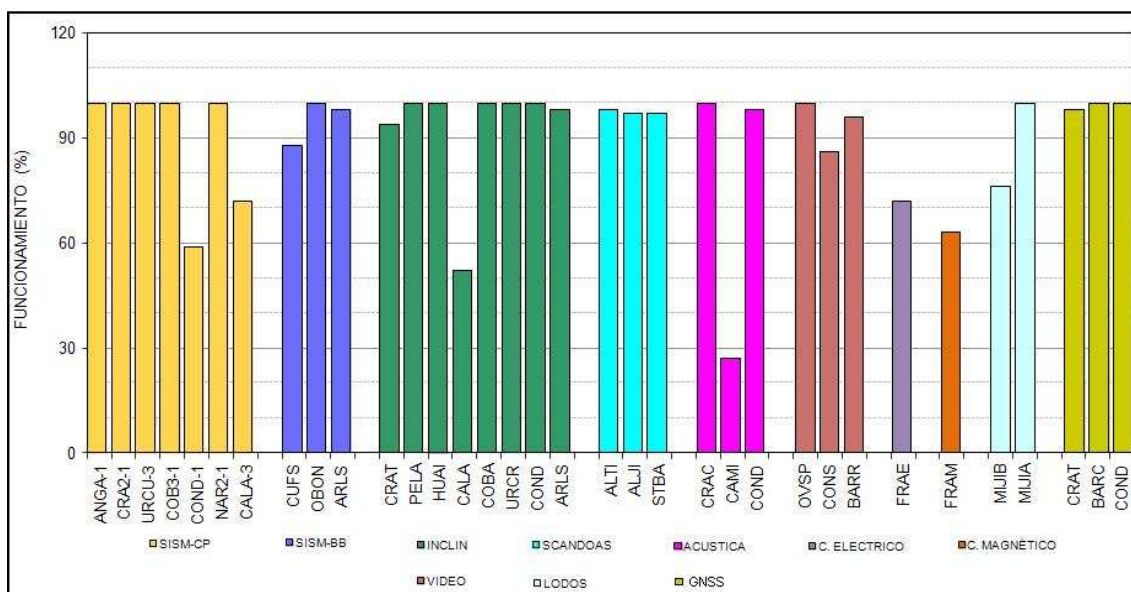


Figura 2.1.6. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el segundo semestre de 2011 (julio a diciembre), de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras.

Durante el segundo semestre de 2011, se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos tendientes a mejorar la calidad de la información. Los principales problemas presentados estuvieron relacionados con: dificultades en el enlace, daño en equipos por tormenta eléctrica, mal funcionamiento de sensores, etc. En este periodo se hicieron cambios de equipos y trabajos de mantenimiento, donde los más importantes se relacionan en la Tabla 2.1.5.



Tabla 2.1.5. Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red de Galeras, durante el segundo semestre de 2011.

FECHA	ESTACION	DESCRIPCIÓN
Julio	Alto de la Palma	Debido a problemas de descargas atmosféricas en la zona que causaron daños en los equipos, se decide realizar la instalación de un sistema de puesta a tierra independiente al de la torre de comunicaciones de movistar, además se suspende el suministro de energía alterna para instalar un panel solar y cambiar el radio modem afectado.
	Cufiño	El 21 de Julio se realiza la instalación de un acelerómetro en el mismo lugar de la estación, compartiendo tanto su sistema de protección contra robo como de alimentación eléctrica y de transmisión.
	Obonuco	El 22 de Julio se realiza la instalación de un acelerómetro en el mismo lugar de la estación, compartiendo tanto su sistema de protección contra robo como de alimentación eléctrica y de transmisión.
Agosto	GNSS Cráter	El 3 de Agosto se instala una estación GNSS en el mismo lugar de la estación Cráter.
	MIJIB	El 17 de Agosto se reinstala la estación para monitoreo de Flujos de Lodos MIJIB, que fue retirada el 8 de Junio por daños en el puerto de salida serial del digitalizador. La estación se reinstala con una tarjeta digitalizadora del USGS, que se encuentra en calidad de préstamo por el Observatorio de Popayán.
	Cóndor	El 20 de Agosto se retira la estación sismológica uniaxial Cóndor para la realización de trabajos de adecuación del sistema de protección contra robo.
Septiembre	Urcunina	El 8 de Septiembre se realiza la instalación de un inclinómetro electrónico en la estación Urcunina y se efectúa cambio de equipo, reemplazando el VCO por un modulo digitalizador encargado de cuantificar y discretizar las señales de ambos instrumentos (Sismómetro e Inclinómetro).
	Calabozo	El 12 de Septiembre se retira el sensor de presión acústica CAMI de la estación Calabozo por daños en el puerto de entrada del digitalizador.
	Obonuco	Se realiza cambio de equipo (Digitalizador y Sismómetro) en la estación banda ancha Obunuco, reemplazando un sensor Güralp CMG-3T de 120Seg a 50Hz digitalizado con un módulo CMG-DM24-S3 por un sismómetro Trillium T120 digitalizado con un módulo Taurus.
Octubre	Barranco	El 19 de octubre se realiza la instalación de la estación multiparámetro Barranco, compuesta por una cámara Web y una estación GNSS en el sector noroccidental de Galeras.
Noviembre	Cóndor	El 2 de Noviembre se recupera el registro de la estación Cóndor, compuesta ahora por un inclinómetro electrónico, un sensor de presión acústica y un sismómetro de corto periodo triaxial.
Diciembre	Arles	El 16 de Diciembre se instala la estación multiparámetro Arles, compuesta por un sensor triaxial banda ancha y un inclinómetro electrónico.
	GNSS Cóndor	El 17 de Diciembre se instala la estación GNSS Cóndor, ubicada en el flanco suroccidental de Galeras.

2.1.2 Sismología

Durante el segundo semestre de 2011, hubo una menor ocurrencia de sismos comparativamente con el primer semestre del mismo año (Figura 2.1.7, Tabla 2.1.6.). Se destaca un ligero incremento en número de sismos diarios especialmente de aquellos relacionados puramente con el movimiento de fluidos (TRE) y de movimiento de fluidos con una ligera fractura de material sólido (HYB) entre julio y agosto y entre noviembre y diciembre de 2011.

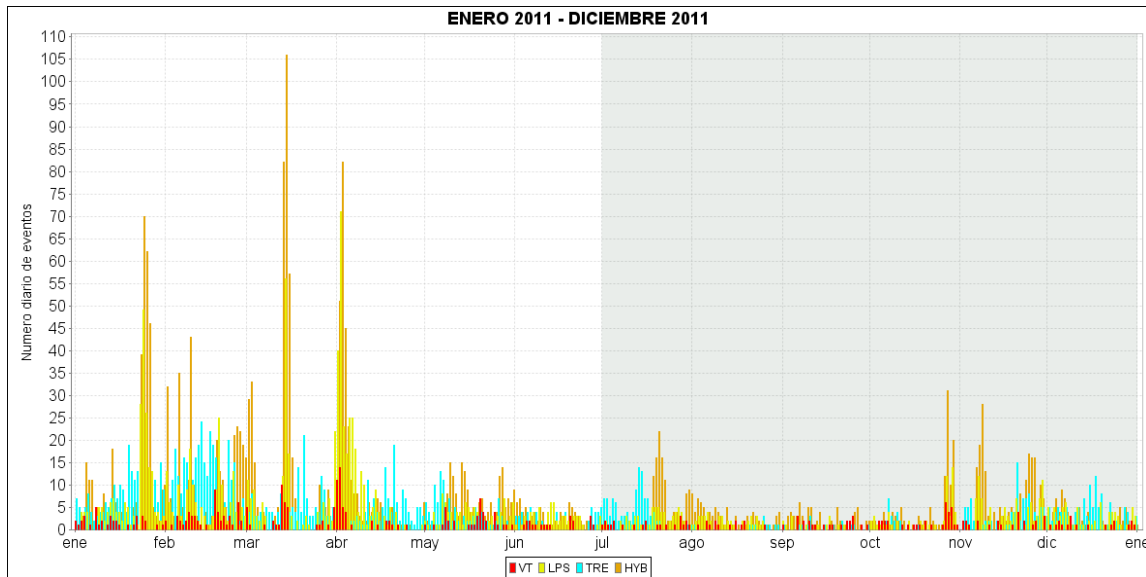


Figura 2.1.7. Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

En el segundo semestre, la energía sísmica liberada también mostró una disminución asociada con cada tipo de sismo, siendo más marcada en los eventos TRE e HYB (Figuras 2.1.8 y 2.1.9, Tabla 2.1.7.). Como se puede apreciar en la Figura 2.1.8, los sismos VT mostraron algunos picos notorios de energía liberada correspondiente a la ocurrencia de pocos sismos de amplitud significativa.

La Figura 2.1.10, muestra las relaciones porcentuales en el número y la energía liberada por tipo de sismos; mostrando resultados muy comparables en la ocurrencia de los diferentes tipos de sismos y con cierta disimilitud en la energía, predominando el aporte de los eventos de fuente transitoria en el segundo semestre.

En las Figuras 2.1.11 y 2.1.12 se muestran los histogramas anuales de número diario, número acumulado, energía diaria y energía acumulada para LPS, TRE, HYB y VT respectivamente. Se resalta el incremento en la pendiente de los acumulados de número y energía de los sismo LP a partir de noviembre de 2011, siendo la pendiente de la energía la mayor en todo el año (Figura 2.1.11 y 2.1.12.). En general, también en los acumulados de número y energía liberada se nota el incremento en los sismos TRE e HYB entre julio y agosto y entre noviembre y diciembre de 2011

(Figuras 2.1.13. a 2.1.16.). En los sismos VT se destaca el periodo entre noviembre y diciembre (Figuras 2.1.17. y 2.1.18.)

Las figuras 2.1.10. a la 2.1.18. muestran de manera gráfica el comportamiento de la sismicidad en el segundo semestre de 2009 en cuanto a su ocurrencia y energía liberada, comparándolas con lo calculado para el primer semestre de ese año.

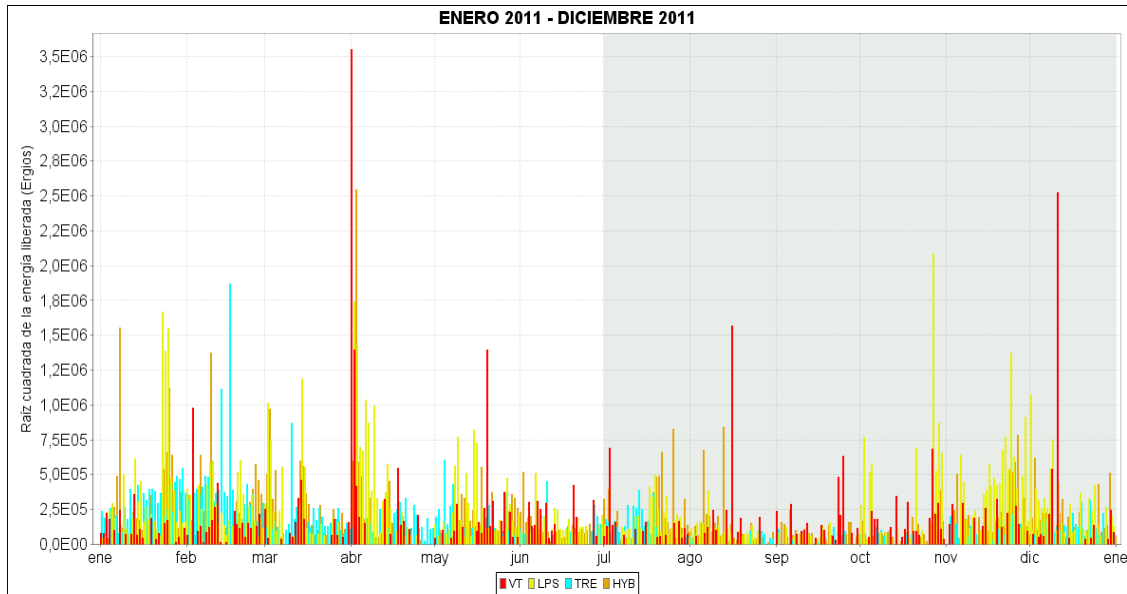


Figura 2.1.8. Histograma de energía liberada diaria, en términos de su raíz cuadrada, de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

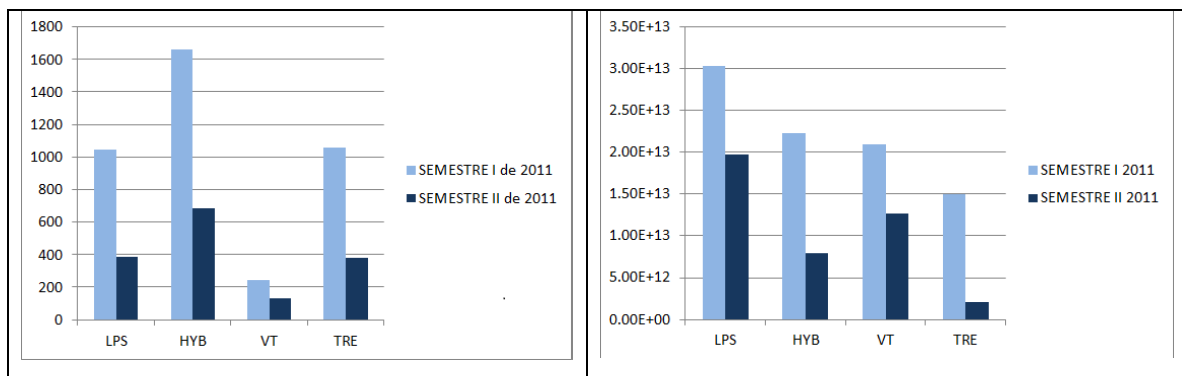


Figura 2.1.9. Relaciones comparativas de la variación de la sismicidad del segundo semestre del 2011 en comparación con el primer semestre de 2011. Izquierda, en cuanto a número de sismos y derecha, energía sísmica liberada.

Tabla 2.1.6. Número de sismos volcánicos por tipo, registrados en los periodos indicados.

TIPO DE SISMO	Semestre I de 2011	Semestre II de 2011
Largo Periodo (LP)	1046	384
Híbrido (HYB)	1658	687
Volcano-Tectónico (VT)	242	133
Tremor (TRE)	1056	377
TOTAL	4002	1581

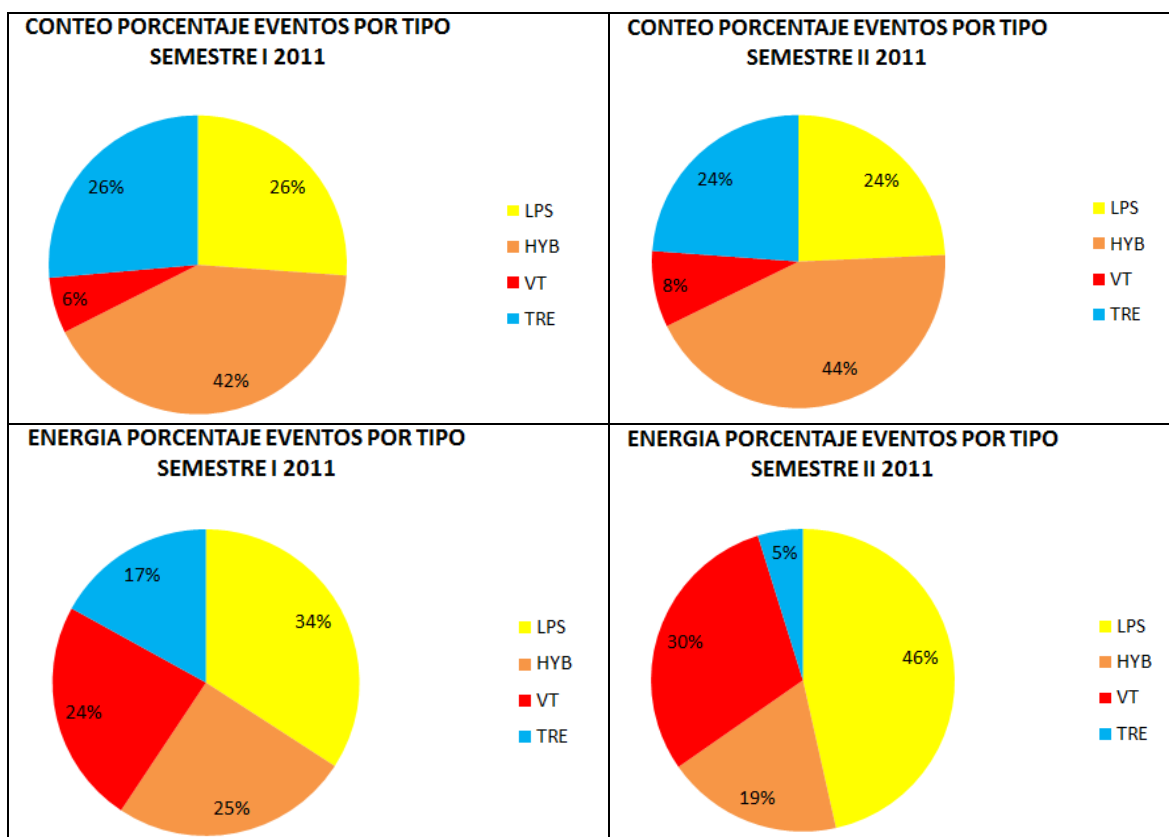


Figura 2.1.10. Relaciones porcentuales de conteo (arriba) y energía sísmica liberada (abajo) por tipo de sismos para el primer semestre de 2011 (izquierda) y el segundo semestre de 2011 (derecha).

Tabla 2.1.7. Energía sísmica liberada para cada tipo de evento, en los periodos indicados.

TIPO DE SISMO	Semestre I de 2011	Semestre II de 2011
Largo periodo (LP)	3.02E+13	1.97E+13
Híbrido (HIB)	2.23E+13	7.97E+12
Volcano-Tectónico (VT)	2.09E+13	1.27E+13
Tremor (TRE)	1.50E+13	2.04E+12
TOTAL	8.86E+13	4.24E+13

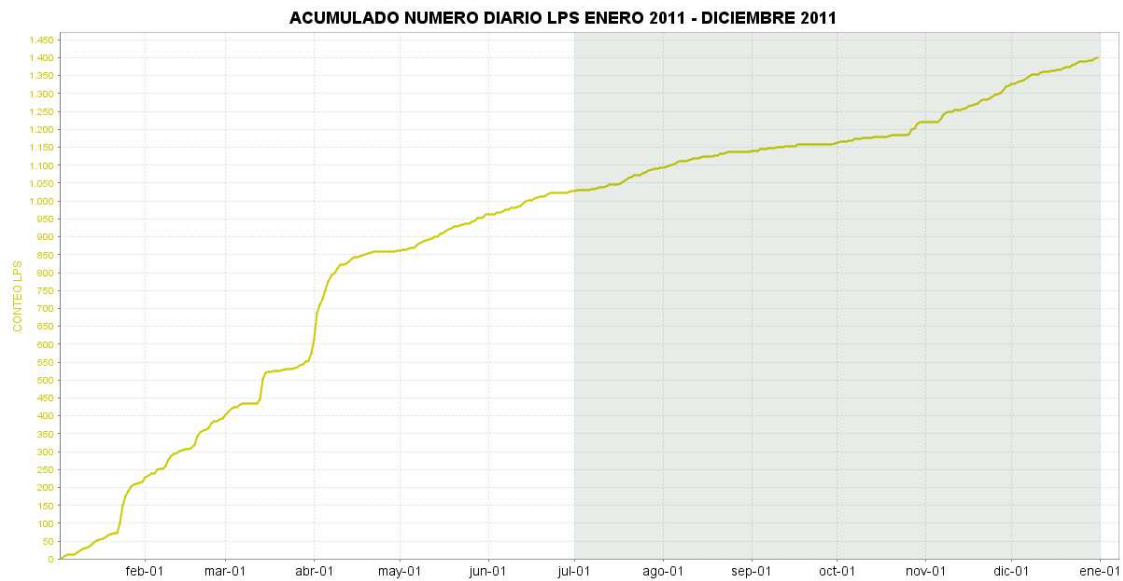
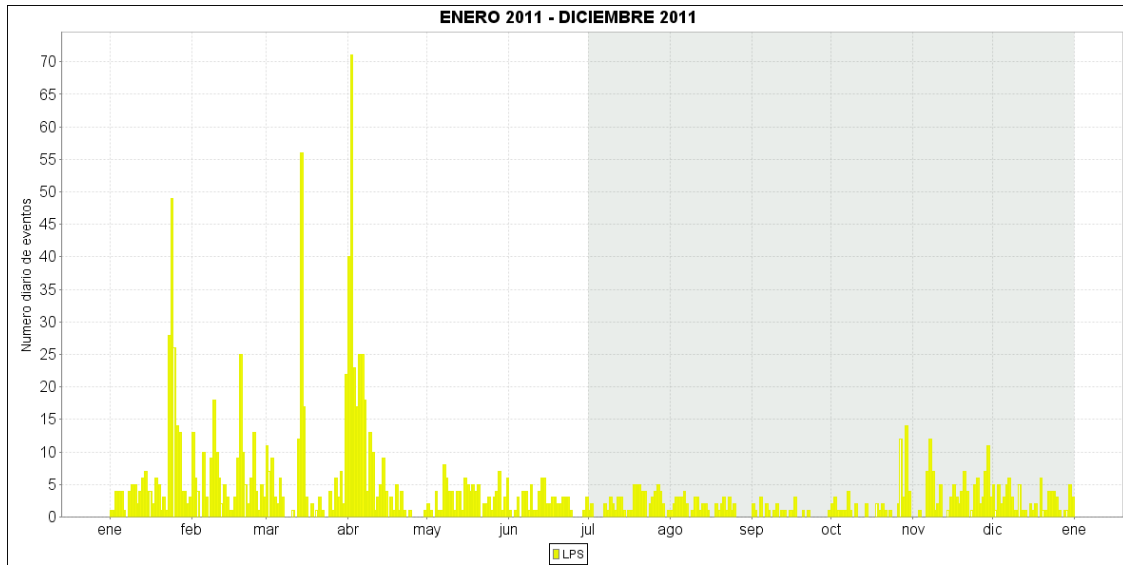


Figura 2.1.11. Histograma de número diario de sismos LP (arriba) y acumulado de sismos LP (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

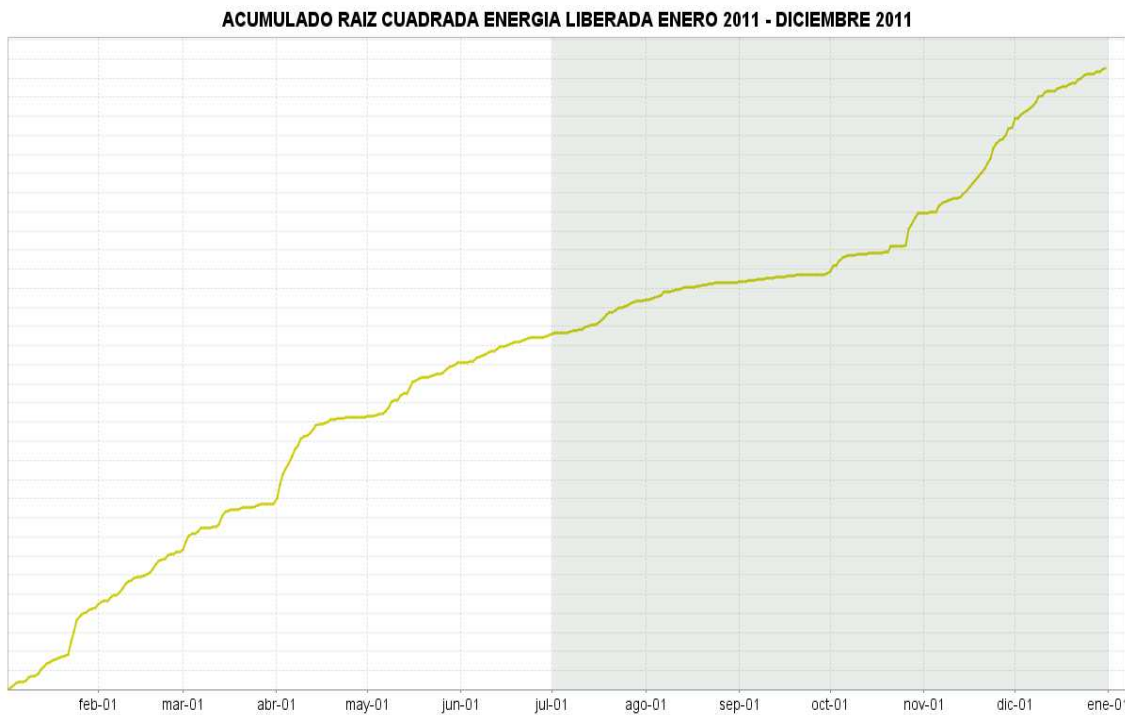
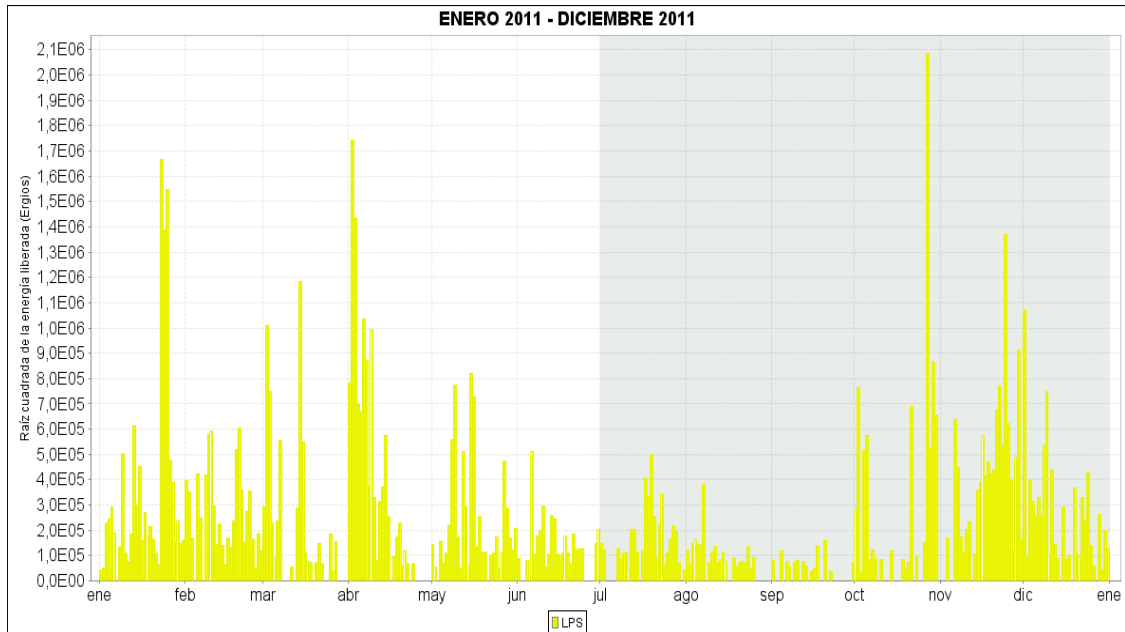


Figura 2.1.12. Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos LP (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

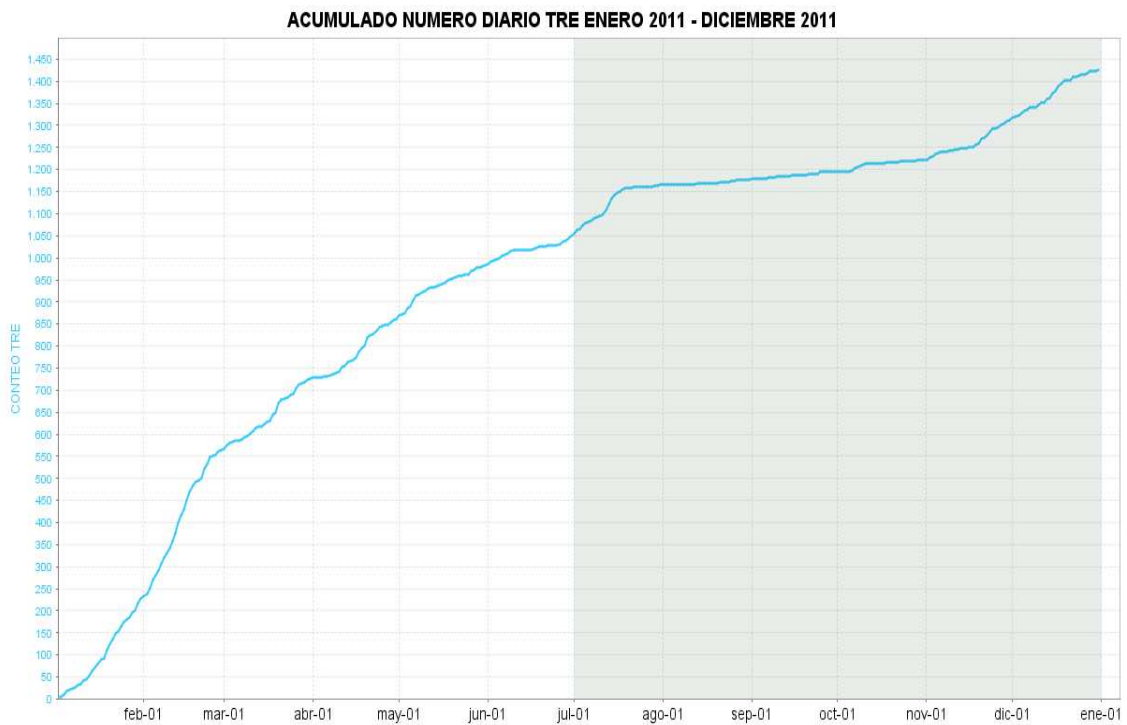
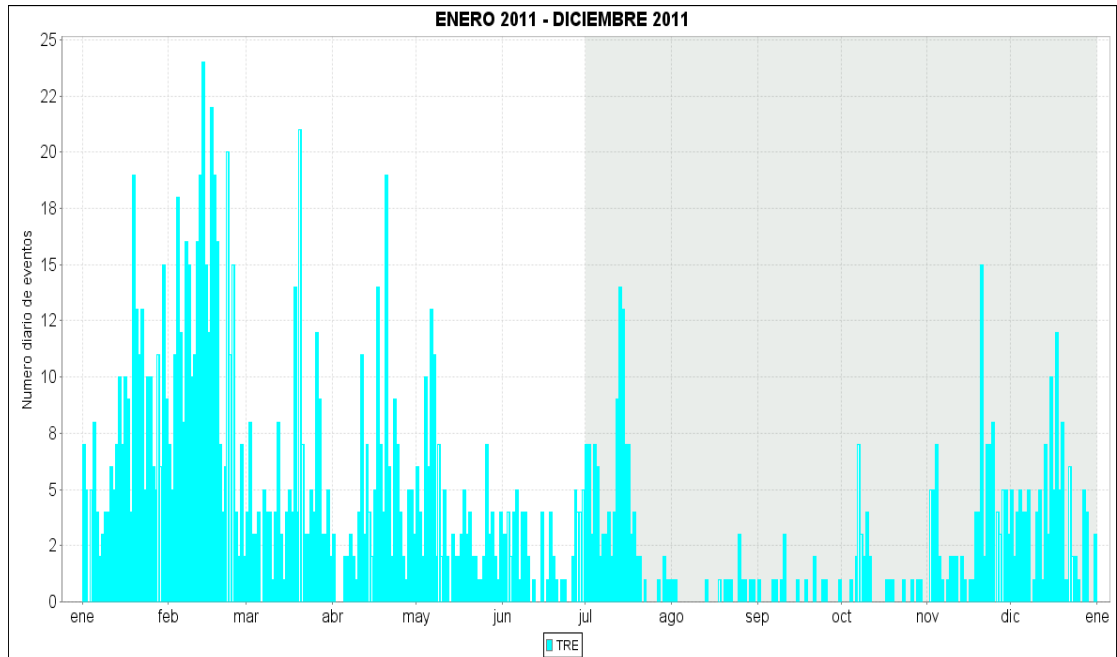


Figura 2.1.13. Histograma de número diario de episodios TRE (arriba) y acumulado de episodios TRE (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

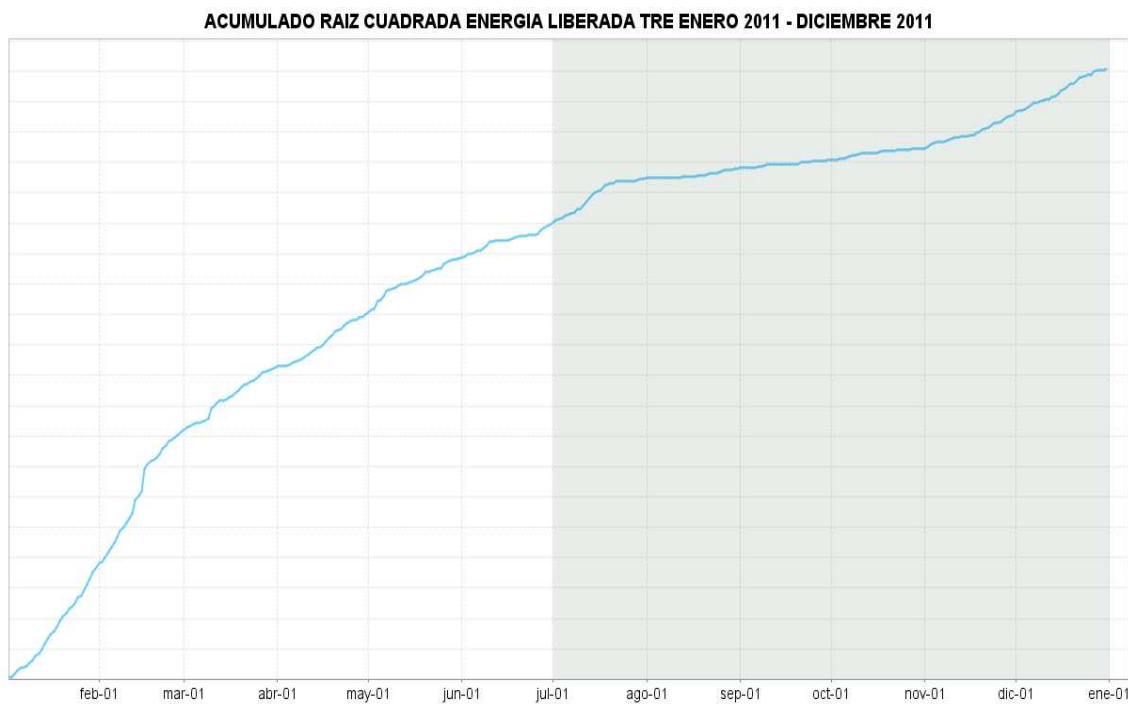
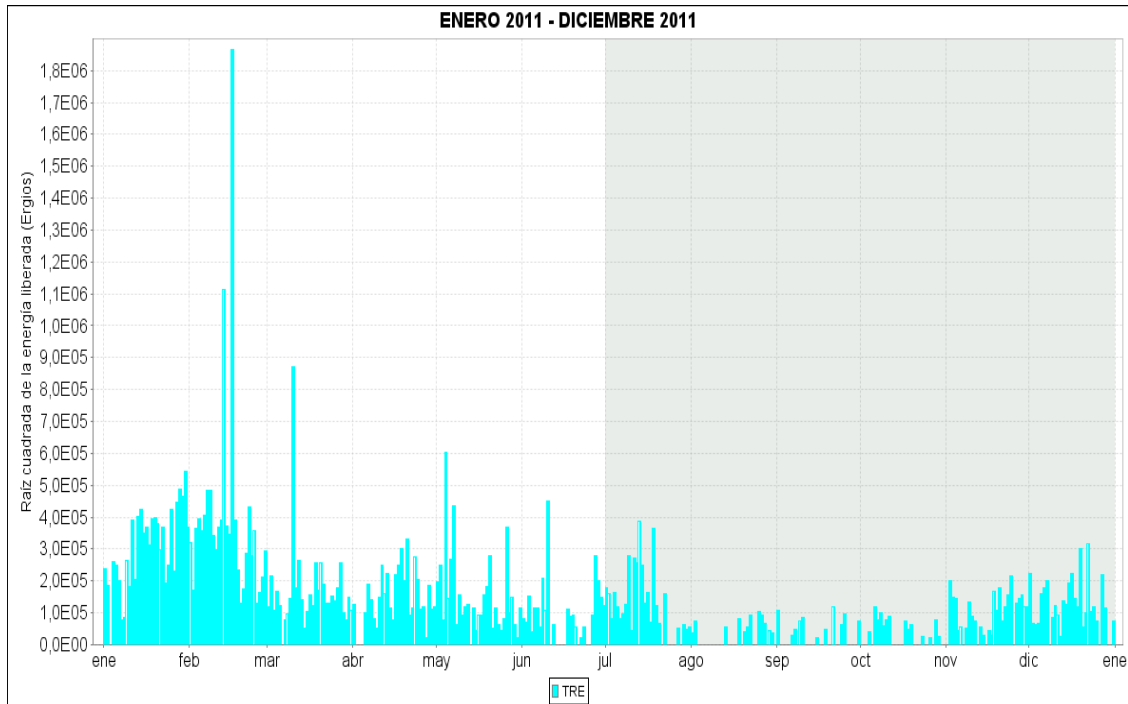


Figura 2.1.14. Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos TRE (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

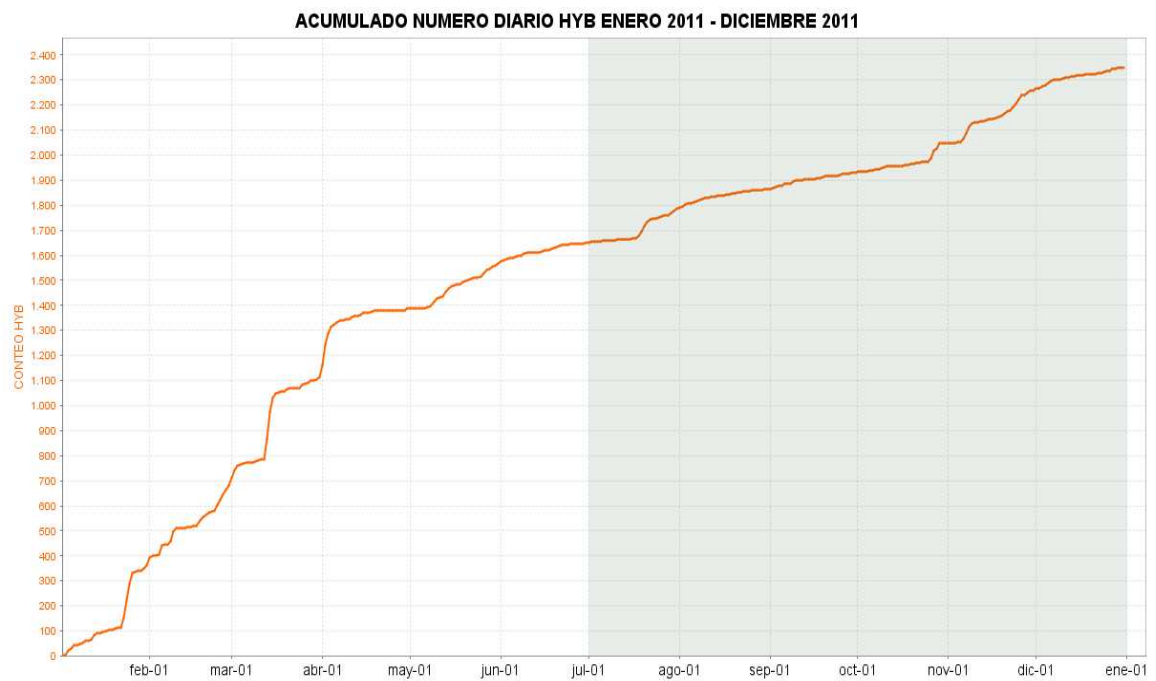
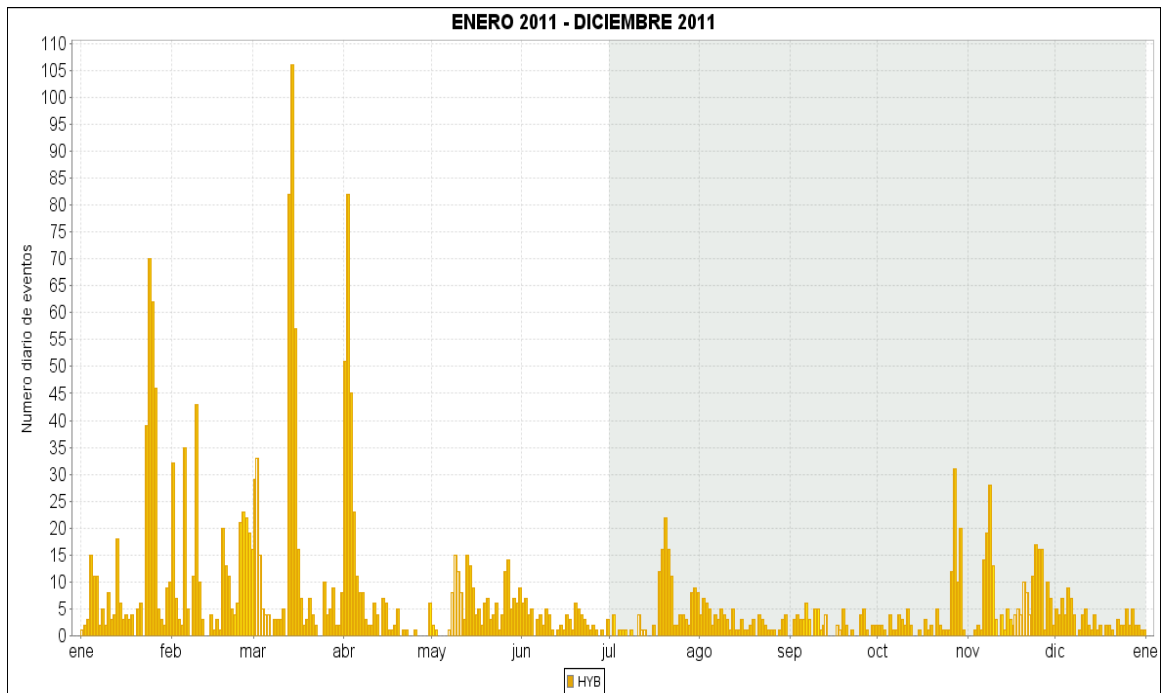


Figura 2.1.15. Histograma de número diario de sismos HYB (arriba) y acumulado de sismos HYB (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

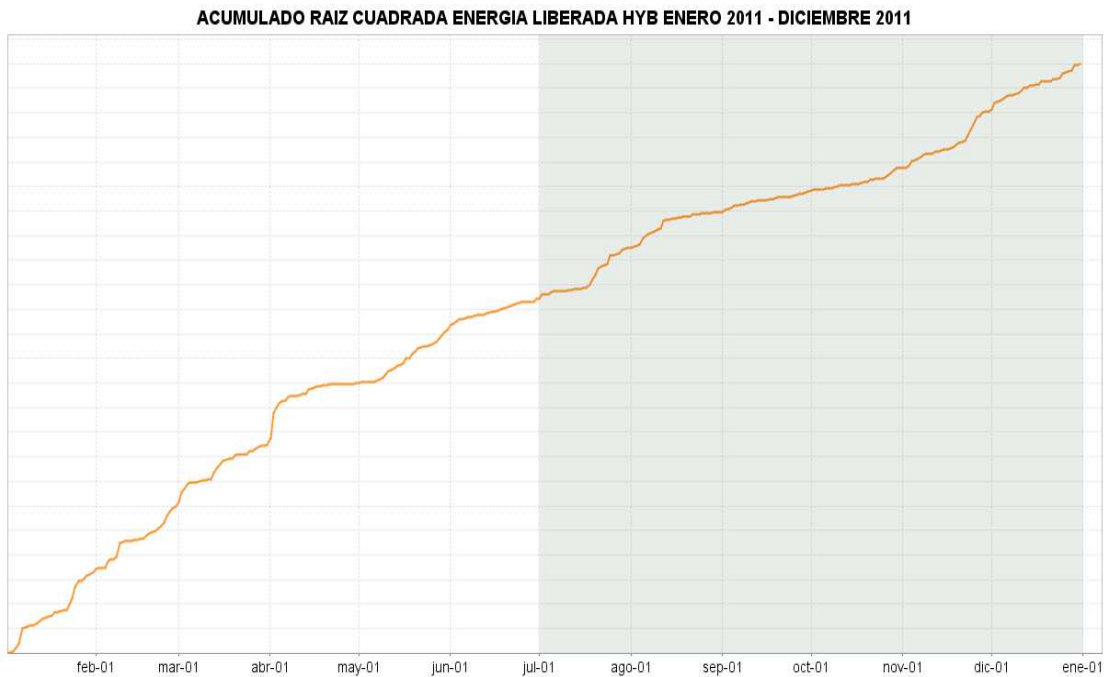
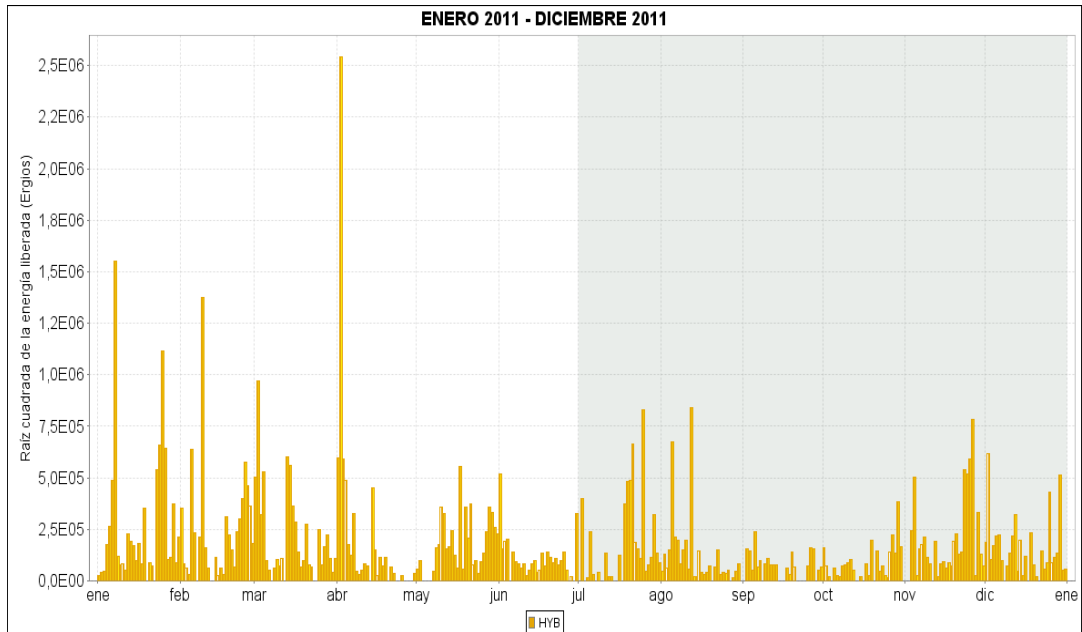


Figura 2.1.16. Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos HYB (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

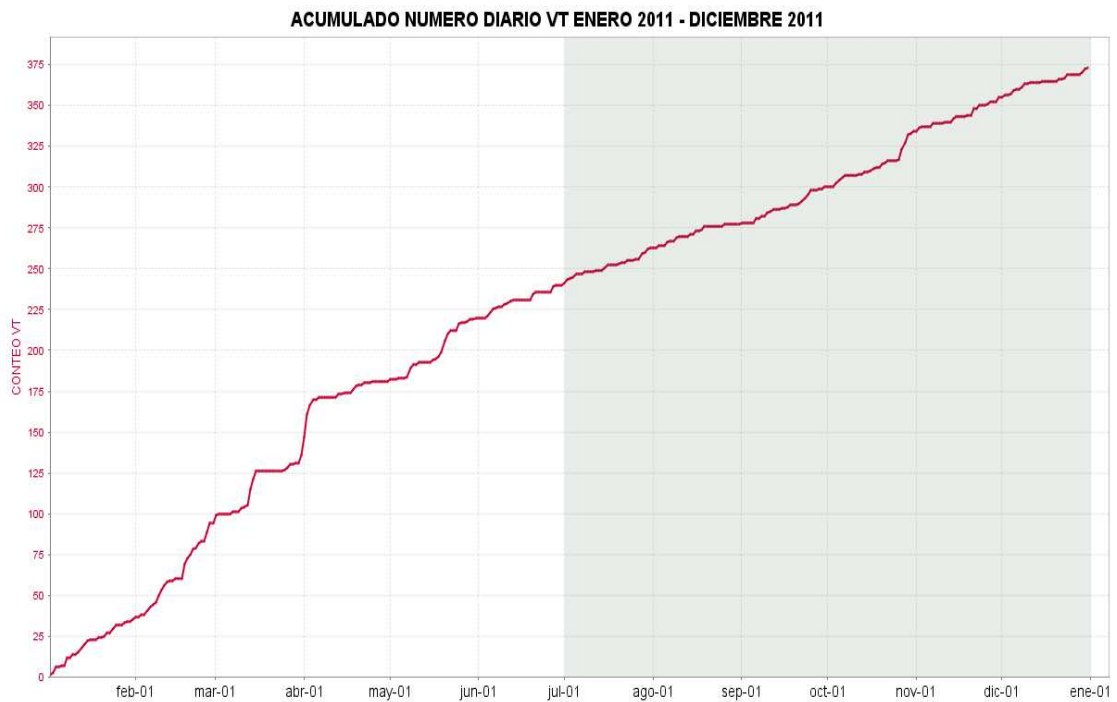
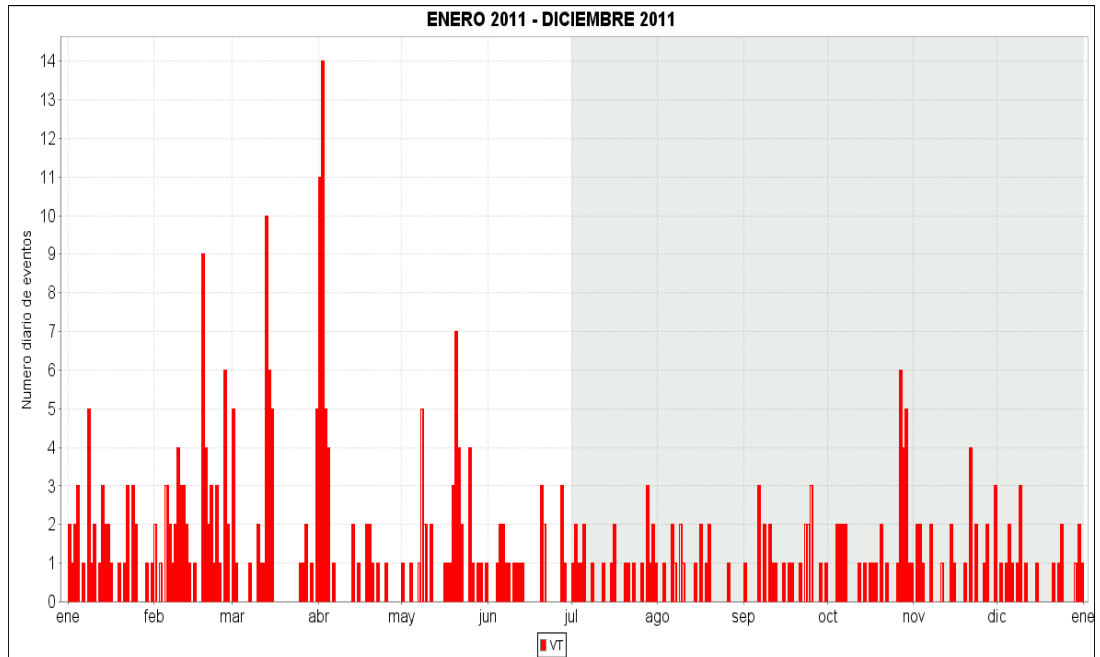


Figura 2.1.17. Histograma de número diario de sismos VT (arriba) y acumulado de sismos VT (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

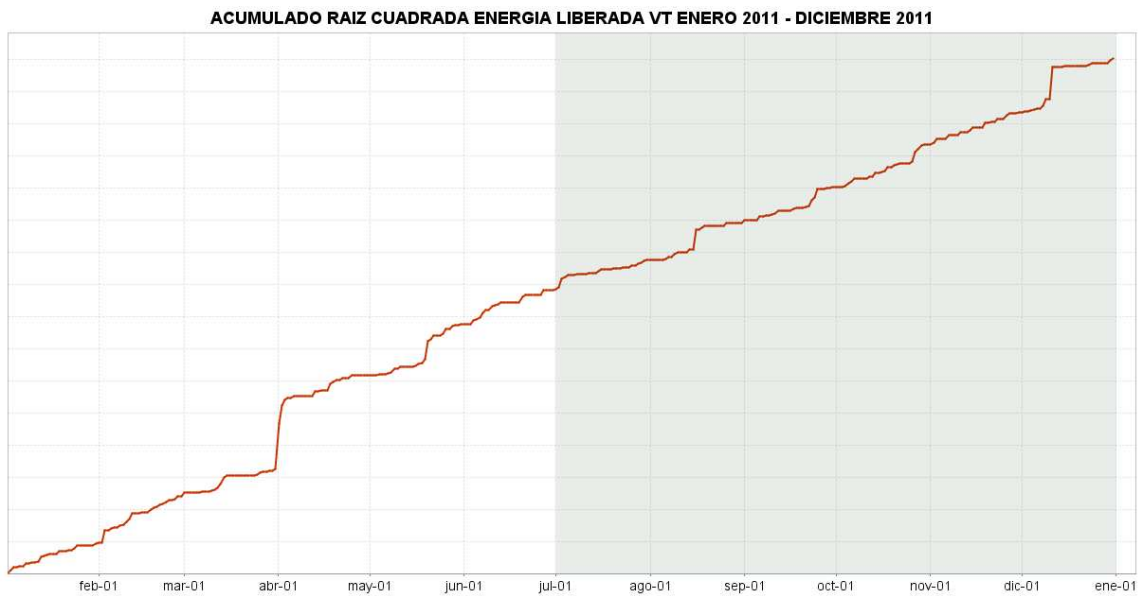
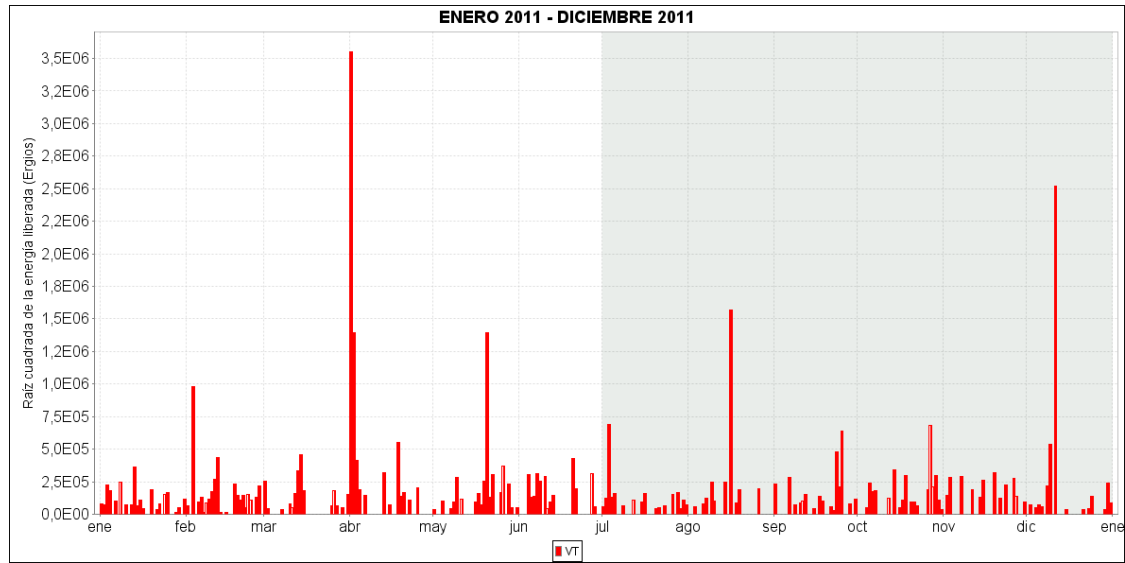


Figura 2.1.18. Histograma de energía sísmica liberada diaria de sismos VT (arriba) y acumulado de la energía (abajo) durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. La región sombreada corresponde al periodo evaluado en el presente informe.

Con relación a la distribución y evolución espacio-temporal de fuentes sísmicas, en las Figuras 2.1.19. a 2.1.22. se muestran detalles de parámetros propios de sismos VT e HYB. En la Figura 2.1.19, se distingue una sismicidad concentrada epicentralmente en inmediaciones del cráter exhibiendo un elongamiento NW-SE; adicionalmente, se aprecian otros epicentros un poco más distantes y dispersos, algunos hacia el NE del cono activo con una tendencia de alineamiento SW-

NE. En general, los sismos más cercanos al cráter son de carácter superficial y poco energéticos (Figuras 2.1.19. y 2.1.20.) y los más distantes son más profundos alcanzando los 12.5 km.

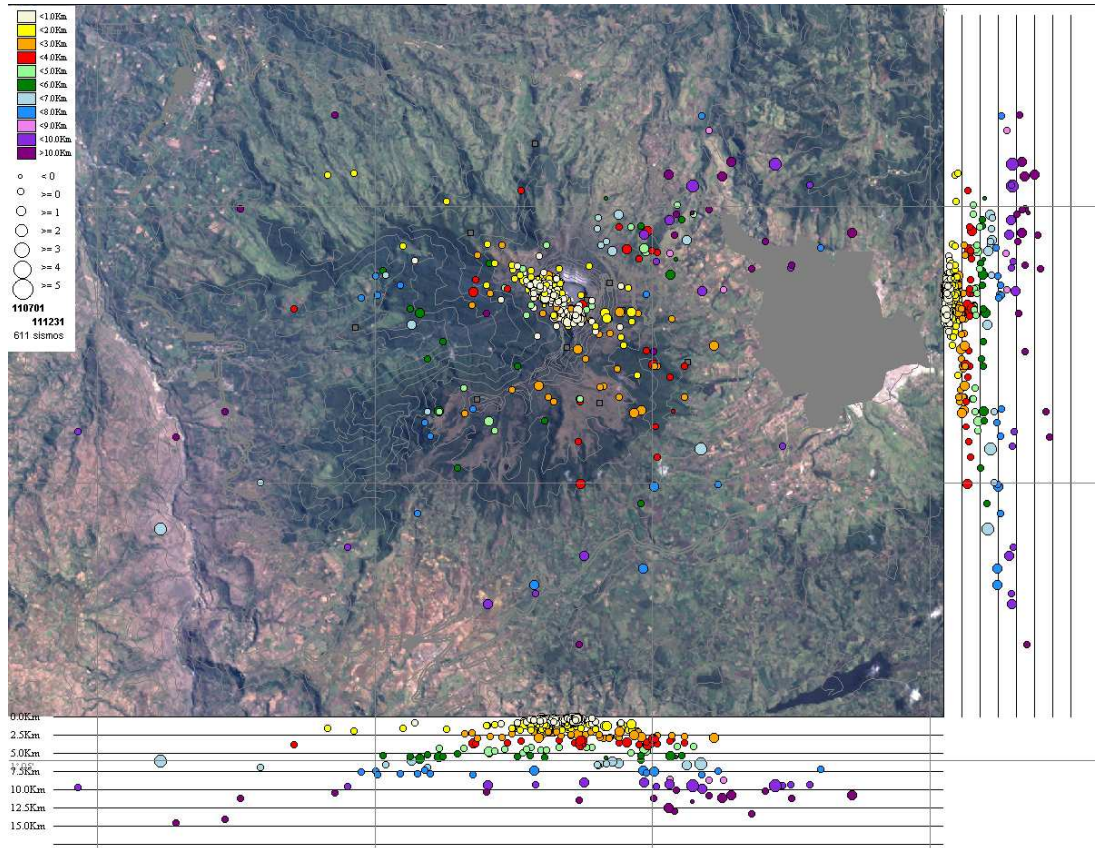


Figura 2.1.19. Hipocentros de sismos VT en la zona de influencia de Galeras durante el segundo semestre de 2011. En los cortes norte-sur (derecha) y este-oeste (abajo) cada división equivale a 2.5 Km.

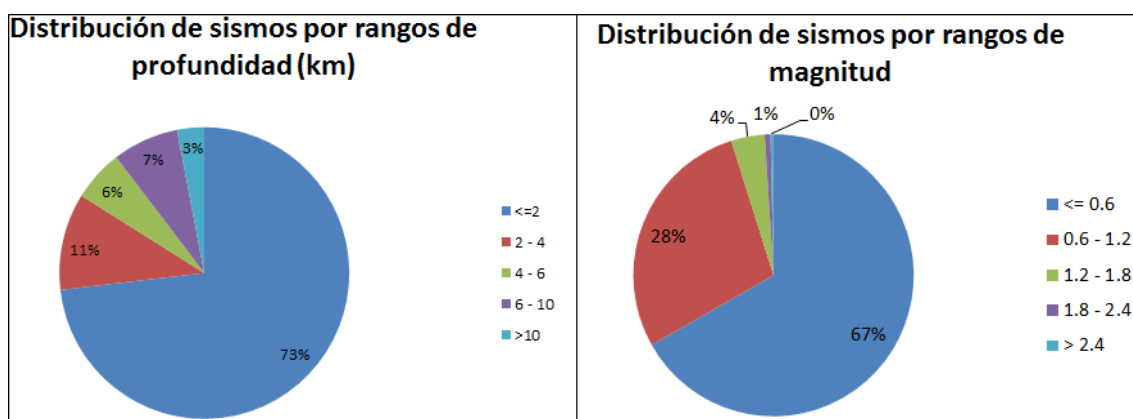


Figura 2.1.20. Relaciones porcentuales por rangos de profundidad (izquierda) y por rangos de magnitud local (derecha) para los sismos VT localizados durante el segundo semestre de 2011. A la derecha de cada diagrama se presentan sus convenciones.

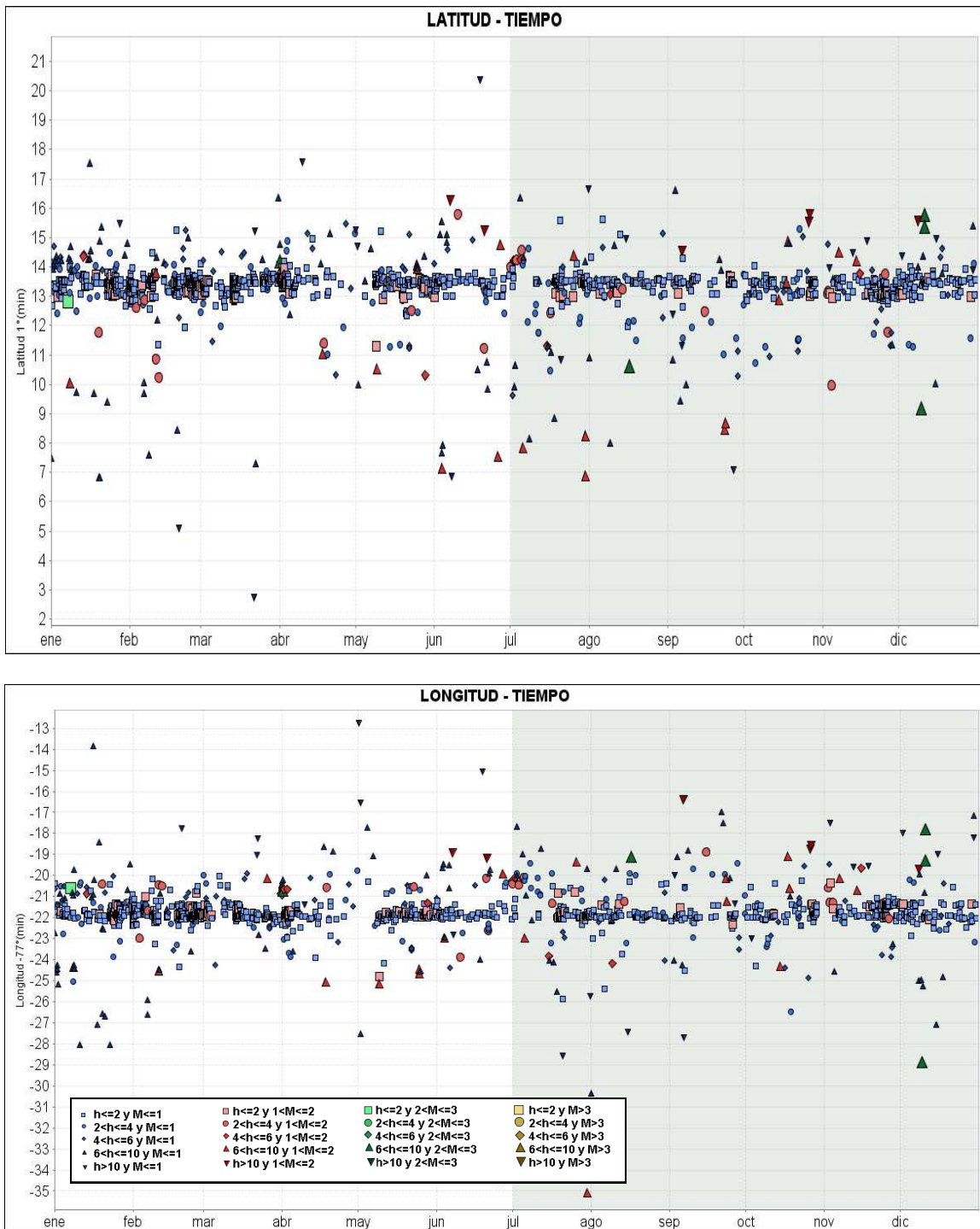


Figura 2.1.21. Evolución espacio temporal de sismos VT durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. En la gráfica superior se muestra las latitudes y en la inferior las longitudes.

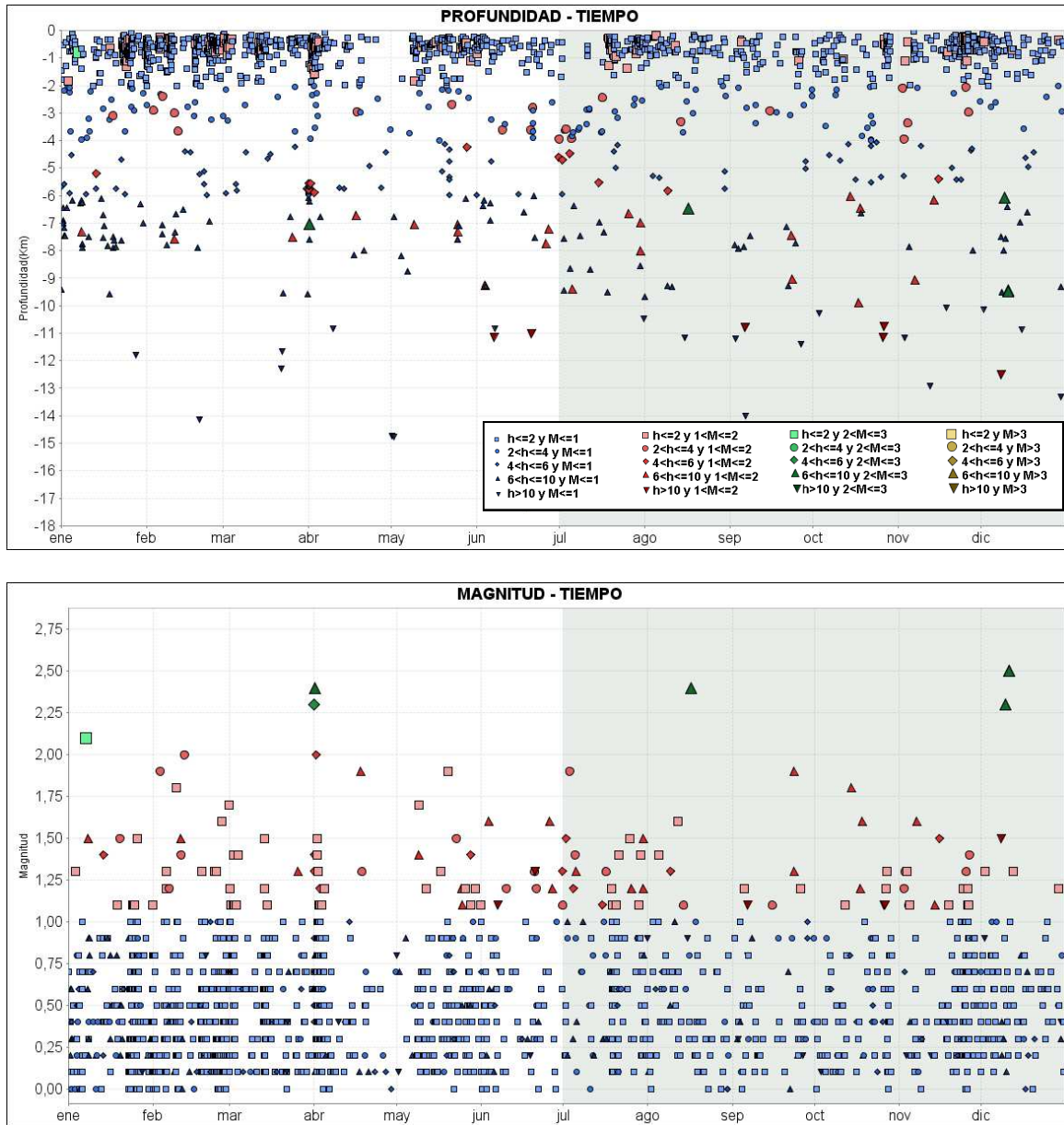


Figura 2.1.22. Evolución espacio temporal de sismos VT durante el primer semestre de 2011 y segundo semestre de 2011. En la gráfica superior se muestra las profundidades y en la inferior las magnitudes

Con base en las Figuras 2.1.21. y 2.1.22, se observa una relativa estabilidad en el comportamiento de la distribución de epicentros en latitud y longitud en el tiempo a lo largo de 2011, de la misma manera ocurre con la energía de los sismos VT e HYB. En el transcurso del segundo semestre de 2011, se nota un ligero incremento en el número de sismos con mayores profundidades respecto al primer semestre.

Como sucesos más relevantes durante el segundo semestre de 2011 se destaca lo siguiente:

De la sismicidad ocurrida en julio de 2011, sobresale el registro de algunos eventos relacionados con movimiento de fluidos (TRE, LPS), mostrando, en su espectro de Fourier, algunos picos de frecuencias dominantes bien definidos, particularmente en las bajas frecuencias. A manera de ejemplo, se ilustran los eventos de las Figuras 2.1.23. a 2.1.29.

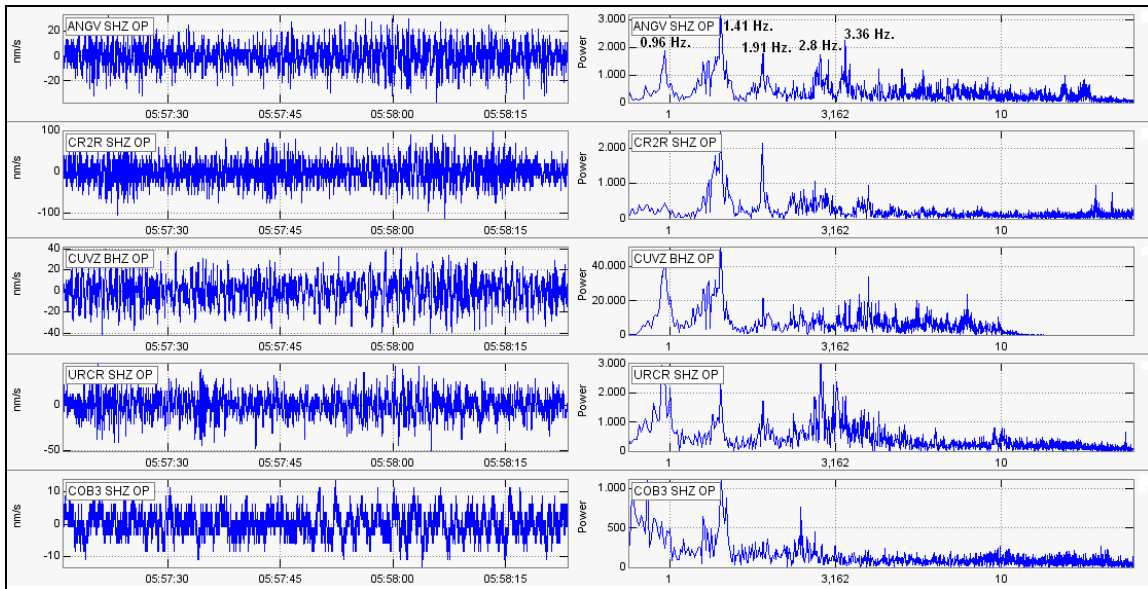


Figura 2.1.23. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento TRE (armónico), registrado el 1 de julio de 2011 a las 00:57 a.m. las estaciones sísmicas de Galeras.

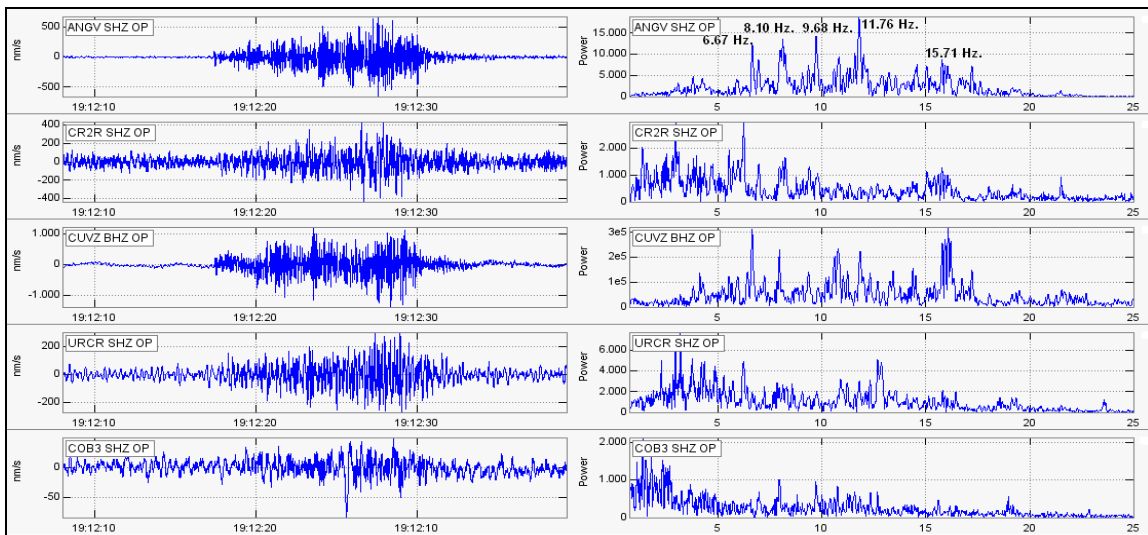


Figura 2.1.24. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS, registrado el 1 de julio de 2011 a las 2:12 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.

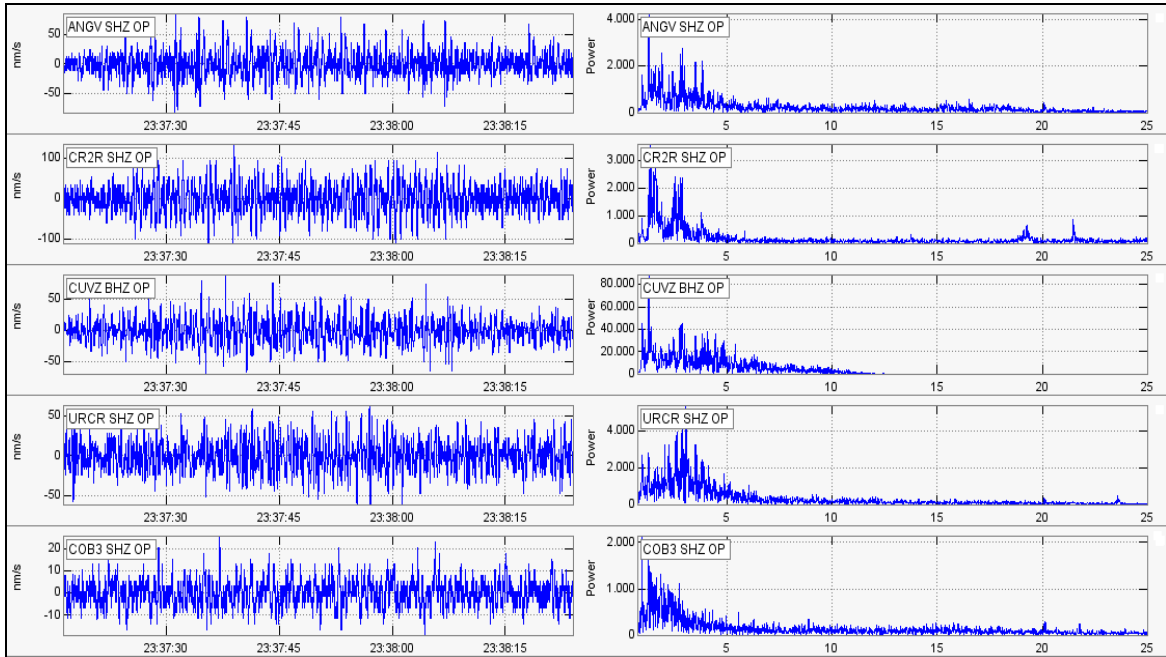


Figura 2.1.25. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento TRE, registrado el 4 de julio de 2011 a las 6:37 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.

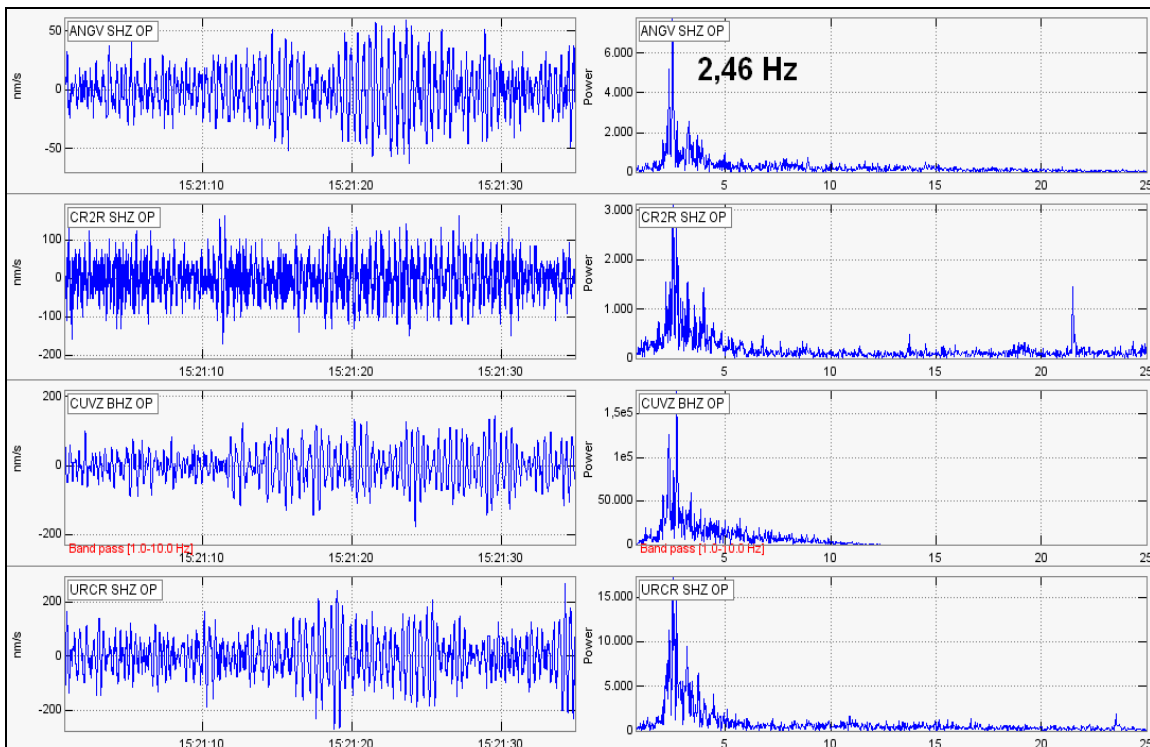


Figura 2.1.26. Sismogramas y espectros en frecuencia de evento TRE, registrado el 6 de julio de 2011 a las 10:20 a.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.

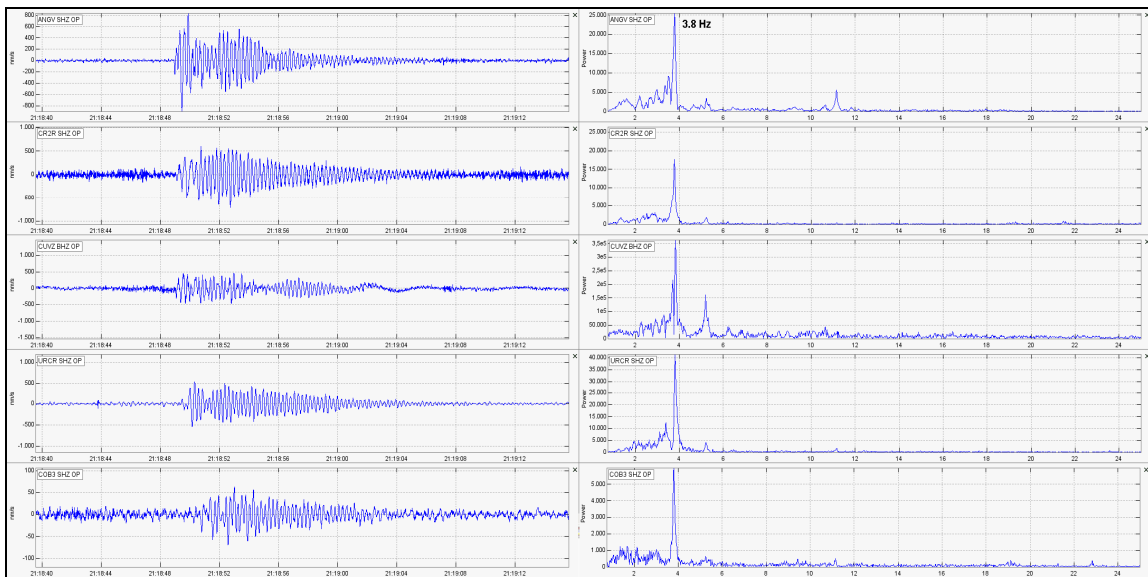


Figura 2.1.27. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS, registrado el 20 de julio de 2011 a las 4:18 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.

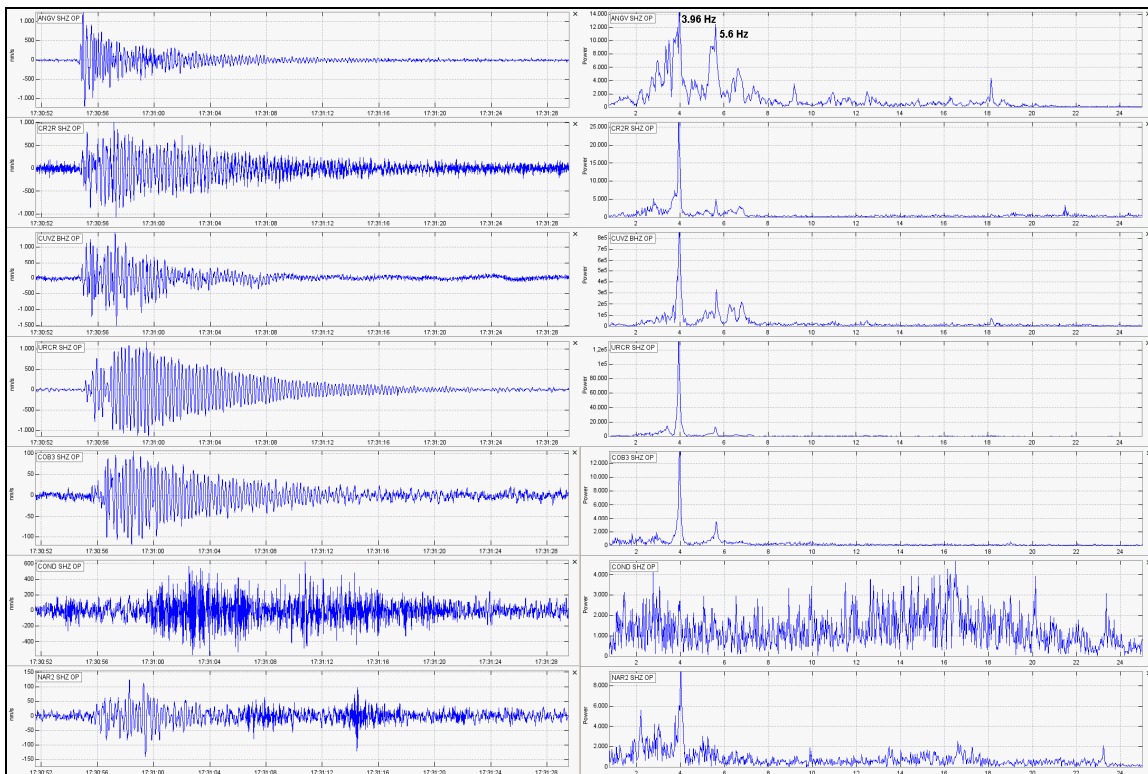


Figura 2.1.28. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS, registrado el 20 de julio de 2011 a las 12:30 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.

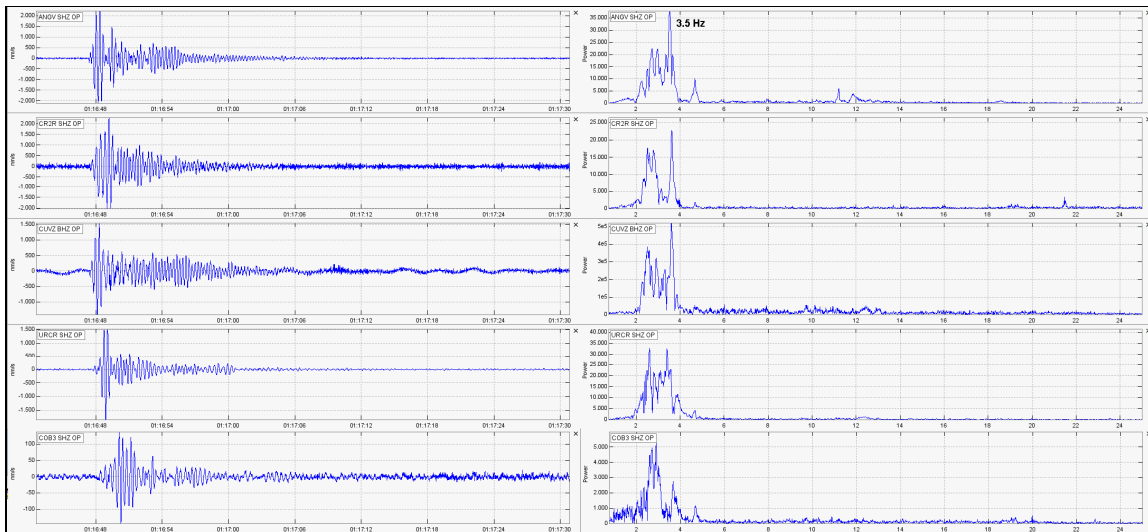


Figura 2.1.29. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS, registrado el 20 de julio de 2011 a las 8:16 p.m. por las estaciones sísmicas de Galeras.

En la figuras 2.1.30. y 2.1.31. se muestra el sismograma y espectro de dos señales registradas en septiembre de 2011.

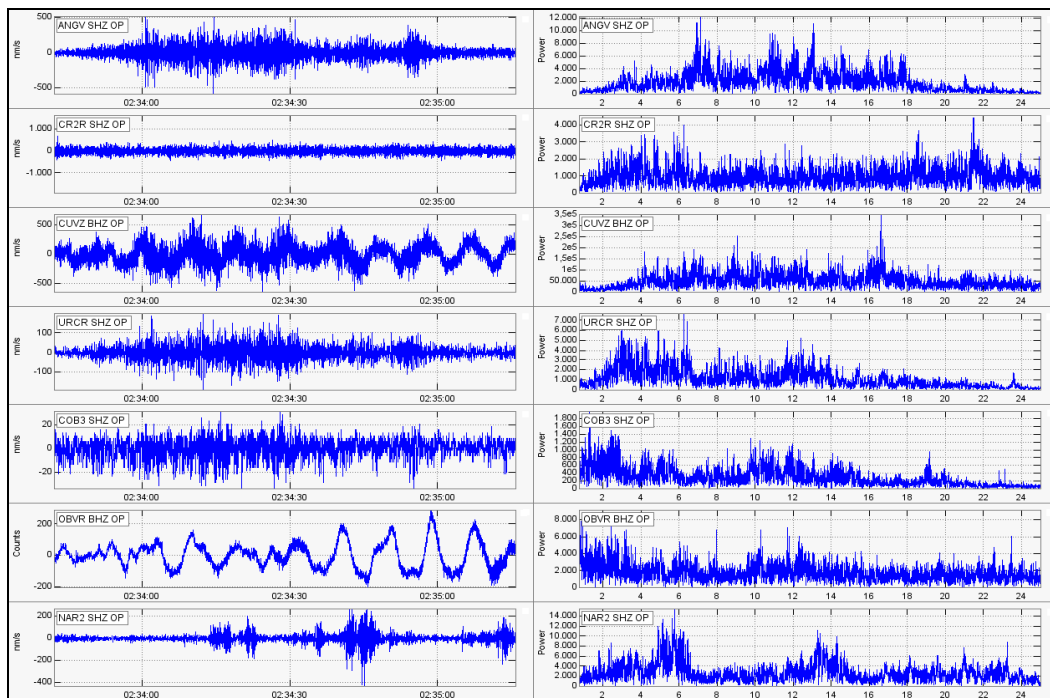


Figura 2.1.30. Sismogramas y espectros en frecuencia del episodio de tembor espasmódico (TRE), registrado el 1 de septiembre de 2011 a las 9:33 p.m. por algunas de las estaciones sísmicas de Galeras.

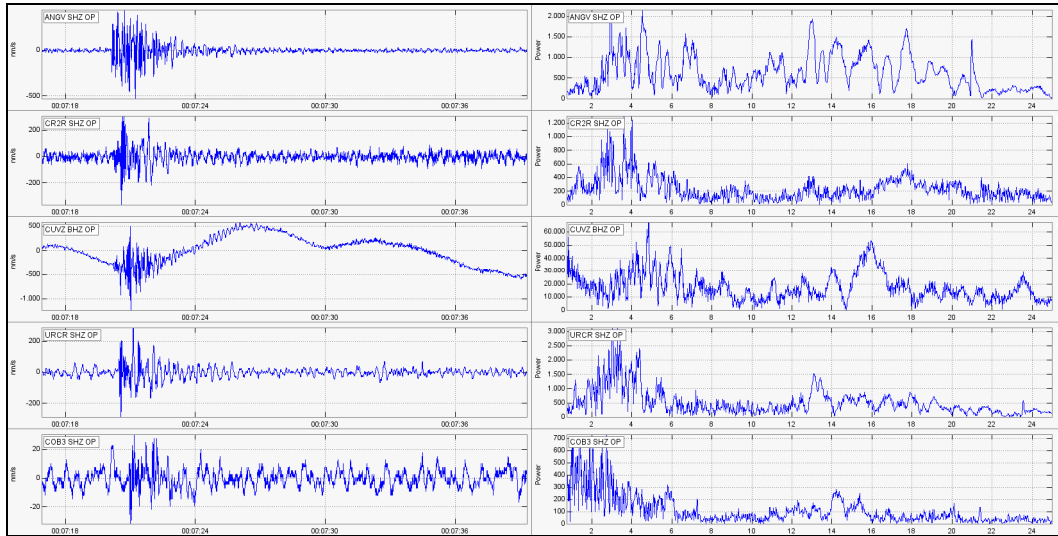


Figura 2.1.31. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento HYB, registrado el 3 de septiembre de 2011 a las 7:07 p.m. por algunas de las estaciones sísmicas de Galeras.

En octubre de 2011 los eventos LPS se caracterizaron por mostrar, en su representación espectral, frecuencias dominantes menores a los 10 Hz. La Figura 2.1.32., exhibe a manera de ejemplo los sismogramas y los espectros en frecuencia de uno de estos eventos.

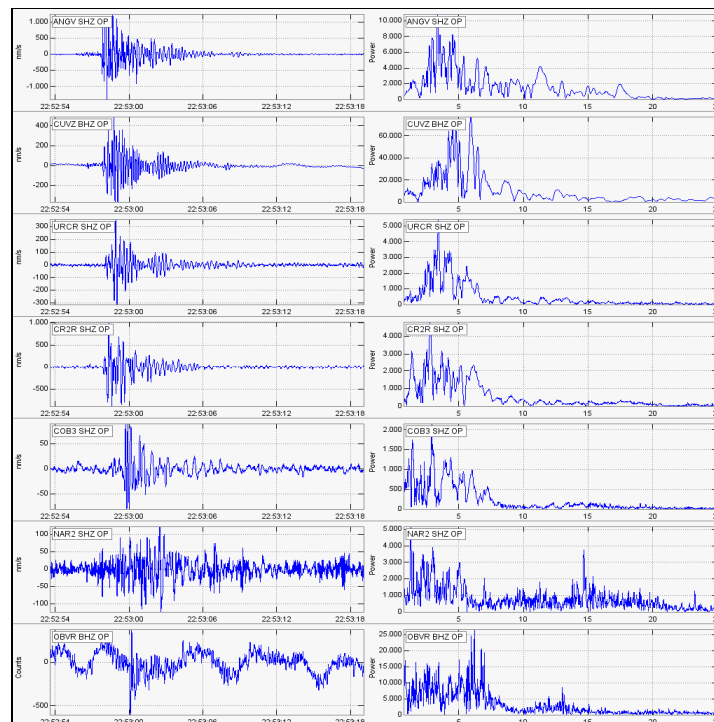


Figura 2.1.32. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento LPS registrado el 23 de octubre de 2011 a las 5:52 p.m.

En la Figura 2.1.33. se muestra un enjambre de sismos registrado entre el 25 y 30 de octubre de 2011. En este periodo se registraron un total de 189 sismos, de los cuales 132 alcanzaron el umbral de tamaño para ser clasificables.

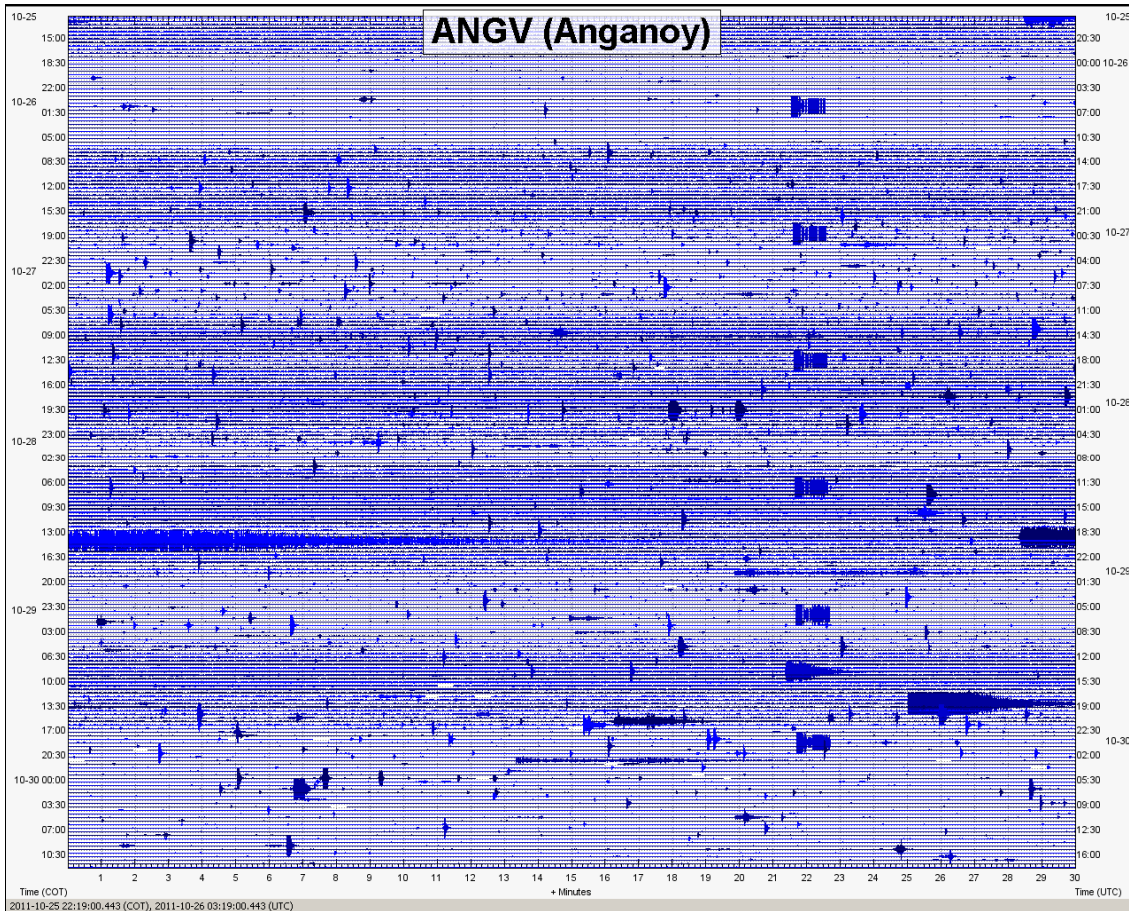


Figura 2.1.33. Sismograma en la estación sísmica de corto periodo ANGANOY del enjambre de sismos registrado entre el 25 y 30 de octubre de 2011.

A partir del 7 de noviembre de 2011, se resalta la ocurrencia de 22 sismos LPS, de los cuales 20 se clasificaron como tornillos (TOR) debido a su lento decaimiento de la coda y su carácter casi-monotónico y los dos restantes como Pseudo-tornillos (PST) debido a su carácter de transición. La ocurrencia de estos eventos se asoció en parte a una componente hidrotermal que podría involucrar la temporada invernal con fuertes lluvias. El primer evento TOR se registró el 7 de noviembre a las 10:47 de la noche, y el último se registró el 11 de diciembre a las 12:39 p.m.

En la Figura 2.1.34. se aprecia las frecuencias dominantes y algunas subdominantes de los eventos TOR registrados en noviembre y diciembre, así como su distribución en el tiempo, distinguiéndose tres periodos, el primero entre el 8 y el 16 de noviembre en donde se nota la mayor variación en las frecuencias, el segundo entre el 21 y 29 de noviembre alcanzó los valores más bajos de frecuencia y

el último desde el 3 de diciembre con ocurrencia muy esporádica. La Figura 2.1.35. muestra los espectros en frecuencia de estos sismos destacándose el carácter cuasi-monotónico.

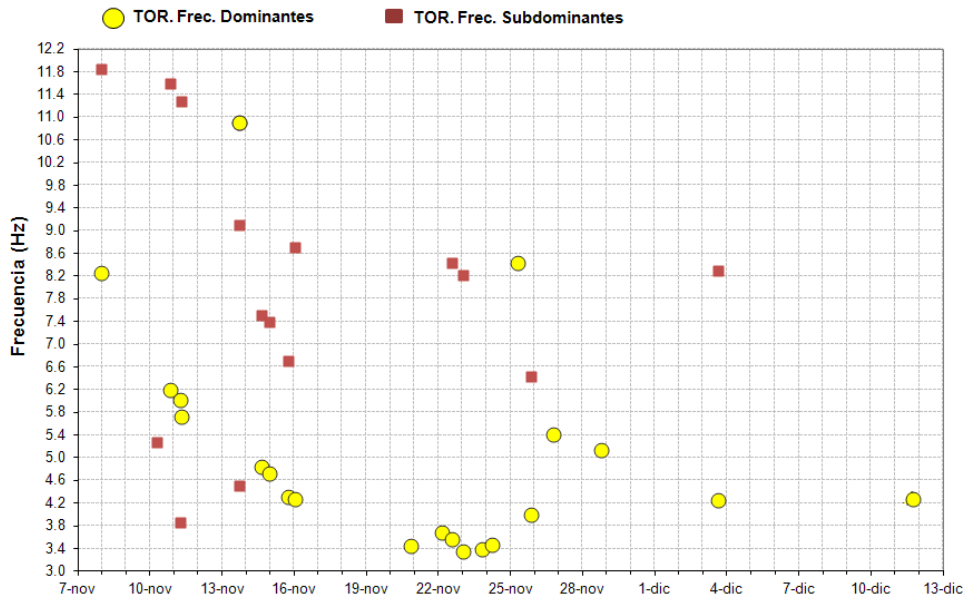


Figura 2.1.34. Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR registrados en el mes de noviembre de 2011.

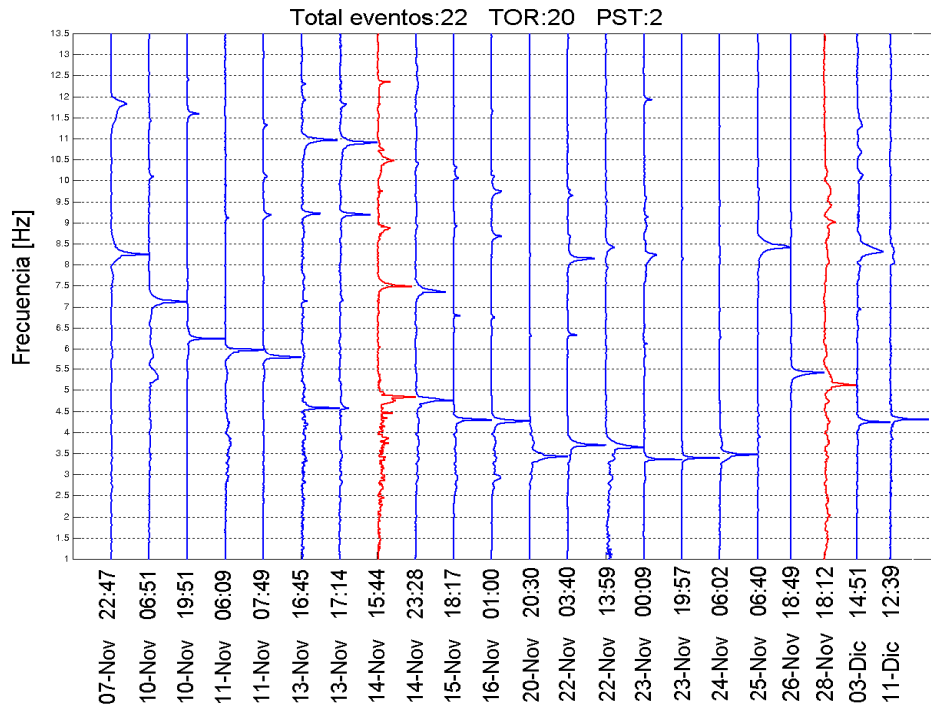


Figura 2.1.35. Frecuencias mostradas por los eventos tipo TOR y PST registrados en el mes de noviembre de 2011.

A manera de ejemplo de eventos TOR registrados en noviembre se presentan las Figuras 2.1.36. y 2.1.37.

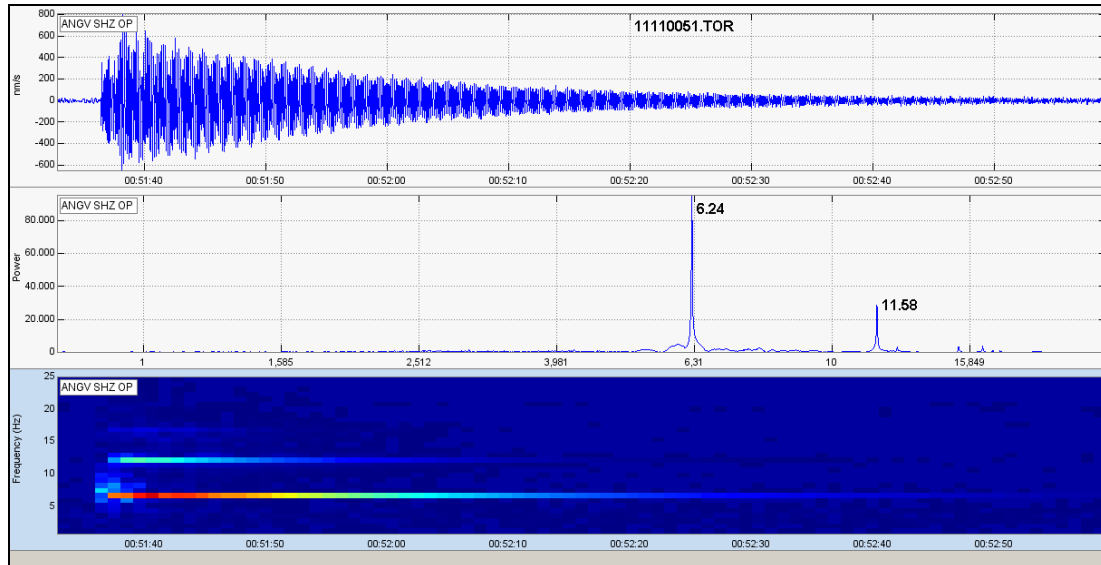


Figura 2.1.36. Sismograma, espectro y espectrograma del evento TOR registrado el 10 de noviembre de 2011 a las 7:51 p.m. en el volcán Galeras.

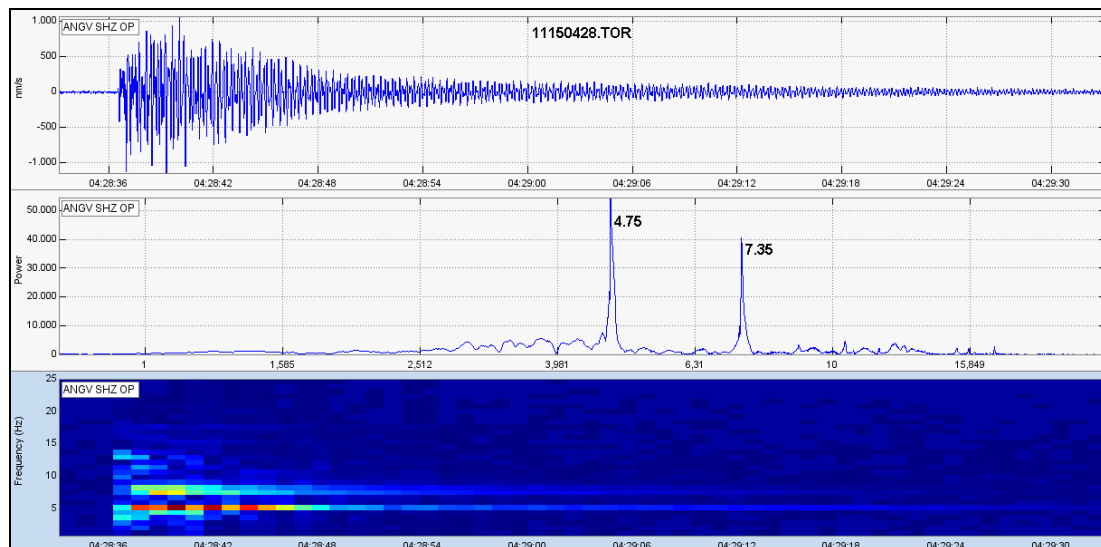


Figura 2.1.37. Sismograma, espectro y espectrograma en frecuencia del evento TOR registrado el 14 de noviembre de 2011 a las 11:28 p.m. en el volcán Galeras.

De igual manera, se resalta la ocurrencia de varios enjambres sísmicos, eventos en su mayoría de tipo LP e HYB. En la Figura 2.1.38. se muestra a manera de ejemplo el enjambre registrado el 27 y 28 de noviembre de 2011.

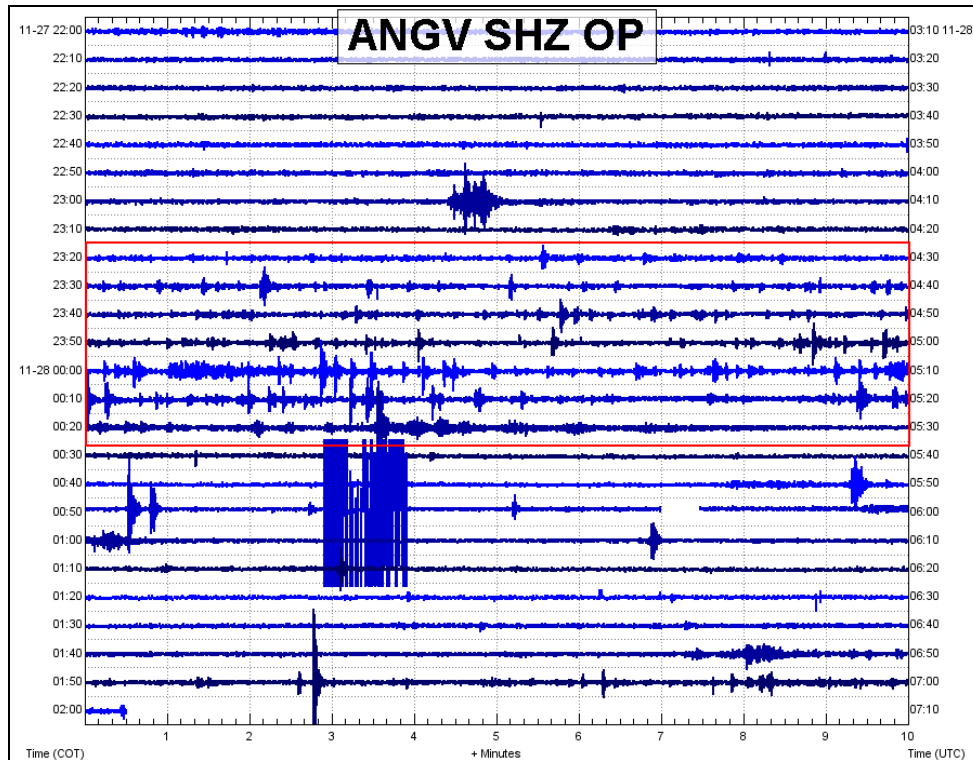


Figura 2.1.38. Sismograma de la estación ANGANOY, ubicada a 0,8 km al ESE de edificio volcánico de Galeras. En el recuadro rojo se destaca el enjambre sísmico registrado entre el 27 y 28 de noviembre de 2011.

2.1.3 Deformación

El estado y características de un volcán pueden variar a través del tiempo y es por ello que surge el monitoreo volcánico, el cual consiste en la vigilancia y estudio de los cambios ocurridos en diferentes fases del estado de un volcán mediante la aplicación de una serie de disciplinas y técnicas tanto tradicionales como modernas. Uno de estos cambios es la deformación de la superficie volcánica, la cual puede ser provocada, entre otras causas, por movimiento de magma, cambios en el estado de esfuerzos de la corteza terrestre bajo el volcán o por variaciones de presión interna.

Para el monitoreo de estos cambios en superficie, en el segundo semestre de 2011, el volcán Galeras contó con una red compuesta por 8 inclinómetros electrónicos telemétricos, una primera línea de control EDM la cual está formada por 11 prismas reflectores y dos Bases, y como complemento en este semestre se adoptó el monitoreo con estaciones GNSS, con la instalación de 3 receptores GNSS (Sistema Global de Navegación Satelital). Para la ubicación e instalación de las estaciones dedicadas al monitoreo de las deformaciones reflejadas en la superficie del volcán, se tiene en cuenta varios parámetros como la geomorfología del sitio, el sector del edificio volcánico a cubrir, distancia con respecto al cráter, la estación de monitoreo más cercana, acceso al sitio y lo principal que la antena pueda ser acoplada a una roca suficientemente firme.

2.1.3.1. Inclínometría Electrónica

Durante el segundo semestre de 2011 se contó con los datos de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, Cobanegra, Calabozo, Urcunina y Condor cuya localización se puede apreciar en la Figura 2.1.39.

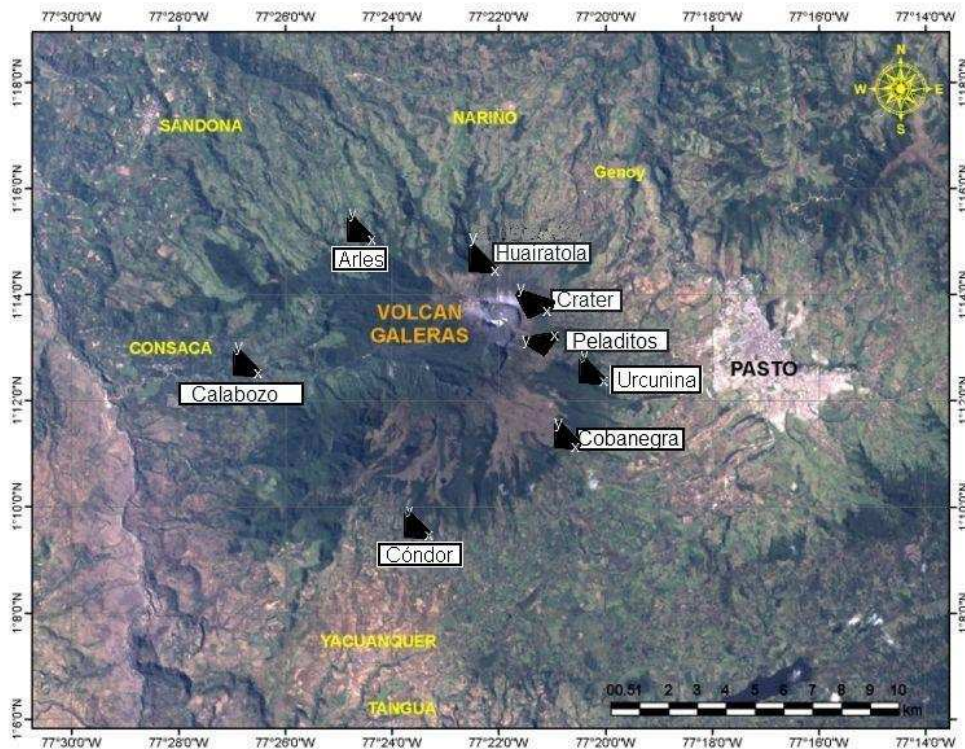


Figura 2.1.39. Red para el monitoreo de la deformación volcánica de Galeras, conformada por ocho inclinómetros electrónicos, que funcionaron en el segundo semestre de 2011.

En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos sobre los procesos deformativos del edificio volcánico de Galeras se resaltan los siguientes aspectos:

- En el inclinómetro Cráter (ubicado a 0.8 km., al este-noreste del cráter principal, 4060 msnm), para el periodo evaluado se observaron algunas variaciones en el registro de sus dos componentes, es así, como en la Tangencial se observaron los siguientes cambios: entre el 13 de mayo y el 14 de junio, un comportamiento ascendente alcanzando 154 μ rad, entre el 21 de julio y el 7 de septiembre de 324 μ rad en descenso, entre el 7 de septiembre y el 21 de noviembre de 980 μ rad en ascenso y entre el 21 de noviembre y el 12 de diciembre de 2011, se observó una tendencia descendente cercana a los 260 μ rad, pero en general (Figura 2.1.40.); en la componente Radial se presentaron las siguientes fluctuaciones: entre el 12 de mayo y el 14 de junio, de 680 μ rad en descenso, entre el 21 de julio y el 7 de septiembre, cercana a los 1120 μ rad en ascenso, entre el 7 de septiembre y el 21 de noviembre, de 4030 μ rad en descenso y entre el 21 de noviembre y el 12 de diciembre de

2011, se presentó un ascenso en el registro de 1060 μrad (Figura 2.1.40), en general se observó una tendencia descendente hasta el 21 de noviembre.

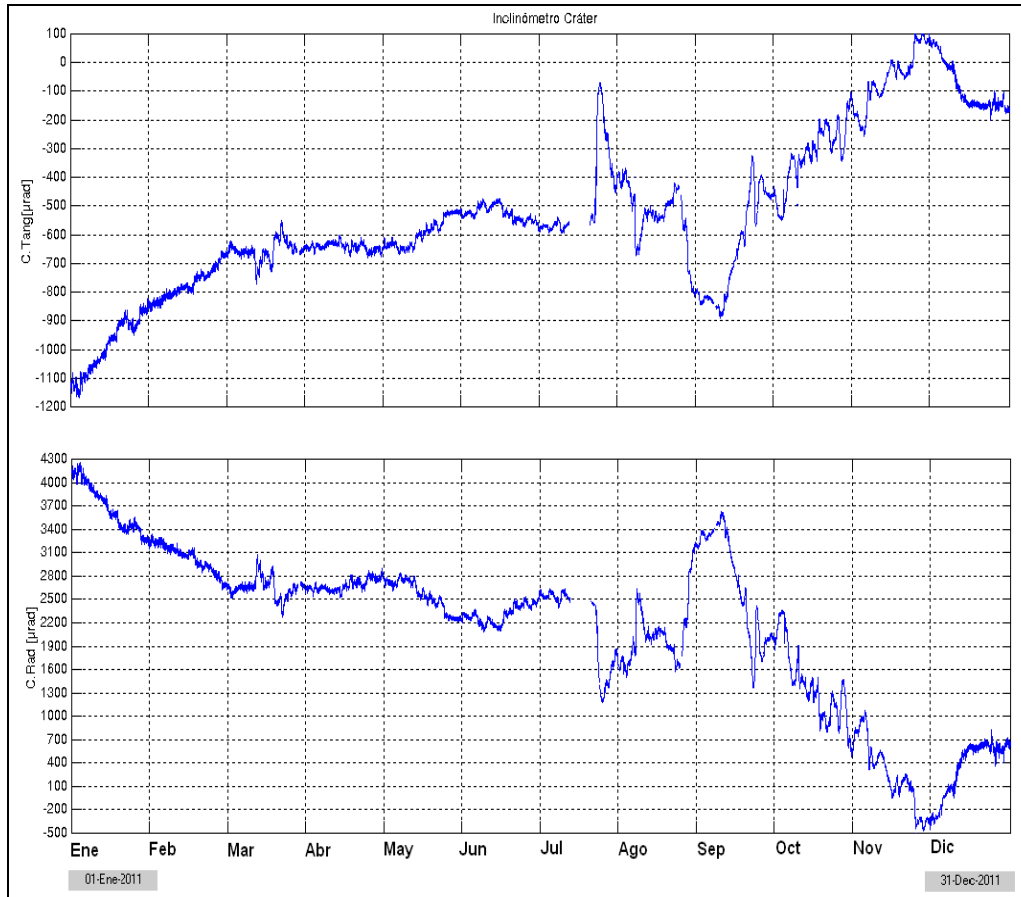


Figura 2.1.40. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.

- El inclinómetro Peladitos (ubicado a 1.4 km., al sureste del cráter principal, 3850 msnm), para el periodo evaluado, mostró en la componente Radial un comportamiento ascendente entre el 16 de mayo y el 4 de septiembre, cercano a los 11 μrad y en la Tangencial, una tendencia ascendente de 12 μrad entre el 12 de agosto y el 12 de octubre de 2011 (Figura 2.1.41.). En general, se observaron variaciones no muy significativas, asociadas posiblemente a cambios en temperatura.

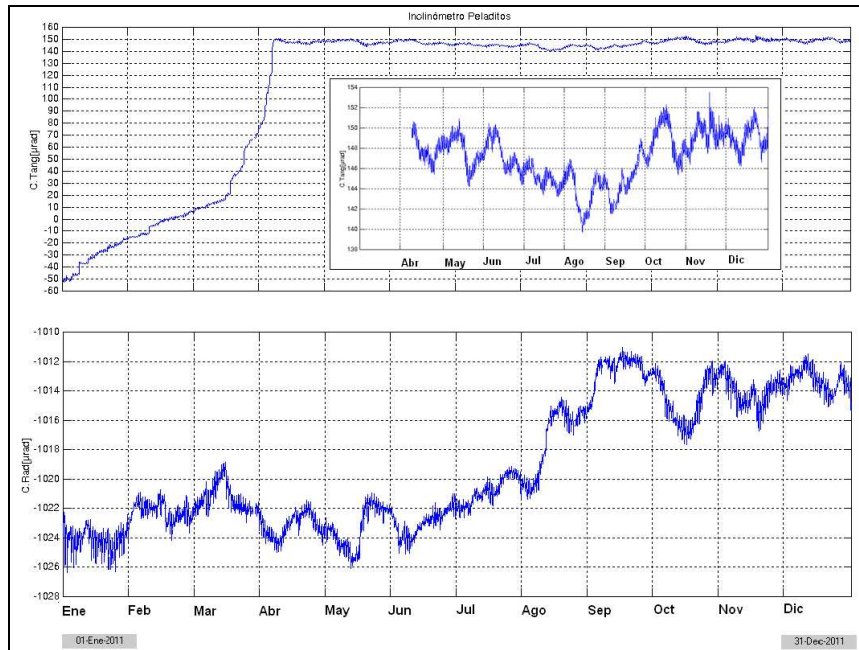


Figura 2.1.41. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.

- En el inclinómetro Huairatola (ubicado a 1.7 km., al norte del cráter principal, 3745 msnm), se observó que continuaron los comportamientos mostrados desde el mes de julio de 2011, descendente en la componente Tangencial registrando 760 μrad entre el 23 de julio y el 31 de diciembre de 2011, y ascendente en la componente Radial entre el 30 de julio y el 31 de diciembre alcanzando 270 μrad (Figura 2.1.42.).
- En el inclinómetro Cobanegra (ubicado a 3.9 km., al sur-sureste del cráter principal, 3610 msnm), se observó que continuó la tendencia descendente en las dos componentes, cuyas variaciones en la Tangencial entre el 2 de abril y el 27 de diciembre fueron de 54 μrad y en la Radial, entre el 30 de junio y el 22 de diciembre, siendo más pronunciado desde el 24 de septiembre, así entre el 30 de junio y el 24 de septiembre la variación fue de 15 μrad y entre el 24 de septiembre y el 22 de diciembre de 144 μrad (Figura 2.1.43).
- En cuanto al inclinómetro Calabozo (ubicado a 6.8 km., al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm), desde su reinstalación en el mes de mayo de 2011, se tiene las siguientes variaciones en la componente Tangencial, entre el 13 de mayo y el 11 de julio de 25 μrad en descenso, luego entre el 11 de julio y el 22 de agosto, un lapso de tiempo relativamente estable con variaciones menores a los 2 μrad , luego entre el 22 de agosto y el 1 de octubre se observó un descenso cercano a los 34 μrad , entre el 1 de octubre y el 17 de octubre de 355 μrad en ascenso, luego entre el 17 de octubre y el 5 de noviembre de 20 μrad en descenso, entre el 5 de noviembre y el 12 de noviembre de 26 μrad en ascenso, luego entre el 12 de noviembre y el 21 de noviembre cercano a los 30 μrad y finalmente entre el 21 de noviembre y el 19 de diciembre de 2011, se presentó un comportamiento ascendente

alcanzando 65 μ rad, mientras que en la componente Radial se observó entre el 13 de mayo y el 15 de septiembre un descenso de 40 μ rad, luego entre el 1 de octubre y el 17 de octubre un ascenso de 25 μ rad, entre el 17 de octubre y el 2 de noviembre de 16 μ rad en descenso, entre el 2 y el 11 de noviembre de 17 μ rad en ascenso, entre el 11 y 21 de noviembre de 15 μ rad y entre el 21 de noviembre y el 20 de diciembre de 27 μ rad en ascenso (Figura 2.1.44.).

- El inclinómetro Urcunina (ubicado a 2.26 km., al este-sureste del cráter principal, 3494 msnm), desde su instalación el 8 de septiembre de 2011, es posible observar que las variaciones tanto en la componente Radial, como Tangencial, son menores de 5 μ rad, pero es clara una tendencia ascendente en sus dos componentes (Figura 2.1.45.).
- En cuanto al inclinómetro Condor (ubicado a 4.9 km., al suroeste del cráter principal, 3985 msnm), desde el 2 de noviembre de 2011 se observó un comportamiento estable en la componente Tangencial, mientras que en la Radial, se observó un descenso entre el 20 y 23 de diciembre, cercano a 22 μ rad y desde el 23 de diciembre hasta el 31 de diciembre una tendencia ascendente de 38 μ rad (Figura 2.1.46.).

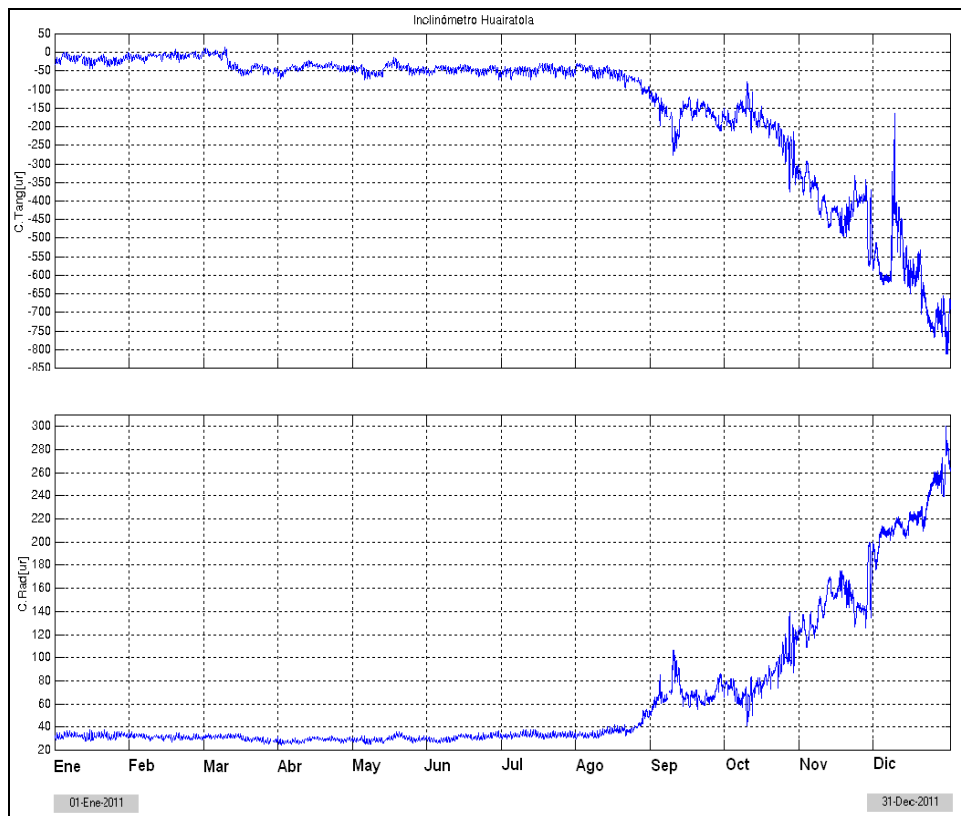


Figura 2.1.42. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.

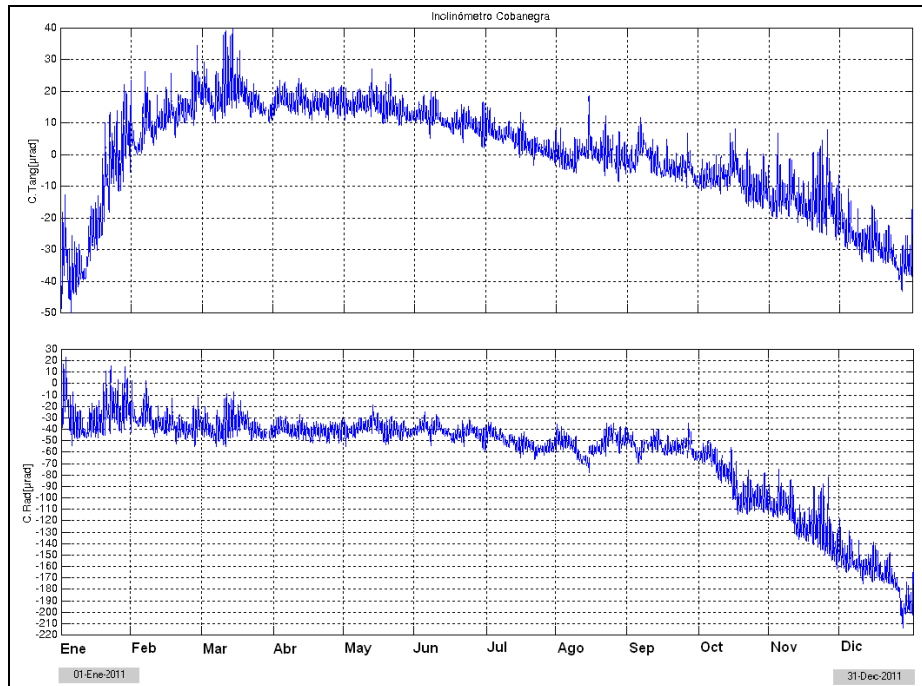


Figura 2.1.43. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.

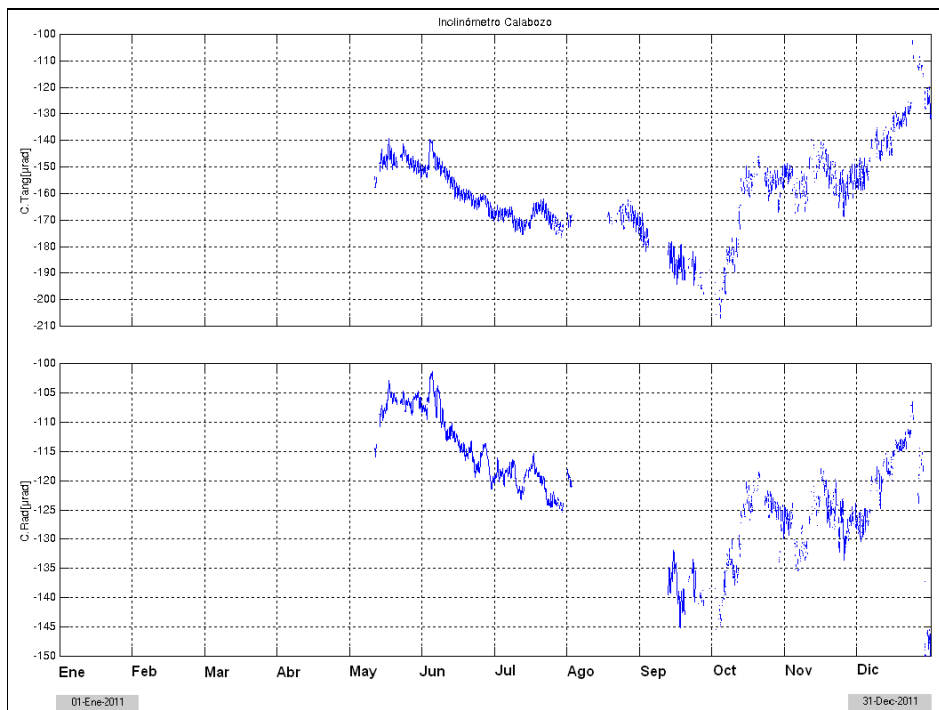


Figura 2.1.44. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.

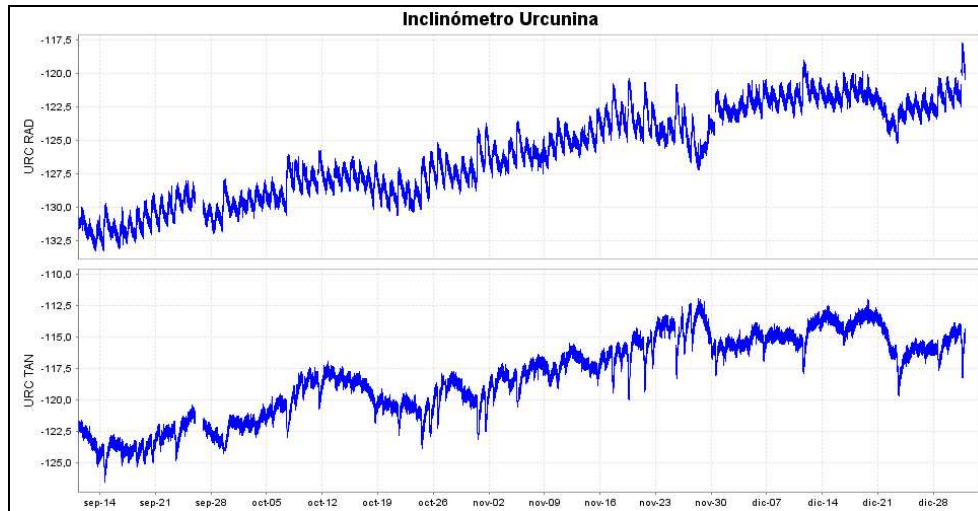


Figura 2.1.45. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Urcunina, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 8 de septiembre de 2011 (fecha de instalación) y el 31 de diciembre de 2011.

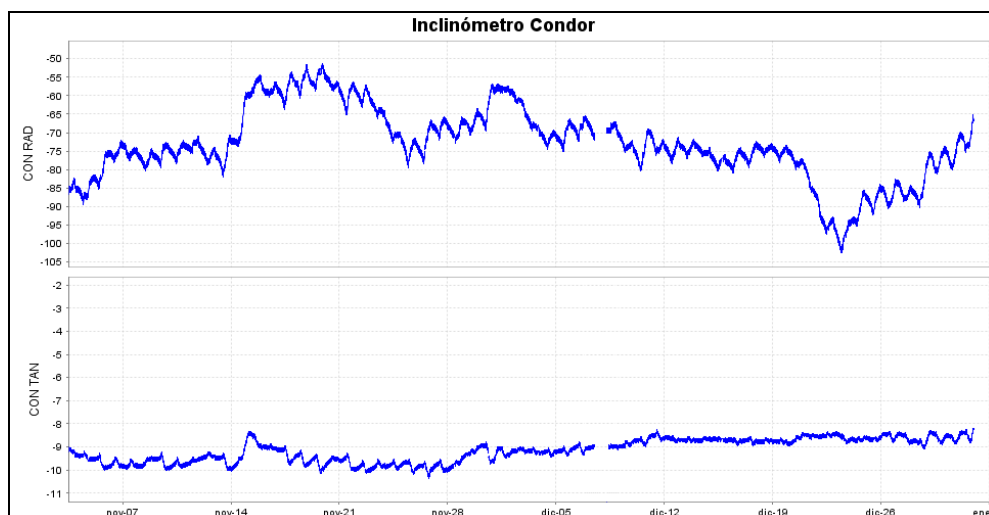


Figura 2.1.46. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Condor instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 2 de noviembre de 2011 (fecha de instalación) y el 31 de diciembre de 2011.

Se resalta que entre el 23 de julio de 2011 y el 22 de diciembre, se observan variaciones en las dos componentes de los inclinómetros Cráter, Cobanegra y Huairatola y en la componente radial de Peladitos, luego de estos cambios, tienden a mostrar cierta estabilidad (Figura 2.1.47.). Aunque no resulta claro establecer una dirección preferencial de donde ocurre la inflación, puede esta estar en el sector nor-este, sin descartar que pudiese estar ocurriendo una deflación hacia el cráter activo (Figura 2.1.48.). Los inclinómetros Cráter y Huairatola han mostrado cambios del orden de 10^3 y 10^2 micro-radianes respectivamente.

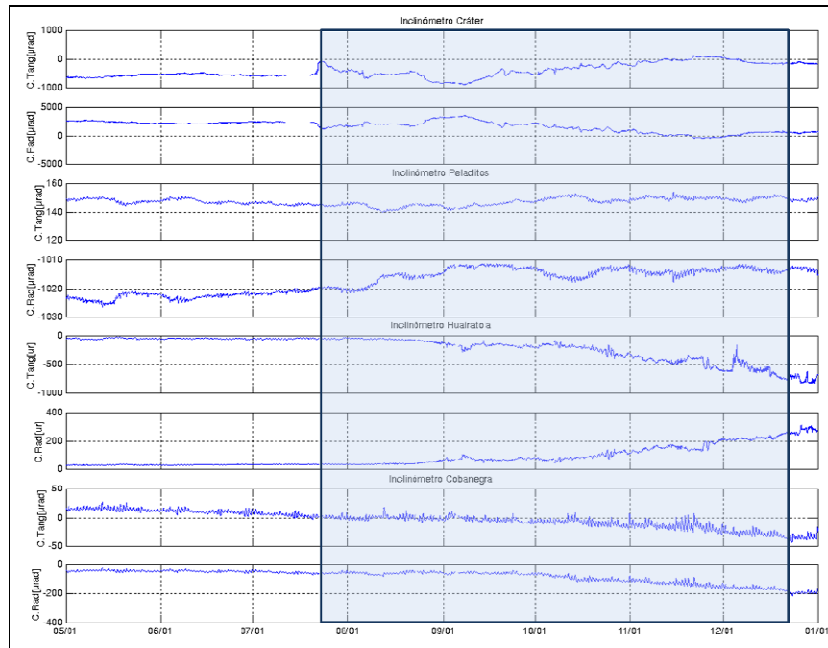


Figura 2.1.47. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola y Cobanegra, instalados en Galeras, para el periodo comprendido entre mayo y el mes de diciembre de 2011.

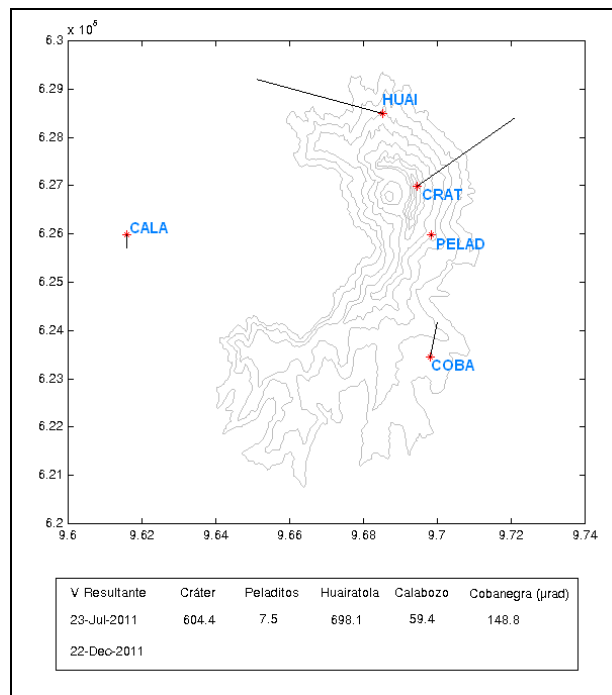


Figura 2.1.48. Vectores resultantes para los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, Cobanegra y Calabozo, para el periodo comprendido entre el 23 de julio y el 22 de diciembre de 2011. El asterisco indica el lugar donde se encuentra cada estación.

2.1.3.2. Estaciones GNSS permanentes

La primera estación GNSS en Galeras se instaló en el mes de agosto en el sector suroriental a 1.46 km de distancia del cráter, posteriormente, en el mes de octubre se instaló la segunda estación en el sector noroccidental a 2.6 km y en el mes de diciembre se instaló un tercero en el sector suroccidental a 7.59 km del cráter. Respecto a la información suministrada por estas estaciones, para el procesamiento diferencial (Figura 2.1.49.), se está tomando como estación de referencia la estación Cónдор, por ubicarse a mayor distancia con respecto al cráter, mientras se define una estación de referencia, aunque se puede decir por ahora, que las estaciones se encuentran en un periodo de estabilización, mostrando variaciones de hasta 8 y 9 mm por componente, siendo cambios muy acordes teniendo en cuenta el poco tiempo de registro.

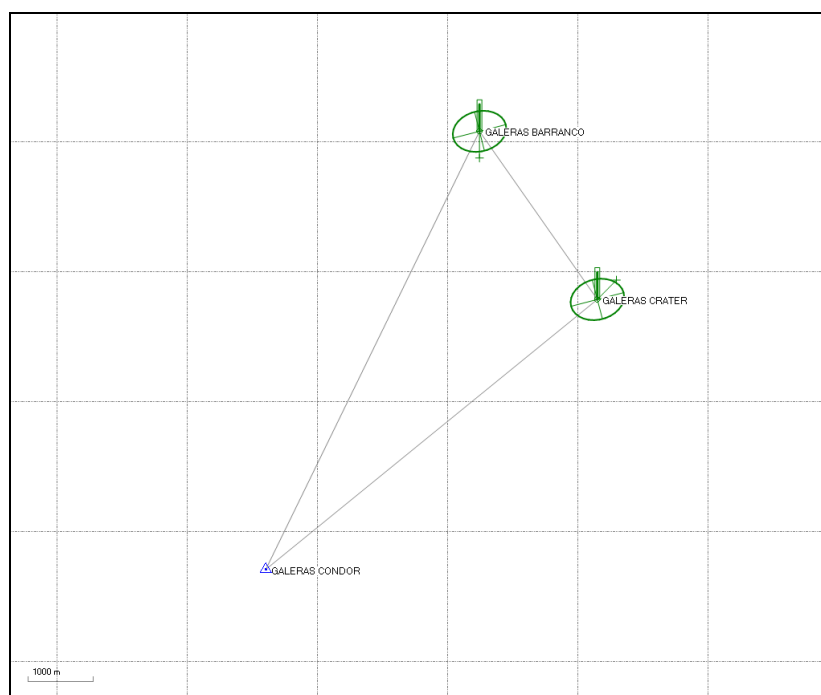


Figura 2.1.49. Pos procesamiento para las estaciones GNSS Cráter y Barranco, tomando como referencia la estación Condor, en la grafica se observa que la magnitud del vector resultante calculado con sus tres componentes, no es muy significativa.

2.1.3.3. Medición Electrónica de Distancias- EDM

En relación con EDM, para Galeras no fue posible realizar mediciones, esto debido a las condiciones climáticas adversas, entre ellas lluvia y nubosidad. En la Figura 2.1.50 se muestran los puntos materializados en Galeras. Por otra parte, se hizo una revisión en oficina de los cambios necesarios que deben hacerse en esta línea para facilitar la toma de datos, se pretende instalar mas bases y mover algunos reflectores.

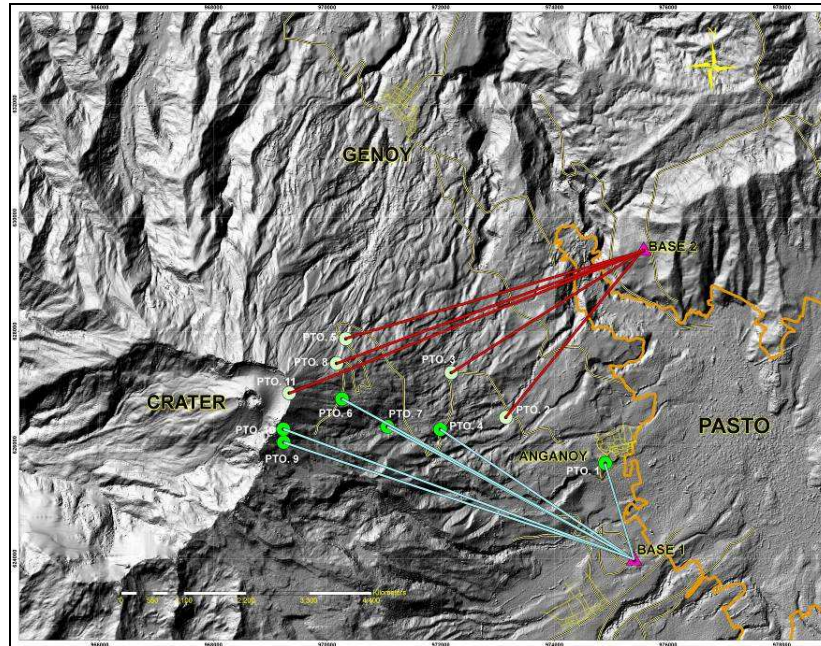


Figura 2.1.50. Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Galeras. Las figuras de color violeta indican la ubicación de las Base 1 y 2, las figuras de color verde (oscuro y claro) indican la ubicación de los prismas reflectores.

2.1.4 Fisicoquímica

En cuanto a la emisión de gases de origen volcánico, monitoreados en la zona de influencia del volcán Galeras, durante el segundo semestre de 2011, se efectuaron mediciones de Dióxido de Azufre (SO_2) en el aire, con las estaciones permanentes ScanDOAS y con el movildoas. Además se realizaron mediciones en suelo del isótopo 222 del elemento radiactivo Radón (Rn_{222}), con el sistema E-PERM en dos redes de estaciones localizadas a manera de perfil sobre el recorrido de la carretera de ascenso a la cima y una nueva red de 10 estaciones para el monitoreo de gas radón en el sector de Barranco, ubicado al noroccidente del volcán Galeras.

Este estudio químico permite identificar y medir indicadores de la actividad volcánica, así mismo conocer las variaciones en las condiciones termodinámicas de los gases y como base para la formulación de modelos geoquímicos relacionados con los sistemas volcánicos, reuniendo los métodos clásicos de análisis para gas carbónico (CO_2), cloruro de hidrógeno (HCl), azufre total y aproximaciones para evaluar el contenido de anhídrido sulfuroso (SO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y vapor de agua. Así como análisis de sulfuros, cloruros y carbonatos en muestras de aguas termales.

2.1.4.1. Mediciones de flujo de emisión de SO_2 con instrumentos scandoas y movildoas

Los valores estimados de flujo de Dióxido de azufre (SO_2) en el Volcán Galeras, durante el segundo semestre de 2011 corresponden a los escaneos de las estaciones telemétricas permanentes de ScanDOAS (*Differential Optical Absorption Spectrometer*), localizadas en el

cuadrante noroccidental del volcán Galeras (Alto Tinajillas, Alto Jiménez y Santa Bárbara); también se emplea el equipo MovilDOAS, del proyecto NOVAC (*Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change*), empleado para mediciones móviles principalmente a lo largo de la carretera circunvalar a Galeras.

De igual manera se utilizó la información de las imágenes satelitales capturadas por el sensor OMI (*Ozone Monitoring Instrument*) acoplado al satélite Aura, las cuales para los meses de febrero, marzo, abril y mayo arrojaron información. Aura es el tercer satélite del Sistema de Observación Terrestre (Earth Observing System) de la NASA que monitorea la presencia de algunos gases como el SO_2 en la atmósfera.

Las estaciones telemétricas empleadas, se localizan en el cuadrante noroccidental de Galeras, debido a que el viento se dirige hacia ese sector durante la mayor parte del año, Figura 2.1.51. Los datos de velocidad y dirección del viento, necesarios para los cálculos, se obtienen de los reportes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM).

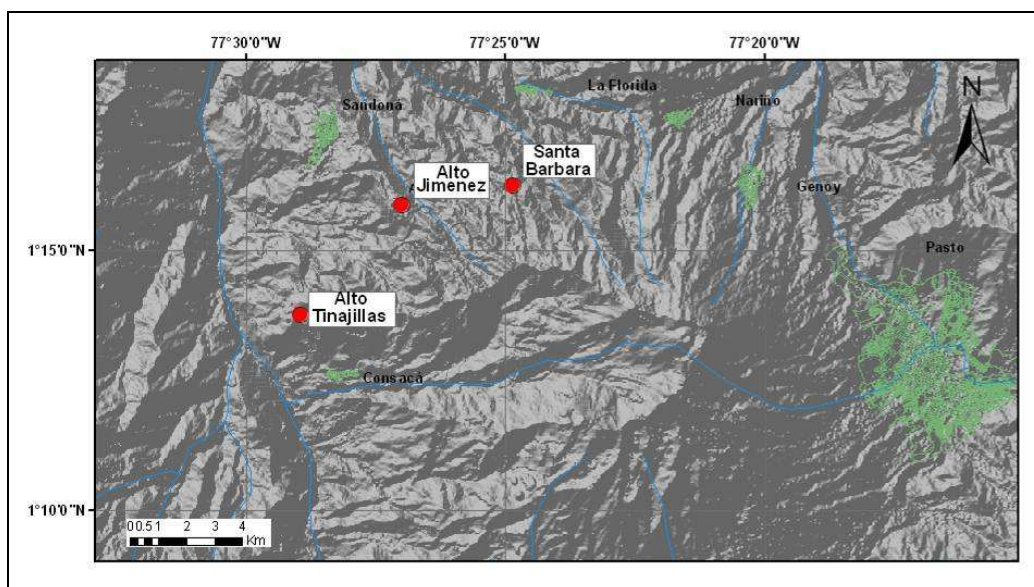


Figura 2.1.51. Localización de las estaciones telemétricas, empleadas en ScanDOAS.

En general, los valores calculados de las emisiones para el mes de julio son considerados como moderados para el caso de Galeras, se obtuvieron 15 valores de flujo de SO_2 , tanto ScanDOAS y MovilDOAS, el valor máximo registrado corresponde al día 11 de julio con un valor de 1080 Ton/día, para la estación Santa Bárbara.

Para el mes de agosto se tienen 22 datos de emisión de flujo de SO_2 a la atmósfera provenientes del volcán, estos 22 datos corresponden a un 73%, con valores que fluctúan entre 45 y 185 ton/día, el valor máximo fue registrado por la estación Santa Bárbara el 3 de agosto a las 8:45 a.m., y se encuentra dentro del rango bajo de emisiones para el caso del volcán Galeras. Utilizando el equipo MovilDOAS, fue posible realizar medidas de SO_2 los días 2, 9, 17 y 19 de agosto, obteniendo valores de 180, 25, ton/día y valores nulos para los dos últimos días, que al igual que en los de



Libertad y Orden

estaciones de ScanDoas, se encuentran dentro de rangos bajos de emisión. Además, para el mes de agosto, la información de las imágenes satelitales capturadas por el sensor OMI (Ozone Monitoring Instrument) acoplado al satélite Aura, no muestran información que se pueda correlacionar con la actividad de Galeras.

En lo correspondiente al mes de septiembre se registraron 16 valores de flujo de SO₂ con el sistema ScanDOAS, El valor máximo de flujo de SO₂ fue de 225 Ton/día, registrado el 1 de septiembre de 2011 y el mínimo fue de 51 Ton/día. Los valores registrados son considerados como bajos para el caso del Volcán Galeras.

De los escaneos registrados en el mes de octubre, 17 días, (55%), mostraron datos de emisión de flujo de SO₂ a la atmósfera provenientes del volcán, con valores que fluctúan entre 32 y 340 ton/día, el valor máximo se registró en la estación Alto Jiménez el 1 de octubre a las 2:27 p.m., y se encuentra dentro del rango bajo de emisiones para el caso del volcán Galeras (menor a 500 ton/día). Empleando el equipo MovilDOAS, fue posible realizar medidas de SO₂ los días 3 y 24 de octubre, obteniendo valores de 150, 40 ton/día, que al igual que en los de estaciones de ScanDoas, se encuentran dentro de rangos bajos de emisión. Además, para el mes de octubre, la información de las imágenes satelitales capturadas por el sensor OMI (Ozone Monitoring Instrument) acoplado al satélite Aura, no muestran información que se pueda correlacionar con la actividad de Galeras.

Para el mes de noviembre se obtuvieron 17 valores de flujo de SO₂, 12 con el sistema ScanDOAS y 5 con el equipo MovilDOAS, expresados en unidades de Ton/día; el valor máximo de flujo de SO₂ fue de 178 Ton/día, registrado el 5 de noviembre y el mínimo fue de 5 Ton/día., estos valores se encuentran dentro del rango bajo de emisiones para el caso del volcán Galeras (menor a 500 ton/día).

Para el mes de diciembre, se registraron valores que fluctúan entre 29 Ton/día y 306 Ton/día, el valor máximo registrado de flujo de SO₂ fue de 306 Ton/día, para el 14 de diciembre. En general los valores del flujo de SO₂ se mantienen bajos para este mes, por debajo de las 306 Ton/día.

En la Figura 2.1.52, se presenta la relación del Flujo de emisión de SO₂ registrado entre el 1 de enero de 2011 y el 31 de diciembre de 2011, por los instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS de la red de vigilancia del Volcán Galeras. En esta figura, se observa que la tendencia de ascenso que registrada hacia los últimos días de junio, se mantiene hasta el día 22 de julio, con un registro de 315 ton/día, fecha en la cual se resalta un descenso tanto en concentración como en escaneos de SO₂, respecto al mes anterior. Durante los meses de agosto y septiembre el continúa el comportamiento descendente en las concentraciones de flujo de SO₂ que se manifiesta desde los últimos días de julio, hasta estabilizarse en valores por debajo de las 200 ton/día. Del mes de octubre a diciembre se conserva la tendencia en valores registrados, exceptuando algunos escaneos con valores mayores a 200 Ton/día, como el 1 de octubre con valor de flujo 340 Ton/día y un valor de flujo de SO₂ para el 14 de diciembre con un valor de 306 Ton/día.

En la Figura 2.1.53., se puede apreciar el comportamiento de los datos, resaltando, con respecto al semestre inmediatamente anterior un marcado decremento tanto en concentración como en

escaneos de SO₂. Para el I semestre de 2011 se tiene una concentración de 47869.1 Ton/día, mientras que en el periodo evaluado se tiene una concentración de 13990 Ton/día.

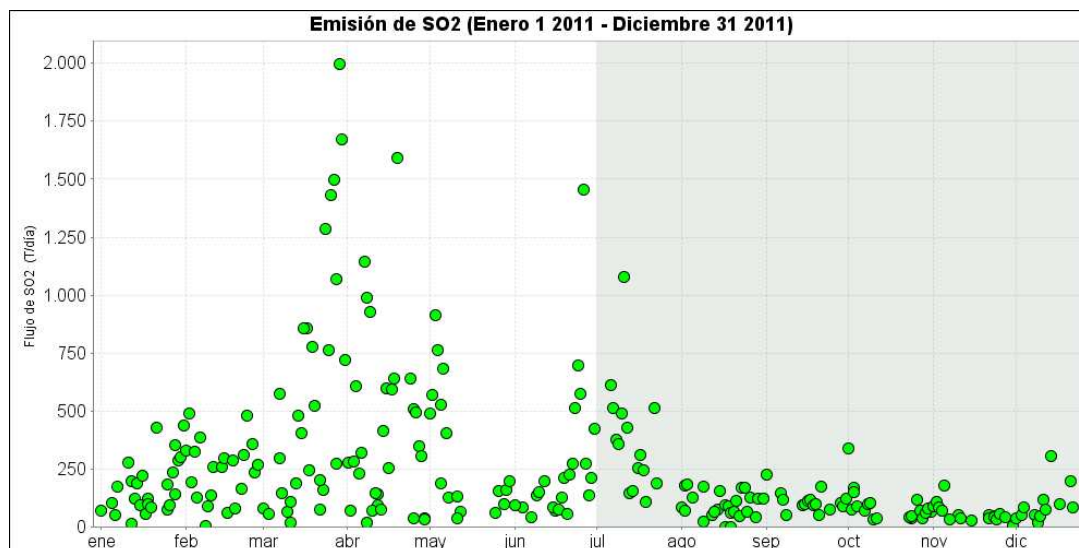


Figura 2.1.52. Flujo de emisión de SO₂ registrado entre el 1 de enero de 2011 y el 31 de diciembre de 2011, se resalta en gris el periodo evaluado.

* Flujo de emisión de SO₂ [Toneladas/día]. *Bajo:* < 500; *moderado:* > 500 y < 1000; *alto:* > 1000 y < 3000; *muy alto:* > 3000.

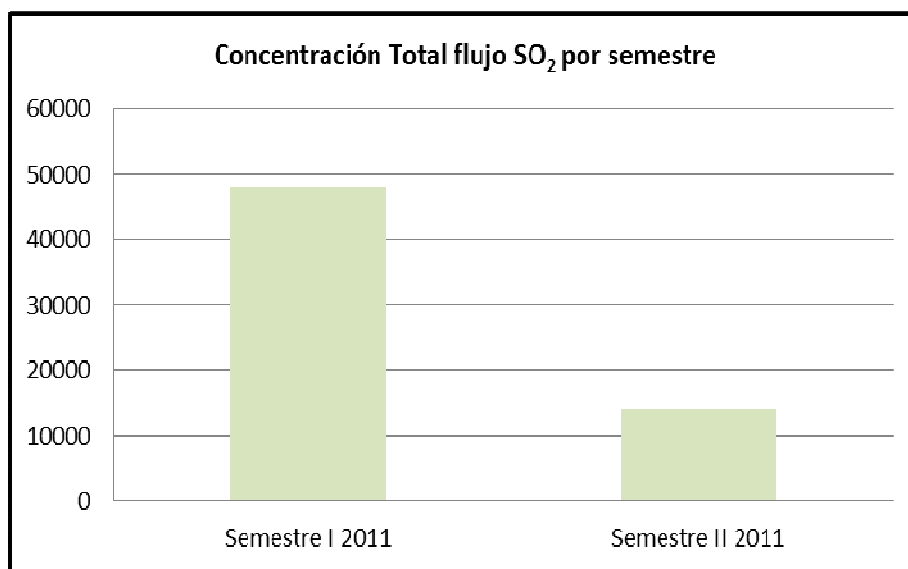


Figura 2.1.53. Total Flujo de SO₂, por semestre año 2011.

En la Figura 2.1.54, se presenta el comportamiento de los datos durante el II semestre de 2011 mes a mes, resaltando las mayores concentraciones de emisión de flujo de SO₂ para los meses de Julio y Agosto, 5793 Ton/día y 2500 Ton/día respectivamente.

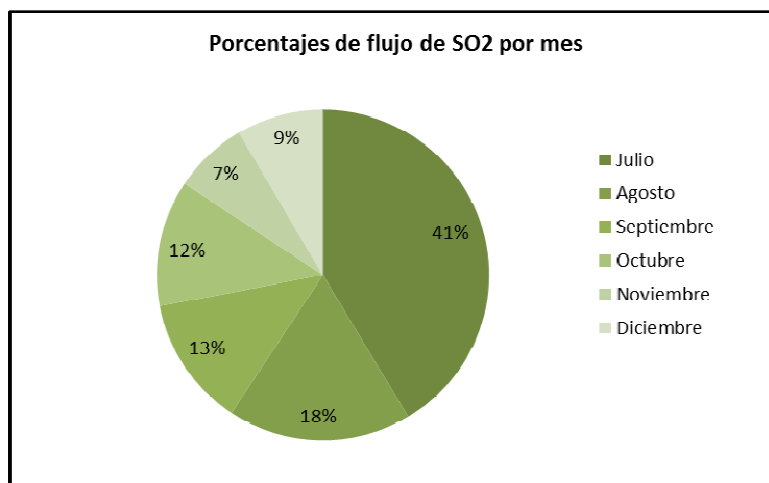


Figura 2.1.54. Porcentajes de emisión de Flujo de SO₂ por mes I semestre 2011.

2.1.4.2. Mediciones de gas radón rn₂₂₂ en el suelo - línea Galeras

Un gran número de investigaciones han demostrado la relación entre los cambios de las tensiones neodinámicas en el interior de la tierra y las variaciones de la concentración de radón del suelo y de las aguas subterráneas. De acuerdo con esto, el radón y otros gases como el He, Ar y CO₂ son perspectivas precursores en la búsqueda de métodos para el pronóstico de actividad sísmica.

Una característica de los sismos volcano-tectónicos, es que son el producto de la acumulación de esfuerzos en la zona focal. Bajo estas condiciones los retículos cristalinos de los minerales, comienzan hacer destruidos o fracturados, favoreciendo un intenso escape del radón desde los poros de las rocas.

Se puede considerar que el aumento de las emisiones del radón, meses o días, antes de que un sismo sea registrado instrumentalmente, está relacionado con su desorción, causado por las frecuencias ultrasónicas que ocurren antes de un fracturamiento a profundidad. Una vez ocurre la desorción del radón desde la superficie de los minerales, ese isótopo puede transportarse rápidamente a superficie, gracias a su alto coeficiente de difusión.

El Servicio Geológico Colombiano en su misión de comprender y modelar los procesos que ocurren en el subsuelo colombiano, utiliza diversas herramientas científicas. Una de ellas consiste en medir las emisiones de gas radón del suelo y buscar correlaciones de su comportamiento con los diversos eventos geodinámicos que se investigan y se monitorean en los Observatorios Vulcanológicos y Sismológicos.

Las estaciones de medición de Radón - Rn_{222} en suelos para el monitoreo de la actividad de Galeras, se ubican siguiendo la carretera que comunica la ciudad de Pasto a la cima volcánica. La medida se hace atrapando el gas en tubos de Cloruro de Polivinilo (PVC), en cuyo interior tienen un sensor llamado "Electret" con un potencial conocido, acoplado a una cámara de volumen conocido. El análisis de la concentración de Rn_{222} se fundamenta en la capacidad que tiene el isótopo para desintegrarse, produciendo partículas alfa, las cuales ionizan el aire de la cámara de medición, bombardean el sensor y lo descargan. La concentración de Rn_{222} es directamente proporcional a la diferencia de potencial para el sensor e inversamente proporcional al tiempo de análisis. Los registros de medición de Radón Rn_{222} , en la Línea Galeras se aprecian en la Figura 2.1.55.

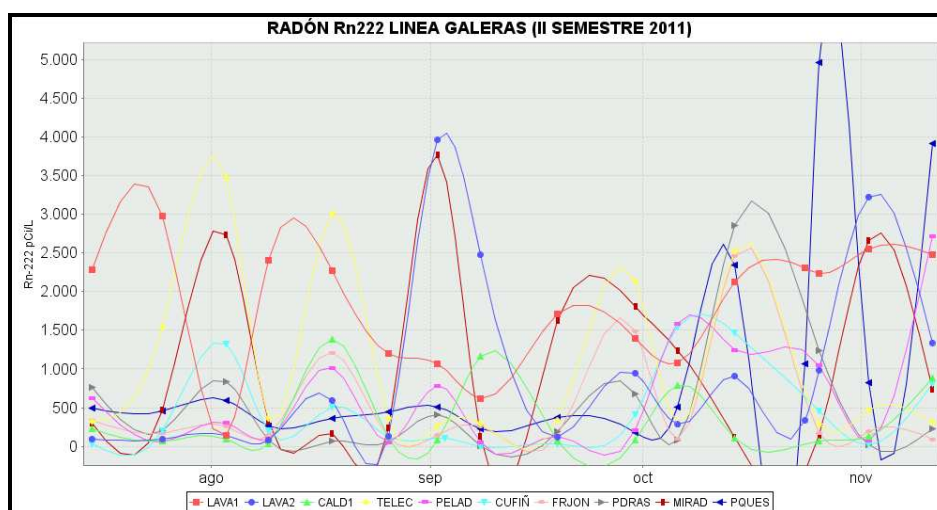


Figura 2.1.55. Concentración del isótopo Radioactivo Rn_{222} , registrado entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2011, en la Línea Galeras.

Durante el periodo evaluado se realizaron mediciones de radón en suelo durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre, Octubre y Noviembre en las estaciones Caldera, Telecom, Peladitos, Cufiño, Frailejón, Piedras, Mirador, Parques, Lava 2 y Lava 1. Se realizaron los cálculos de la concentración de radón teniendo en cuenta las características de instalación, tipo de cámara (se utiliza cámaras tipo L), configuración LLT y radiación gamma de 0.12 pCi/L. En la Figura 2.1.55. se observa la relación de la concentración del isótopo Radioactivo $RN - 222$, registrado entre el 1 de julio a 31 de diciembre de 2011.

Para el periodo evaluado se tienen datos de concentración del isótopo Radioactivo $Rn - 222$ a partir del 15 de julio, donde a excepción de la estación Lavas 1, las otras estaciones registran valores inferiores a 1000 pCi/L; el valor máximo se registró en la estación Lavas 1 con un valor de 2983 pCi/L. Para el mes de agosto las estaciones Telecom y Mirador registraron valores máximos de 3478 y 2740 pCi/L respectivamente. Las otras estaciones registraron valores inferiores a 1500 pCi/L. En el mes de septiembre los valores máximos registrados se calculan para las estaciones Lavas 2 y Mirador, con valores de 3965 y 3769 pCi/L respectivamente, los registros para las otras estaciones se estima inferior a 2000 pCi/L. a finales de septiembre se registra una disminución en el valor de las



Libertad y Orden

mediciones, la cual se prolonga hasta el mes de noviembre, donde se registran datos superiores a los 4000 pCi/L en la estación de Parques.

2.1.4.3. Mediciones de gas radón rn_{222} en el suelo - línea Barranco

2.1.4.3.1. Instalación de estaciones de gas Radón en la Línea Barranco

En el mes de Julio de 2011, se realizó la instalación de 10 estaciones para el monitoreo del gas radón en el sector Barranco, ubicado al noroccidente del volcán Galeras.

Inicialmente se realizó la búsqueda de sitios para la instalación, y posteriormente se organizó una comisión para la verificación de sitios y la instalación de las estaciones.

2.1.4.3.2. Proceso de instalación y equipos utilizados

La estación se establece cavando un hueco de aproximadamente 1.5 m., y en este se ubica un tubo de cloruro de Polivinilo PVC. Dentro de este tubo se ubica un equipo para administración de soluciones (Venocllisis) conectado a un tubo de aluminio de 1 m de longitud, que permite el contacto con la parte profunda del sitio de la estación, lugar donde se almacenan los gases provenientes del interior, para el muestreo de dióxido de carbono (CO_2). Para muestrear el isótopo de gas radón-222, se utiliza un sensor llamado "Electret" con una cámara de volumen conocido. El análisis de la concentración de Rn - 222 se fundamenta en la capacidad que tiene el isótopo para desintegrarse, produciendo partículas alfa, las cuales ionizan el aire de la cámara de medición. La concentración ^{222}Rn es directamente proporcional a la diferencia de potencial que se descarga en la superficie del sensor y es inversamente proporcional al tiempo de análisis.

2.1.4.3.3. Ejecución de la Instalación

Entre los días 11 y 12 de julio de 2011, la comisión integrada por Adriana Ortega, Oscar Delgado y Carlos Estrada, inicio la adecuación de las estaciones y toma de muestras de suelo para análisis de radio. La adecuación de los sitios de la estación inicio desde la estación más lejana al cráter, el 12 de julio de 2011 se finalizó con la adecuación e instalación de los sensores de muestreo. En la Tabla 2.1.8, se registran las características de los sitios de las nuevas estación de la Línea Barranco. En la Figura 2.1.56, se presenta el mapa de localización de las nuevas estación de la Línea Barranco.

En las Figura 2.1.57. Se presentan imágenes del proceso de instalación de la Línea de Barranco.

2.1.4.3.4.- Mediciones de gas radón rn_{222} en el suelo

En la Figura 2.1.58., se observa la relación de la concentración del isótopo Radioactivo RN – 222, registrado entre el 1 de julio al 31 de diciembre de 2011. Según esta figura, se observa que la concentración del isótopo radioactivo Rn-222 en la zona de influencia del Volcán Galeras, medido en la Línea de Barranco, presenta tres picos a lo largo del periodo evaluado; el primer pico se presenta a mediados del mes de agosto, donde se presenta un máximo valor (3406 pCi/L) en la concentración

del gas en la estación Micaela, en general, para las demás estaciones se registra valores por debajo de los 1750 pCi/L; acompañado de un descenso hacia inicios del mes de septiembre.

El segundo pico corresponde a la segunda semana de septiembre, donde se aprecia que los valores máximos registrados corresponden a los calculados en las estaciones La Viuda y Doña Pétalo, con valores de 2389 y 2693 pCi/L, respectivamente. Así mismo en este sector los datos calculados en las otras estaciones no sobrepasan los 1250 pCi/L, registrándose un descenso, respecto al primer pico señalado en este semestre. El tercer sector o pico que se puede apreciar, corresponde a la segunda semana del mes de octubre, donde las estaciones que presentaron los máximos valores fueron Jazmín y La Viuda, con valores de 3156 y 2558 pCi/L; en las otras estaciones correspondientes a la Línea de Barranco, se calcularon valores de hasta 2250 pCi/L en este sector. Para las semanas restantes del semestre se observa el máximo valor calculado corresponde a la estación Jazmín con un valor de 2577 pCi/L y un mínimo de 90 pCi/L, calculado en la estación Doña Pétalo. Además se puede apreciar que las estaciones Micaela y Doña Pétalo, registran valores bajos (menores de 250 pCi/L) a partir del mes de septiembre hasta el último registro el 23 de noviembre.

En general la sismicidad asociada a fracturas se ha mantenido baja para el II semestre de 2011, lo que es consistente con los valores de Rn_{222} encontrados para este periodo en la línea de Barranco instaladas en el volcán Galeras, sin embargo cabe resaltar que los eventos de fractura tipo VT registrados en el mes de Agosto presentan mayor magnitud local, que los registrados en el mes de noviembre, los valores de magnitud para el mes de agosto corresponden a valores de hasta 2.4 en la escala sismológica de Richter y la magnitud de los eventos registrados en noviembre corresponde a valores de hasta 1.6 la escala sismológica de Richter.

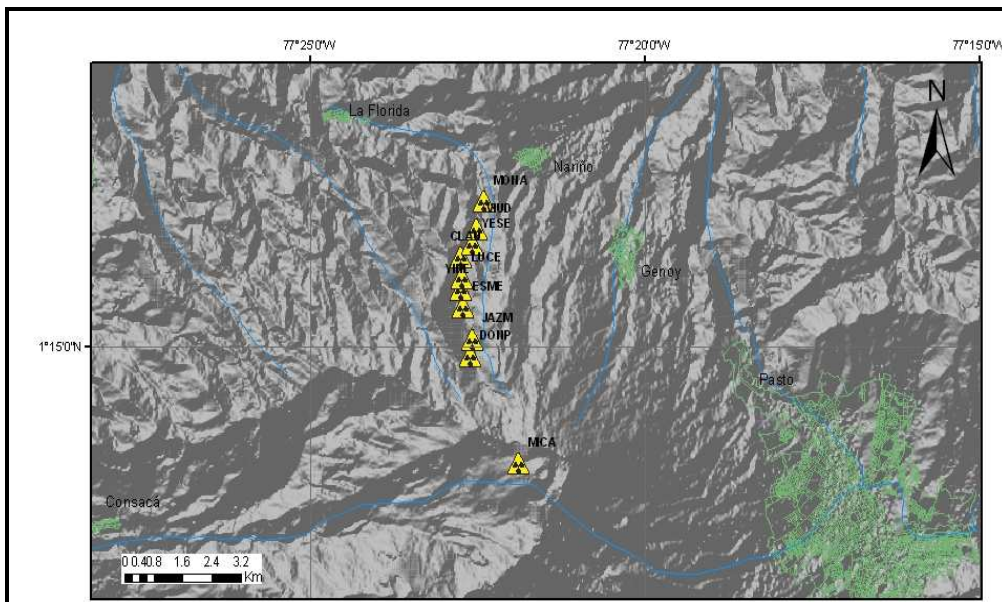


Figura 2.1.56. Mapa de localización de las estaciones no telemétricas para el monitoreo de gas Radón, instaladas en la línea Barranco.

Tabla 2.1.8. Características de las estaciones instaladas durante el II semestre de 2011, para el monitoreo de gas Radón en el volcán Galeras

Estación	Coordenadas WGS84			Distancia al cráter (km)	Ubicación respecto al cráter
	Latitud N	Longitud W	Altitud msnm		
Rn01 - Micaela	1° 13.433'	77° 21.9'	4180	0,31	WNW
Rn02 - Doña Pétalo	1° 14.868'	77° 22.617'	2968	3,13	NNW
Rn03 - Jazmín	1° 15.098'	77° 22.581'	2947	3,47	NNW
Rn04 - Esmeralda	1° 15.53'	77° 22.721'	2646	4,3	NNW
Rn05 - Yinet	1° 15.761'	77° 22.748'	2516	4,71	NNW
Rn06 - Lucero	1° 15.915'	77° 22.744'	2644	4,97	NNW
Rn07 - Claudia	1° 16.201'	77° 22.757'	2669	5,47	NNW
Rn08 - Yessenia	1° 16.369'	77° 22.586'	2599	5,67	NNW
Rn09 - La Viuda	1° 16.582'	77° 22.523'	2504	6,02	NNW
Rn10 - La Mona	1° 16.947'	77° 22.414'	2318	6,63	NNW



Figura 2.1.57. Proceso de instalación de las estaciones de Rn-222, de la línea Barranco.

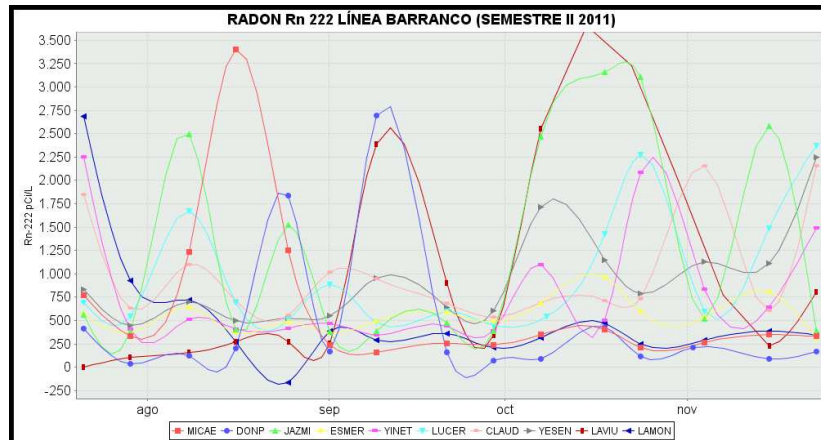


Figura 2.1.58. Concentración del isótopo Radioactivo Rn-222, registrado entre el 1 de julio y el 31 de diciembre de 2011, en la Línea Barranco.

2.1.4.4. Muestreo de Aguas Termales

El estudio químico permite identificar y medir indicadores de la actividad volcánica, así mismo conocer las variaciones en las condiciones termodinámicas de los gases, y como base para la formulación de modelos geoquímicos relacionados con los sistemas volcánicos.

En la Figura 2.1.59., se presenta la localización de las estaciones de Aguas termales para Galeras; en la Tabla 2.1.9., se presentan los datos de los puntos de aguas termales. Los sitios seleccionados se encuentran dentro del área de influencia del fenómeno volcánico, lo cual implica un conocimiento de la zona y de las fuentes presentes en ella. La elección de una fuente para ser muestreada y monitoreada fue tomada tras la evaluación de su representatividad y localización.

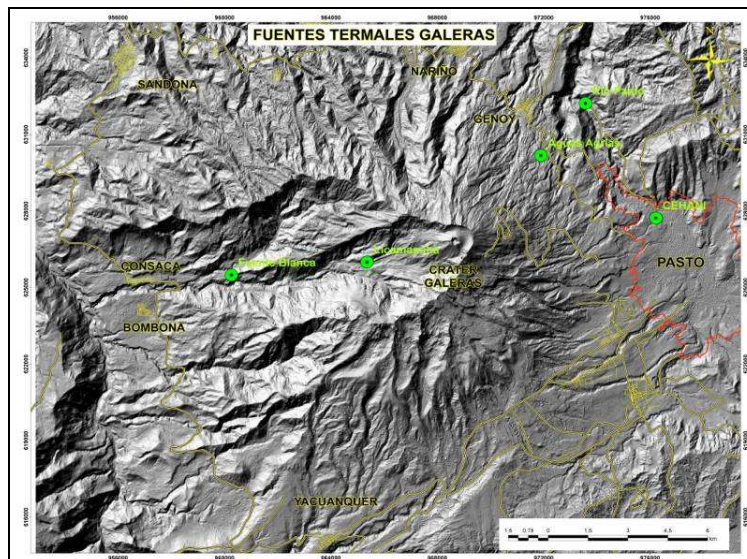


Figura 2.1.59. Mapa de Localización de las Fuentes Termales presentes en el área de influencia de Volcán Galeras.



Libertad y Orden

Tabla 2.1.9. Características de los sitios de Aguas Termales en el área de influencia de volcán Galeras

FUENTE TERMAL	COORDENADAS		ALTURA (msnm)
	Latitud Norte	Longitud Occidental	
CEHANI	01°13'46.3"	77° 17' 28.6"	2502
Aguas Agrias	01° 15' 6.2"	77° 19' 48.4"	2227
Río Pasto	01°16'12.6"	77° 18' 54.3"	2146
Fuente Blanca	01°12'33.6"	77° 26' 4.8"	2432
Licamancha	01° 12' 50"	77° 23' 20"	2702

Durante el periodo evaluado se realizo el muestreo de las fuentes termales del área de influencia del Volcán Galeras en los meses de Julio, Septiembre, Octubre y Noviembre, siguiendo los lineamientos (método de ensayo: muestreo de aguas de origen volcánico con código: ME-LAB-AG-001) que se tienen para la vigilancia volcánica en Colombia.

2.1.4.4.1. Procedimiento para el muestreo de Aguas Termales

Toma de la muestra

Haciendo uso de los vasos de precipitados plásticos de 200 ml y teniendo en cuenta las precauciones de seguridad, se realizó la toma de 4 muestras de cada una de las fuentes termales del Volcán Galeras, una para aniones, cationes, Redox y CO2.

Utilizando el equipo de filtración, se filtró el agua para llenar el recipiente de aniones, cationes y CO2 respectivamente.

En la toma de muestra para cationes, si el pH de la fuente es mayor a 3 se debe acidular con HNO3 (ácido Nítrico) 1:1, hasta alcanzar un pH de 2, esto se realiza con el fin de mantener los iones estables hasta la realización de sus respectivos análisis en el laboratorio de la ciudad de Bogotá.

En la Figura 2.1.60., se presenta una serie de imágenes del procedimiento de toma de muestra de aguas termales en la zona de influencia del volcán Galeras.

Mediciones de Parámetros Físicoquímicos

Se realizó la medición de parámetros físicoquímicos como Temperatura y pH. Si la temperatura es menor a 30°C se hace la medición de conductividad. En la tabla 2.1.10., se indican los parámetros medidos in situ, para el periodo evaluado.



Figura 2.1.60. Procedimiento de toma de muestra de aguas termales para Volcán Galeras



Tabla 2.1.10. Parámetros Físicoquímicos para las mediciones realizadas en el periodo evaluado, en los puntos de muestreo de Aguas Termales en el área de influencia de volcán Galeras.

FUENTE TERMAL	MES	pH	Tem °C	Cond (mS/cm) a 25 °C	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁼ mg/L	CO ₃ ⁼ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L
CEHANI	Noviembre	6.8	35.7	2.35	-	-	0	1980
	Octubre	6.7	33.7	1.92	-	-	0	1953
	Septiembre	6.5	36.2	2.3	-	-	0	2029
	Julio	7.5	35	-	262,33	135,94	0	2827
RIO PASTO	Noviembre	6.4	42.5	3.30	-	-	0	933
	Octubre	6.8	43.9	2.54	-	-	0	900
	Septiembre	6.3	43.5	3.05	-	-	0	951
	Julio	6.1	43	-	347,41	630,00	0	913
AGUAS AGRIAS	Noviembre	3.0	27.5	3.20	-	-	0	0
	Octubre	2.9	28.2	2.55	-	-	0	0
	Septiembre	3.0	28.5	2.82	-	-	0	0
	Julio	2.9	28	0.0051	211,991	1588,13	0	0
FUENTE BLANCA	Noviembre	6.4	21.6	1.52	-	-	0	65
	Octubre	6.3	23.2	1.48	-	-	0	76
	Septiembre	6.1	22.7	1.96	139.67	1481.67	0	50
	Julio	5.8	23.1	1.32	95,006	1590,00	0	44
LICAMANCHA	Noviembre	6.5	13.1	0.53	-	-	0	219
	Octubre	6.3	13.5	0.47	-	-	0	214
	Septiembre	6.5	13.3	0.51	119.11	317.92	0	183
	Julio	6.7	13.1	0.46	7,09	328,54	13	145

Según los resultados la temperatura de las fuentes termales del Volcán Galeras (de las que se tiene registro), para el mes de Julio, se encuentra entre 13 y 43°C. Para las fuentes CEHANI y Río Pasto no se realizó medición de conductividad ya que su temperatura es superior a los 30°C, y con un aumento en la temperatura, disminuiría la viscosidad del agua y permitiría que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Los valores de conductividad eléctrica indican que en la fuente termal Fuente Blanca las aguas se ionizan en forma más completa, indicando una mayor presencia de sales disueltas.

Los valores de pH para las fuentes termales Río Pasto, Fuente Blanca y Aguas Agrias son de carácter ácido, destacándose el valor de la fuente termal Aguas Agrias con un pH de 2.9, lo que indica que esta fuente se encuentra en una zona de alta producción protónica, típica de un ambiente de alta influencia magmática y/o hidrotermal. La fuente termal CEHANI tiene un pH de 7.2, indicando que son aguas de carácter neutral.



Libertad y Orden

Para el mes de Septiembre, los resultados, el pH para las fuentes termales Rio Pasto, Aguas Agrias, Fuente Blanca y Licamancha no mostraron un cambio significativo con respecto a las mediciones realizadas en el mes de julio, mientras que para la fuente termal CEHANI el pH bajo en una unidad; este cambio puede relacionarse con la disminución en la cantidad de bicarbonatos, ya que estos son los responsables de la alcalinidad del agua.

La temperatura para este periodo no tuvo cambios importantes. Los cloruros tuvieron un incremento en las fuentes termales Fuente Blanca y Licamancha, mientras que los sulfatos bajaron en las mismas fuentes; estos cambios se ven reflejados en los valores de conductividad, los cuales no tuvieron cambios significativos.

Para el mes de Octubre, el pH para las fuentes termales CEHANI, Rio Pasto, Aguas Agrias, Fuente Blanca y Licamancha no mostro un cambio significativo con respecto a las mediciones realizadas en el mes de septiembre. La temperatura para este periodo no tuvo cambios importantes. Con respecto a los carbonatos, las fuentes termales CEHANI y Rio Pasto tuvieron una ligera disminución, mientras que para las fuentes termales Fuente Blanca y Licamancha los carbonatos se incrementaron.

Para el mes de Noviembre, el pH en las cinco fuentes termales, no mostró un cambio significativo con respecto a las mediciones realizadas en los meses de octubre y septiembre. Los carbonatos y bicarbonatos, responsables de la alcalinidad del agua, tampoco evidenciaron cambios significativos, lo cual es consistente con los cambios de pH. La temperatura para este periodo bajó en las cuatro fuentes termales, con excepción de la fuente termal CEHANI, en la que se observa un incremento de 2 grados centígrados, pero cabe señalar que con respecto al mes de septiembre el cambio no es significativo.

2.1.5 Actividad superficial y cambios geomorfológicos

Las manifestaciones en superficie de la actividad del volcán se documentan mediante las observaciones directas hacia la cima volcánica desde la sede del OVSP, por reportes de las comisiones de personal en campo, por reportes de la comunidad o las autoridades civiles y militares, así como también por sobrevuelos efectuados por personal del observatorio en el helicóptero Huey de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

El sitio web del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto tiene como URL: <http://www.ingominas.gov.co/Pasto.aspx>. Este sitio cuenta con una galería de imágenes y videos seleccionados que están a disposición del público en general, el uso de este material debe estar acorde a los términos de uso consignados en la siguiente página institucional: http://intranet.ingominas.gov.co/pasto/Pasto:Términos_de_Uso

En el segundo semestre de 2011 se realizaron 6 sobrevuelos exitosos, los días 2, 4, 23, 26 y 27 de noviembre y el 6 de diciembre; en cuatro de ellos (4, 26, y 27 de noviembre y 6 de diciembre) se tomaron imágenes térmicas que permitieron observar la variación de las condiciones de temperatura del material rocoso en el cono volcánico. En la mayoría de visitas de reconocimiento, orientadas a realizar el seguimiento de la información de la actividad superficial, ya sea desde tierra o desde aire, se observó la columna de gases de color blanco, tendida hacia el costado sur occidental. Los



principales focos de emisión fueron el cráter principal y los cráteres secundarios El Paisita (interno y externo), y Las Chavas, puntos de emisión como Las Deformes y La Grieta Nueva detectada en el 2010 hacia el costado norte.

Para la mayoría de días del mes de julio, las condiciones climáticas no permitieron observar actividad superficial sobre la cima del volcán Galeras, los días 14, 16, 29, 30 y 31 se logró observar emisiones de color blanco con alturas aproximadas de hasta de 900 m sobre la cima (Figuras 2.1.61. y 2.1.62.).

Adicionalmente, se tienen reportes de olores a gases azufrados por Personal del Observatorio que se encontraba realizando trabajos de campo desde diferentes sectores del edificio volcánico y la cima de Galeras, es así como para los días 7, 18, 21 y 22 de julio se tiene reporte desde el sector de Barranco, localizado en el flanco norte del edificio volcánico y desde la cima para los días 11, 19, 26 y 29 de julio de 2011. Para el 29 de julio, Personal del Observatorio que se encontraba realizando trabajos de campo por la cima de Galeras, reportó emisión de gases desde varios sectores del cono activo, resaltando el color blanco y la poca presión de salida del gas (Figura 2.1.63.).

Durante el mes de agosto, debido a las condiciones climáticas, fueron pocos los días en los que se observaron columnas de emisión de gases. La mayoría de las columnas fueron de color blanco, con alturas menores a los 400 m sobre la cima de Galeras y se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos. El día 5 de agosto, personal del Observatorios que se encontraba realizando labores en la zona de Barranco Alto, reportó un fuerte olor a gases azufrados (Figuras 2.1.61. y 2.1.64.).

Para el mes de septiembre, cuando las condiciones climatológicas lo permitieron, se logró observar actividad superficial durante los días 5, 9, 10, 14, 15, 22, 23, 24 y 29, presentándose una columna de emisión de vapor de agua y otros gases volcánicos con una altura máxima de 500 m sobre la cima del volcán galeras.

Para los días 9, 22 y 23 de septiembre, personal del observatorio que realiza trabajos en la cima del volcán Galeras, reportó olores a gases azufrados en la parte alta del sector noroccidental del edificio volcánico, sector conocido como Barranco Alto.

El día 15 de septiembre se registró imágenes desde la cámara ubicada en el municipio de Consacá, en la que se puede observar una emisión de gases entre las 4:32 y 4:44 de la tarde, de color blanco, con una altura máxima de 250 m sobre la cima de Galeras y con orientación de dispersión (Figura 2.1.66.).



Figura 2.1.61. Imágenes del volcán Galeras, capturadas desde la sede del Observatorio, el 14 de julio de 2011 en horas de la tarde, en las fotografías se observa la emisión de gases. Izquierda (5:42 p.m.), derecha (6:31 p.m.).



Figura 2.1.62. Imágenes del volcán Galeras, en las cuales se observa la emisión de gases registrada en horas de la mañana del 16 de julio de 2011. Las imágenes de la parte superior fueron capturadas desde el Observatorio y las de la parte inferior, desde la Población de Consacá.



Figura 2.1.63. Imágenes del volcán Galeras, capturadas desde la cima por Personal del Observatorio, el 29 de julio de 2011 en horas de la mañana, en las fotografías se observa emisión de gases.



Figura 2.1.64. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el municipio de Consacá el 5 de agosto de 2011 a la 1:29 p.m. (Izquierda) y desde la zona de Barranco Alto en la cima de Galeras a las 3:48 p.m. (Derecha).

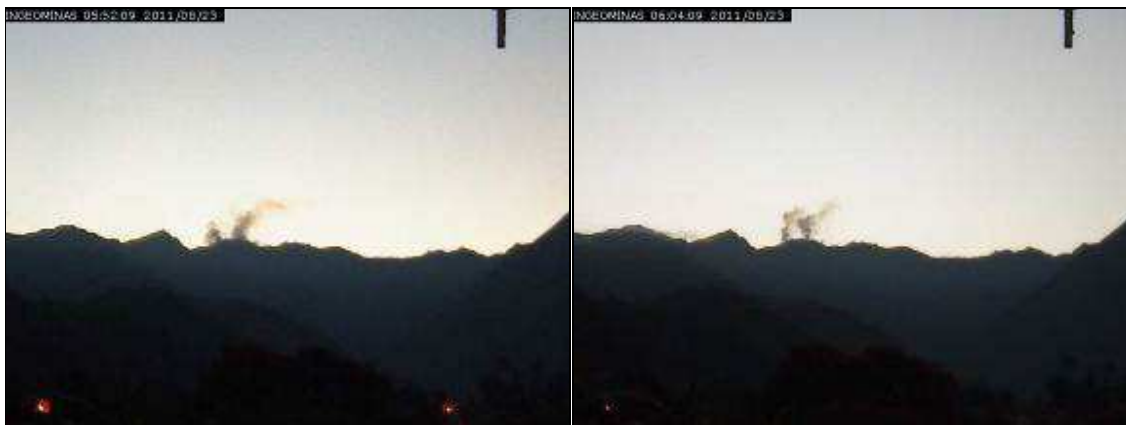


Figura 2.1.65. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el municipio de Consacá el 23 de agosto de 2011 a las 5:52 a.m. (Izquierda) y a las 6:04 a.m. (Derecha).



Figura 2.1.66. Imagen del volcán Galeras, capturada desde Consacá, el 15 de septiembre de 2011, en horas de la tarde, a las 4:54 p.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.

Para el mes de octubre, debido a que las condiciones climáticas fueron favorables, se observaron columnas de emisión de gases durante la mayor parte de este mes, la mayoría de las columnas fueron de color blanco, con alturas en promedio de 200 m y menores a los 800 m sobre la cima de Galeras y se dispersaron de acuerdo a la dirección de los vientos.

El día 19 de octubre, personal del INGEOMINAS, que se encontraba realizando labores en el sector de Barranco Alto, reportó emisión de gases desde varios campos fumarólicos y cráteres secundarios, no percibieron olores a gases azufrados (Figura 2.1.67.).



Figura 2.1.67. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el sector de Barranco Alto (Cima de Galeras) el 19 de octubre de 2011 a las 3:05 a.m.

En el mes de noviembre, se presentaron condiciones de clima favorables en la mayoría de días, a través de las diferentes cámaras instaladas en los sectores occidental, noroccidental y suroriental del volcán, se permitieron observar emisiones de gases de color blanco desde diferentes sectores del cono activo con dispersión variable debido a la acción de los vientos y con alturas menores a los 1000 m sobre la cima de Galeras. La mayor altura de columna se registró el 21 de noviembre de 920 m sobre la cima.

La cámara instalada en el sector noroccidental ubicada a 2.6 km del cráter volcánico permitió observar con mayor claridad la actividad superficial durante todo el mes. Adicionalmente, los días 16 y 19 de noviembre, personal del SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO que se encontraban en la cima de Galeras realizando labores de mantenimiento a las estaciones de monitoreo volcánico, reportó percibir olores a gases azufrados. Además, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), los días 2, 4, 23, 26 y 27 de noviembre se realizó reconocimientos aéreos en los cuales se detectaron zonas de anomalías térmicas en varios sectores, incluyendo el cráter principal, con un valor máximo cercano a 200 °C, en el sobrevuelo del 2 de noviembre se percibió fuertes olores a gases azufrados. Cabe resaltar que para finales del mes se registró una disminución en los procesos de emisión de gases, reflejada tanto en los bajos valores medidos de Dióxido de Azufre, como en la salida por los cráteres y campos fumarólicos, indicando un posible sellamiento en los conductos del sistema volcánico.

Las figuras 2.1.68. – 2.1.78, representan la actividad superficial durante el mes de noviembre, en las que se puede apreciar procesos de emisión de vapor de agua y otros gases volcánicos.



Figura 2.1.68. Imágenes del volcán Galeras, capturadas en sobrevuelo, el 2 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.



Figura 2.1.69. Imagen del volcán Galeras, capturada desde Barranco Alto, el 10 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 11:17 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.



Figura 2.1.70. Imagen del volcán Galeras, capturada desde la sede del OVSP, el 14 de noviembre de 2011 en horas de la tarde, a las 5:50 p.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.



Figura 2.1.71. Imagen del volcán Galeras, capturada desde la Población de Consacá, el 16 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 5:57 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.



Figura 2.1.72. Imagen del volcán Galeras, capturada desde Barranco Alto, el 17 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 8:29 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.



Figura 2.1.73. Imagen del volcán Galeras, capturada por Personal del OVSP en trabajos por la cima volcánica, el 19 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 10:01 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.



Figura 2.1.74. Imagen del volcán Galeras, capturada desde Barranco Alto, el 21 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 9:53 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.

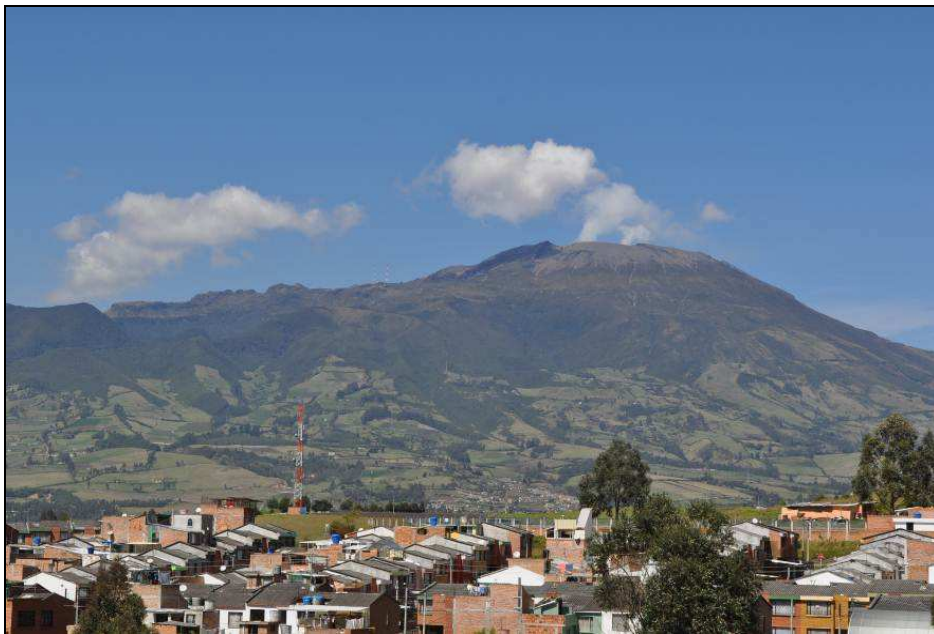


Figura 2.1.75. Imagen del volcán Galeras, capturada desde la sede del OVSP, el 21 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 10:06 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.

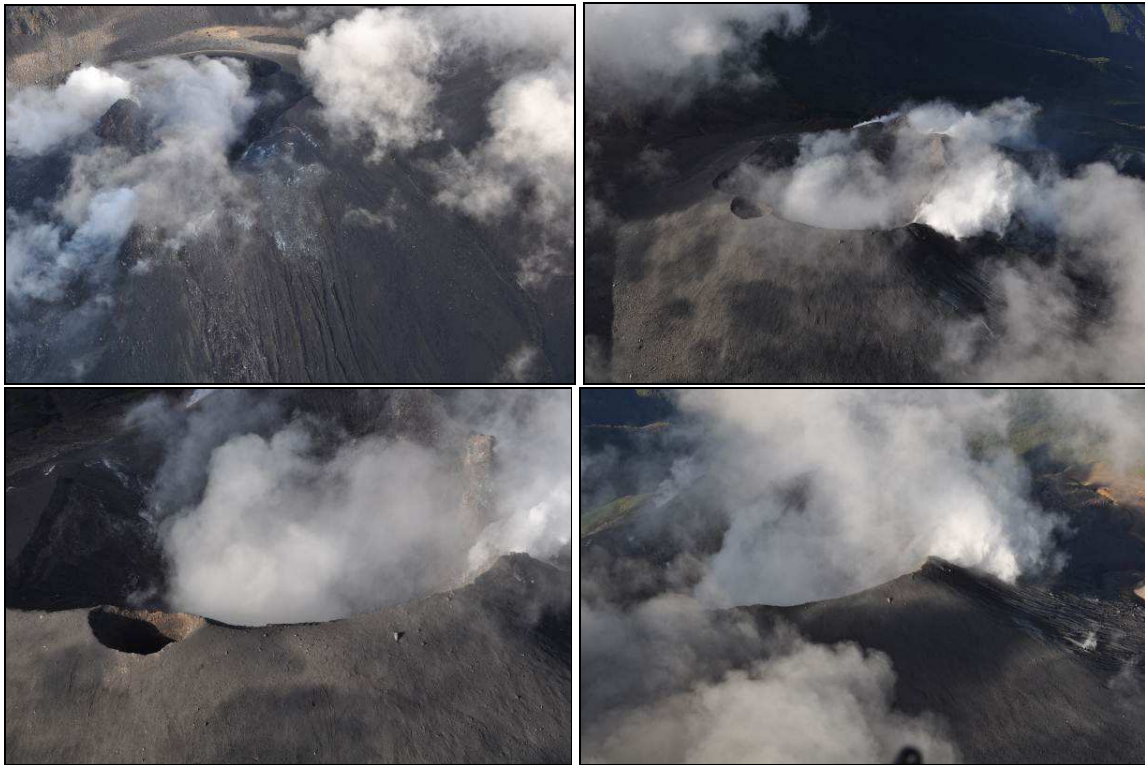


Figura 2.1.76. Imágenes del volcán Galeras, capturadas en sobrevuelo, el 26 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.



Figura 2.1.77. Imágenes del volcán Galeras, capturadas en sobrevuelo, el 27 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.



Figura 2.1.78. Imagen del volcán Galeras, capturada desde la sede del OVSP, el 27 de noviembre de 2011 en horas de la mañana, a las 6:45 a.m., en la fotografía se observa la emisión de gases.

2.1.6. Imágenes Térmicas

En los sobrevuelos realizados los días 4 de noviembre, 26 de noviembre y 6 de diciembre de 2011, en los cuales participó personal del SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO con la colaboración la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) en un helicóptero Huey II, se tomaron imágenes térmicas con el fin de hacer el seguimiento de la evolución de las temperaturas de la roca en diferentes puntos del cono activo de Galeras, debido a pocos registros, no es posible realizar un seguimiento continuo del comportamiento de las temperaturas en zonas del cráter de Galeras, durante el segundo semestre de 2011. El registro de la temperatura más alta fue cercana a los 200 °C, en el fondo del cráter principal, figura 2.1.79. Las imágenes también se encuentran disponibles en la página web del observatorio, en la URL: www.ingominas.gov.co/Pasto.aspx.

En la Tabla 2.1.11 se listan las temperaturas máximas registradas con cámaras de tecnología FLIR en diferentes puntos del cono activo del volcán Galeras, durante sobrevuelos realizados entre noviembre y diciembre de 2011. Estas imágenes son usadas para observar detalle de zonas con anomalías térmicas el fondo de cráter principal así como también en los cráteres secundarios y puntos de emisión. El símbolo ">" significa que hay una temperatura mayor que el valor en frente y debido a baja calidad en el foco de la imagen no se puede precisar la temperatura.

Tabla 2.1.11. Sobrevuelos realizados con las temperaturas máximas obtenidas en el segundo semestre de 2011.

Fecha sobrevuelo	Zona anomalía térmica en °C				
	Fondo del cráter	El Paisita	El Paisita interno	Las Chavas	Las Deformes
4 de noviembre	197	>84	61	51	-
26 de noviembre	140	>84	24	-	22
6 de diciembre	174	135	48	54	-

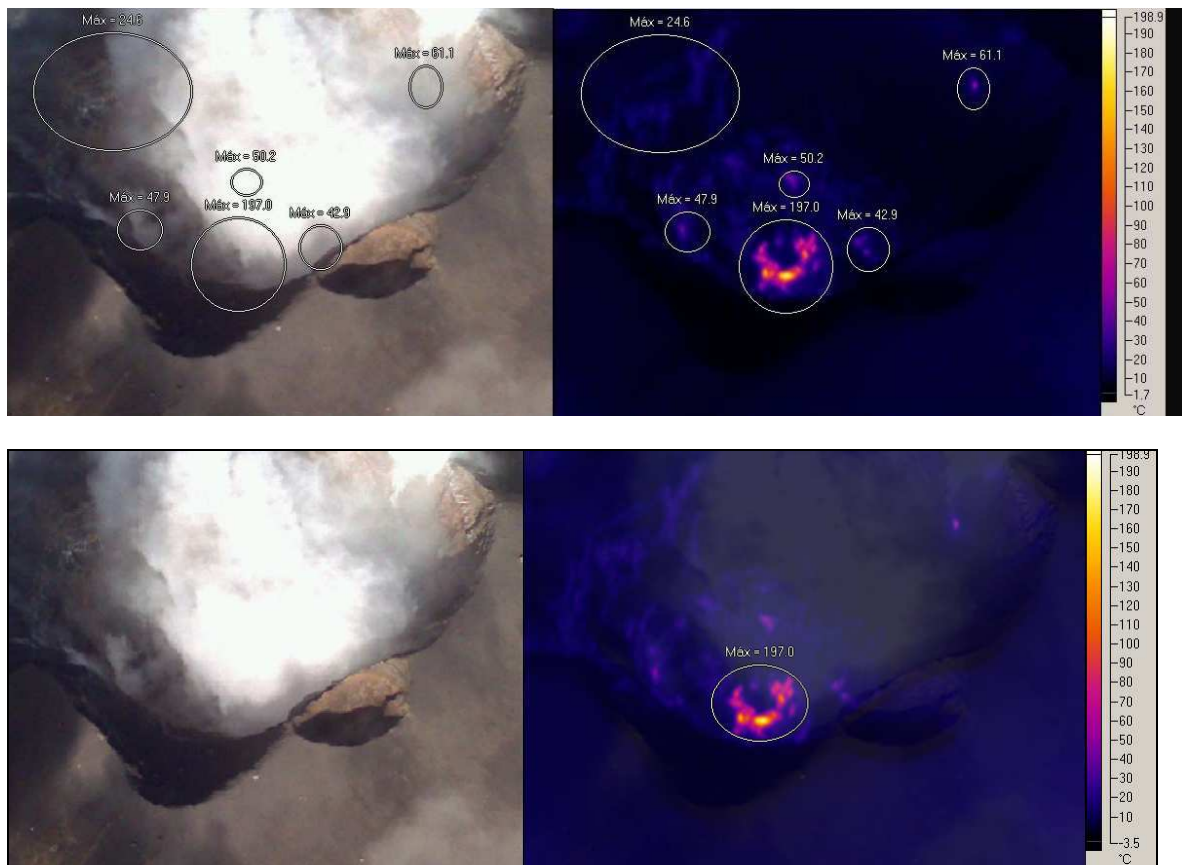


Figura 2.1.79. Imágenes térmicas del volcán Galeras, capturada en sobrevuelo, el 26 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observan anomalías térmicas en varios sectores del cono activo.

2.1.7. Actividad tectónica especial registrada entre el 28 de septiembre y el 28 de octubre de 2011.

Dentro de la actividad tectónica local registrada durante el mes de octubre se resalta la ocurrida durante el periodo comprendido entre el 28 de septiembre y el 28 de octubre de 2011 la cual está asociada con fallas activas de la región. En total se contabilizaron 602 eventos, de los cuales fue posible localizar 141 eventos, la mayoría de ellos se ubicaron a profundidades entre los 5 y 25 km, y a distancias entre los 14 y 21 km respecto a la ciudad de Pasto. Epicentralmente los sismos se



Libertad y Orden

localizaron en los alrededores de los municipios de San Francisco, Sibundoy, Colón y Santiago del departamento del Putumayo y el corregimiento del Encano en el municipio de Pasto. Las magnitudes locales de los eventos estuvieron en un rango entre 0,1 y 3,0 en la escala de Richter.

Respecto a esta sismicidad se destaca que los días de mayor ocurrencia fueron los días 28 y 29 y 30 de septiembre con el registro de 104, 216 y 79 sismos respectivamente. El día 29 de septiembre personal del Ingeominas visitó los municipios mencionados anteriormente con el fin de realizar un sondeo de la percepción que tuvieron los habitantes respecto a la sismicidad en cuestión.

En los municipios de San Francisco, Sibundoy y Colón se entrevistaron a 15 personas de las cuales ninguna manifestó haber sentido alguno de los sismos.

En el municipio de Santiago se entrevistaron 7 personas de las cuales 3 sintieron el sismo ocurrido a las 00:30 a.m. del 29 de septiembre, que tuvo una magnitud de 2,8 en la escala de Richter. En general estas personas se encontraban recostadas y se despertaron asustadas a causa del sismo. El evento fu sentido como un solo sacudón con una duración no mayor a los 5 segundos. Una de las personas sintió vibración en el techo. Se considera que para el casco urbano del municipio de Santiago la intensidad máxima en la escala Mercalli Modificada (MM) es de II. En el sector rural de este municipio, cercano al límite con el departamento de Nariño se estimó una intensidad de III.

En este mismo municipio en el casco urbano, una persona manifestó haber sentido un sismo entre las 4:00 p.m. y las 5:00 p.m., el cual se presume que sea el ocurrido a las 5:32 p.m. del 28 de septiembre, con una magnitud de 1,9 en la escala de Richter, al cual se le una intensidad de II.

En el corregimiento del Encano se entrevistaron 17 personas de las cuales solamente una manifestó haber sentido el sismo de las 00:30 a.m. del 29 de septiembre. Esta persona se encontraba en la vereda El Puerto y de acuerdo a su reporte se estimó una intensidad de II para este sector.

En la siguiente figura se muestra la ubicación de las zonas evaluadas.



Figura.2.1.80. Zona de influencia de la sismicidad presentada entre el 28 y 29 de septiembre de 2011, que corresponde a los departamentos de Nariño y Putumayo. Las líneas rojas señalan los lugares evaluados y el criterio de intensidad.

Definiciones de los primeros valores de intensidad de la escala de MM:

Intensidad I. No es sentido. Solo lo registran los sismógrafos. Algunos animales pueden manifestar intranquilidad.

Intensidad II. Puede ser sentido por personas que se hallan en reposo, en edificios altos o en lugares que favorecen la percepción. Los objetos suspendidos pueden oscilar.

Intensidad III. Sentido en el interior de las edificaciones, especialmente en pisos altos, aunque muchas personas no lo asocien con un temblor ya que la vibración es semejante a la producida por un vehículo liviano. Vehículos estacionados pueden moverse ligeramente. La duración de la parte sensible del evento puede ser estimable.

2.1.8 Conclusiones

La actividad volcánica durante del segundo semestre del 2011, mostró algunas fluctuaciones en su comportamiento, dentro de niveles considerados como bajos, con procesos que se concentran en la parte superficial del volcán, que no evidencian aportes de material magmático desde niveles más profundos, estos procesos pueden ser el reflejo de la interacción entre el sistema hidrotermal y remanentes de material magmático emplazados en niveles superficiales.



En el periodo evaluado, se resaltan los cambios presentados en noviembre, enmarcados principalmente en el tipo de señales registradas, especialmente la presencia de eventos tipo Tornillo, los cuales adquieren gran relevancia en Galeras ya que se han precedido varios eventos eruptivos, razón por la cual, el 24 de noviembre generó cambio en el nivel de actividad de Galeras, de Nivel Amarillo ■ (III) "Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica", a Nivel Naranja ◆ (II). Posteriormente en diciembre, se observó un incremento en la liberación de gases tanto desde el cráter principal como desde otros cráteres secundarios, así como también, la disminución en la ocurrencia de eventos tipo Tornillo, lo cual permitió que el 6 de diciembre el nivel de actividad retornara a Amarillo ■ (III): "Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica"

2.2 VOLCÁN DOÑA JUANA

El Volcán Doña Juana se localiza en la Cordillera Central en el sector nor-oriental del Departamento de Nariño, con coordenadas $1^{\circ}30,31' N$ y $76^{\circ}56,17' W$ y una altura de 4250 m sobre el nivel del mar, en el dominio de los municipios de La Cruz, San Bernardo, Tablón de Gómez en Nariño y los municipios de Bolívar y Santa Rosa en el Cauca.

Es considerado como un estrato volcán andesítico, con un cráter de diámetro, cercano a 4 km, sin glaciares y en el cual se encuentran varios domos de lava (Figura 2.2.1 y 2.2.2).

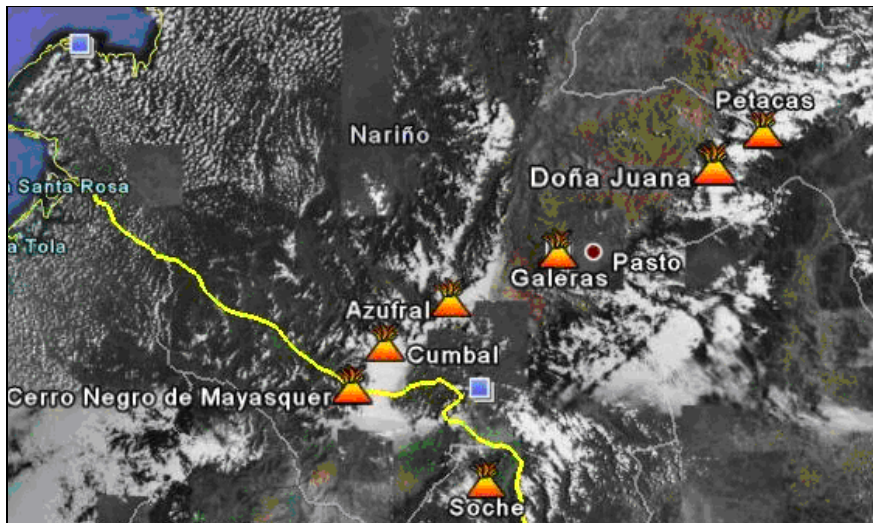


Figura 2.2.1. Imagen tomada de Google Earth en donde se observan algunos volcanes del sur de Colombia y del norte del Ecuador, entre ellos están Doña Juana, Galeras, Azufral y Cumbal, monitoreados por el OVSP - INGEOMINAS.



Figura 2.2.2. Imagen de la cima del volcán Doña Juana.

2.2.1 Red de vigilancia

Durante el segundo semestre de 2011, la red de vigilancia de Doña Juana estuvo conformada por:

- Tres estaciones sísmicas telemétricas triaxiales: dos de Corto Periodo y una de Banda Ancha (Figura 2.2.3, Tabla 2.2.1.). La recepción de la información que detectan estas estaciones en la sede del OVSP, se realiza a través de una red telemétrica punto a punto con dos repetidoras instaladas en el cerro Morasurco y en la estación Cufiño del volcán Galeras.
- Dos inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 2.2.3, Tabla 2.2.1.). La transmisión de los datos se realiza usando una red telemétrica punto-multipunto configurada para los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño.

Adicionalmente, para el procesamiento de la información se cuenta con el registro de la estación sismológica de corto período, de componente vertical, de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC); la cual está localizada al nor-noroccidente de los domos del volcán Doña Juana (Figura 7).

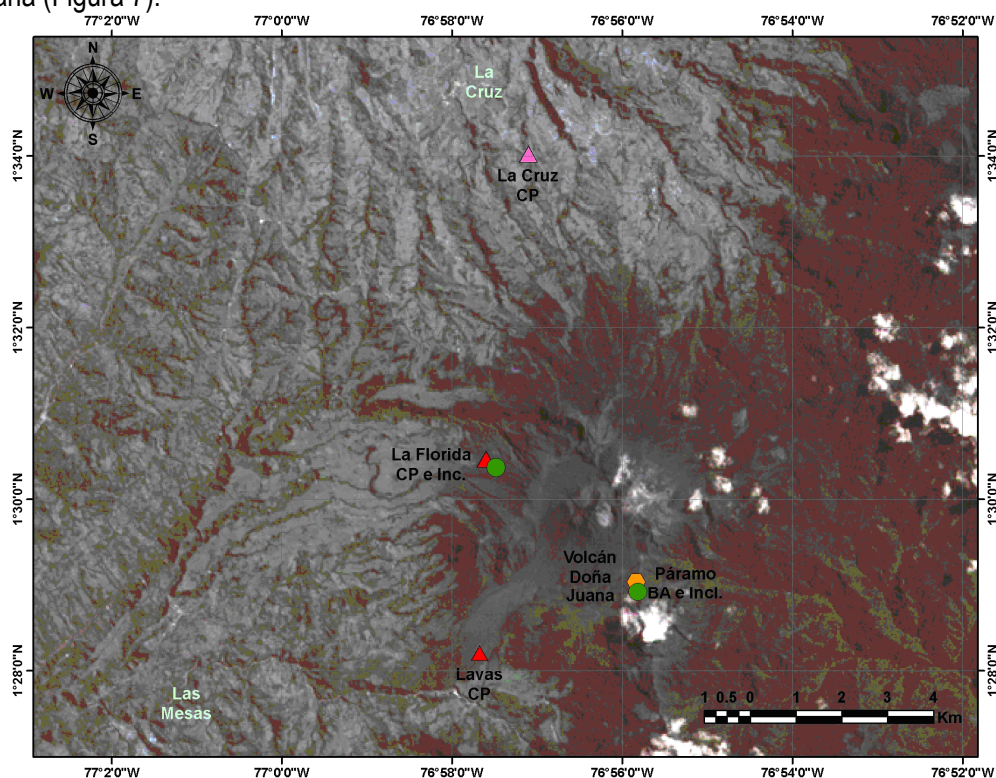


Figura 2.2.3. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el segundo semestre de 2011. Los triángulos simbolizan las estaciones sismológicas de corto período, los círculos verdes simbolizan los inclinómetros electrónicos y el hexágono amarillo la estación sismológica de banda ancha.

Tabla 2.2.1. Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana durante el segundo semestre de 2011.

Estación	Tipo de Información	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a los Domos (Km)	Dirección respecto a los Domos	Altitud (m.s.n.m)
Lavas	Analógica	Sismómetro Corto Período	Triaxial	4.10	SW	2954
Páramo	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	2.10	SE	3533
Florida	Digital	Sismómetro Corto Período	Triaxial	2.30	W	3154
Incl. Páramo	Digital	Inclinómetro Electrónico	Bidireccional	2.10	SE	3533
Incl. Florida	Digital	Inclinómetro Electrónico	Bidireccional	2.30	W	3154

Las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvieron un funcionamiento total del 87% (Figura 2.2.4.). No se tuvo un 100% de funcionamiento, debido principalmente a problemas en la repetidora de las estaciones sismológicas Páramo y Florida y a inconvenientes con el sistema de alimentación eléctrico de la estación Páramo (sismómetro e inclinómetro) lo cual hizo imposible la transmisión de información desde el lugar de emplazamiento hacia la sede.

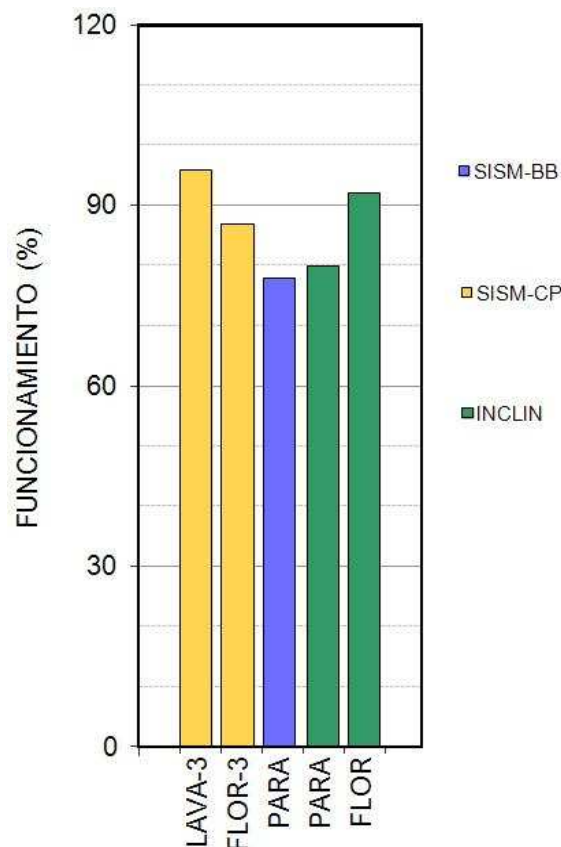


Figura 2.2.4. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el segundo semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana.



En la Tabla 2.2.2. Se muestran los cambios de equipos y trabajos de mantenimiento más relevantes realizados en las estaciones instaladas para el monitoreo del volcán Doña Juana.

Tabla 2.2.2. Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red del volcán Doña Juana, durante el segundo semestre de 2011.

FECHA	ESTACION	DESCRIPCIÓN
Julio	Páramo Florida	Después de una fuerte tormenta eléctrica ocurrida el 13 de Abril se deja de registrar señal de las estaciones Páramo (sismómetro) y Florida (sismómetro e inclinómetro), por lo tanto se implementa una nueva arquitectura de red usando radios IP, marca FreeWave, modelo FGR2-PE, los cuales permiten acceso remoto y facilidad de diagnóstico de condiciones de funcionamiento.
Agosto	Páramo	El 12 de Agosto se reinstala el inclinómetro electrónico y su sistema de transmisión, el cual había sido retirado anteriormente para ser revisado en laboratorio. Además se realizó la instalación de un nuevo radio repetidor en la estación Morasurco-1 debido a que este, fue quemado durante una descarga atmosférica.
Octubre	Lavas	El 11 de Octubre se instala un nuevo panel solar en la estación (sismómetro) para brindarle mayor autonomía al sistema de alimentación eléctrico.
	Páramo	El 12 de Octubre se instala un nuevo panel solar en la estación (sismómetro e inclinómetro) para brindarle mayor autonomía al sistema de alimentación eléctrico.
	Florida	El 13 de Octubre se instala un nuevo panel solar en la estación (sismómetro e inclinómetro) para brindarle mayor autonomía al sistema de alimentación eléctrico.

2.2.2 Sismología

En el segundo semestre de 2011, la sismicidad en el volcán Doña Juana se mantuvo más o menos estable en su ocurrencia en comparación con el primer semestre del mismo año con la salvedad de que no se presentaron picos con gran número de sismos (Figura 2.2.5.). El carácter de la mayoría de los sismos VOL parece estar relacionada con fracturamiento de material sólido así como los sismos VT y no se evidencian sismos asociados con movimiento de fluidos.

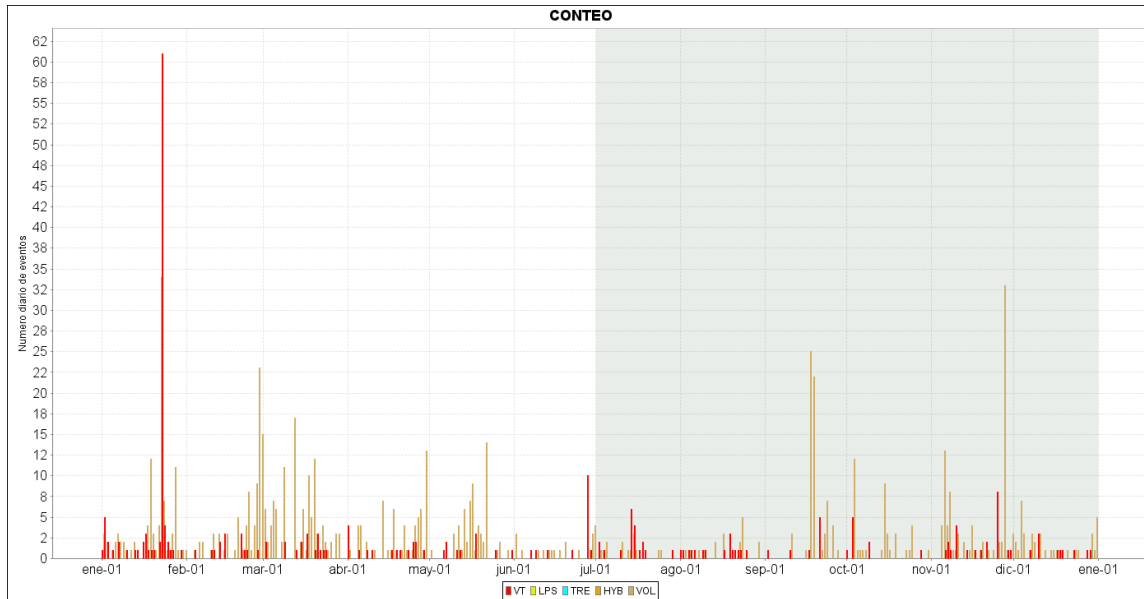


Figura 2.2.5. Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

A manera de ejemplos de la sismicidad del volcán Doña Juana, en las Figuras de la 2.2.6. y 2.2.7. se muestran registros asociados con actividad de este volcán, junto con su espectro de Fourier.

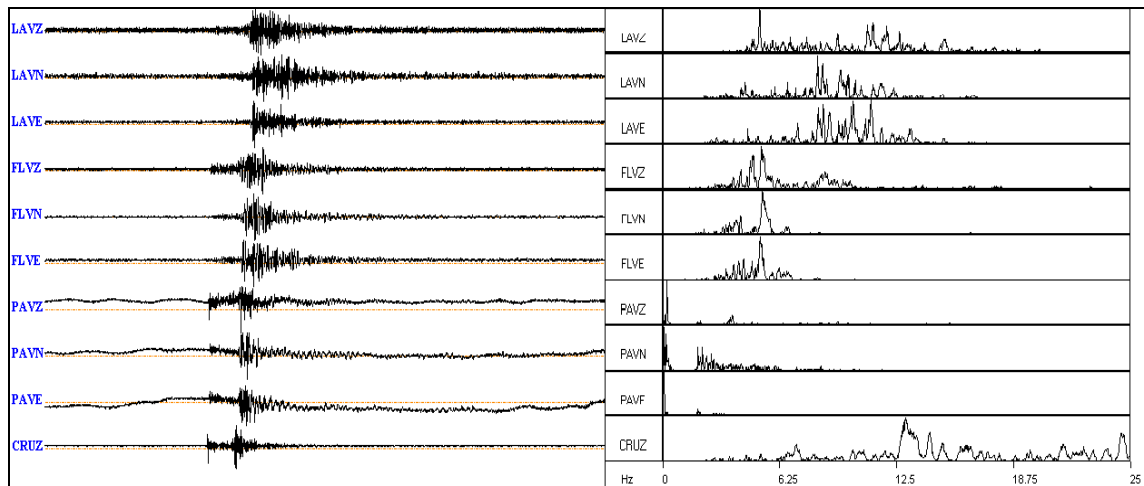


Figura 2.2.6. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento VT de magnitud local 1 en la escala de Richter, ocurrido el 4 de julio de 2011, a las 2:44 a.m., registrado en las estaciones de monitoreo del volcán Doña Juana,

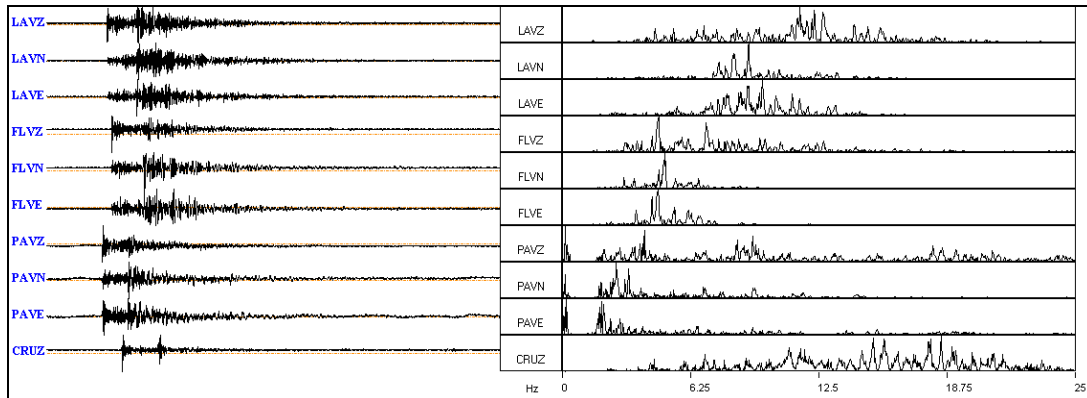


Figura 2.2.7. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo VT de magnitud local 1 en la escala de Richter, ocurrido el 17 de julio de 2011, a la 7:57 p.m., registrado en las estaciones de monitoreo del volcán Doña Juana.

2.2.3. Deformación

2.2.3.1 Inclinometría Electrónica

En la componente Tangencial del inclinómetro electrónico Florida (ubicado a 2.3 km., al Oeste de los domos, 3154 msnm) se observó que continuo hasta el 6 de agosto el comportamiento descendente mostrado desde el 11 de abril de 2011, registrando cerca de 1790 μ rad, posteriormente continuo la tendencia descendente, pero de una manera no muy pronunciada, es así como desde el 6 de agosto hasta el 30 de diciembre, se tuvo una variación de 70 μ rad, mientras que en la Radial se observó un comportamiento ascendente entre el 29 de marzo y el 6 de agosto, totalizando 5670 μ rad, luego se presentó un descenso cercano a los 110 μ rad entre el 6 de agosto y el 29 de diciembre de 2011 (Figura 2.2.8.). Con respecto al inclinómetro Páramo, para este periodo no se considera, debido a que probablemente sus componentes están mostrando datos no reales.

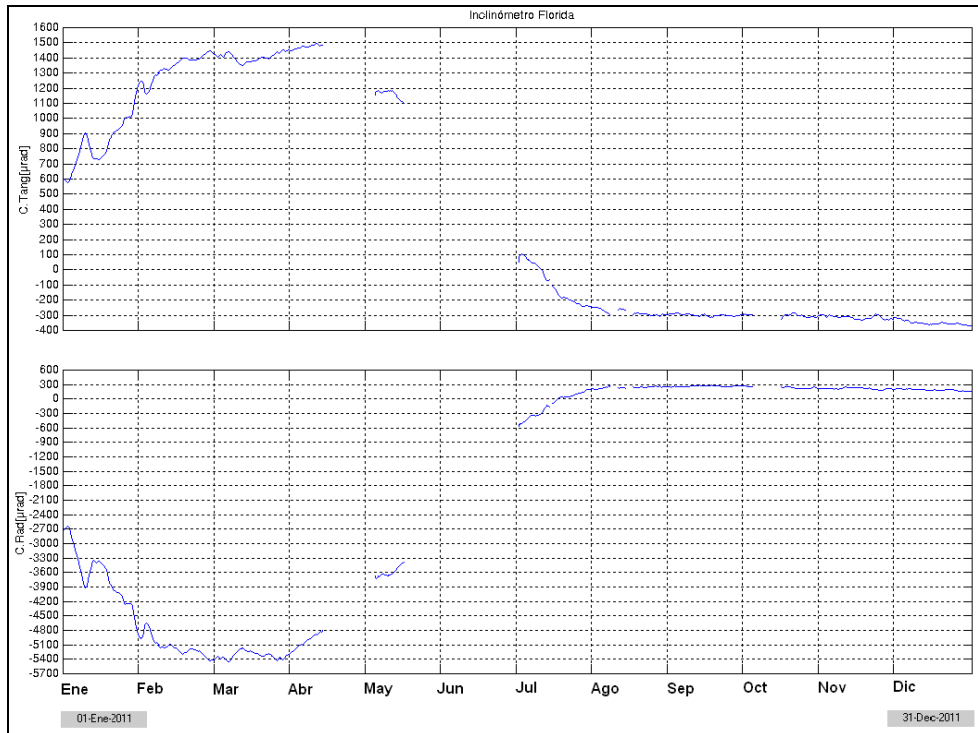


Figura 2.2.8. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.

2.2.4. Muestreo de aguas termales

A continuación se destacan los aspectos más relevantes que se desarrollaron en el Segundo Semestre de 2011:

2.2.4.1. Ubicación de las fuentes termales

En el periodo evaluado, se registraron dos nuevas fuentes termales, las cuales se ubican al nororiente del municipio de La Cruz, y se identificaron como Animas I y Animas II. Estas fuentes termales poseen temperaturas alrededor de los 60°C y son de fácil acceso. Las características de ubicación se presentan en la Tabla 2.2.3. Y una serie de imágenes de las fuentes en la Figura 2.2.9.

Además se continuo con el muestreo de las fuentes termales del volcán Doña Juana, Tajumbina, La Vega y El Silencio, siguiendo los lineamientos (método de ensayo: muestreo de aguas de origen volcánico con código: ME-LAB-AG-001 que se tienen para la vigilancia volcánica en Colombia.

Haciendo uso de los vasos de precipitados plásticos de 200 ml y teniendo en cuenta las precauciones de seguridad, se realizó la toma de 4 muestras de cada una de las fuentes termales del Volcán Doña Juana, una para aniones, cationes, Redox y CO₂.

Utilizando el equipo de filtración, se filtró el agua para llenar el recipiente de aniones, cationes y CO₂ respectivamente.

En la toma de muestra para cationes, si el pH de la fuente es mayor a 3 se debe acidular con HNO₃ (ácido Nítrico) 1:1, hasta alcanzar un pH de 2, esto se realiza con el fin de mantener los iones estables hasta la realización de sus respectivos análisis en el laboratorio de la ciudad de Bogotá.

Tabla 2.2.3. Características de las fuentes termales de Volcán Doña Juana.

FUENTE TERMAL	COORDENADAS		ALTURA msnm
	Latitud	Longitud	
Animas I	01° 34' 30.4"	76° 55' 3.1"	2586
Animas II	01° 35' 0.2"	76° 55' 10.2"	2486
Tajumbina	01° 34' 68"	76° 56' 25"	2500
La Vega	01° 27' 52.4"	76° 59' 28.1"	2432
El Silencio	01° 28' 2.3"	76° 58' 26.6"	2458

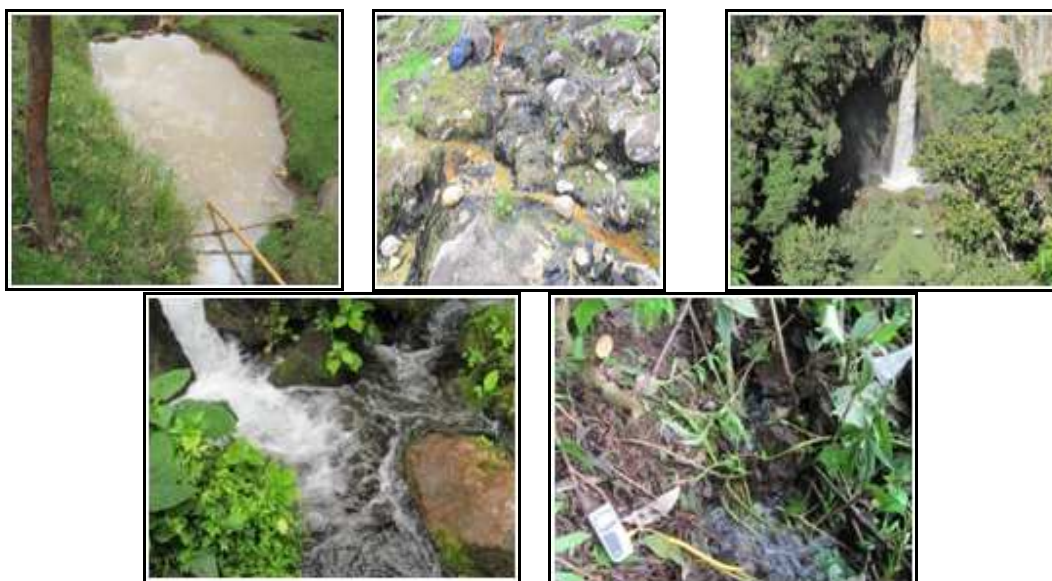


Figura 2.2.9. Imágenes de las fuentes termales de Volcán Doña Juana.

2.2.4.2. Toma de la muestra

Haciendo uso de los vasos de precipitado plásticos de 200 ml y teniendo en cuenta las precauciones de seguridad se realizó la toma de 4 muestras de cada una de las fuentes termales del Volcán Doña Juana, una para aniones, cationes, Redox y CO₂.



Utilizando el equipo de filtración, se filtró el agua para llenar el recipiente de aniones, cationes y CO₂ respectivamente.

Para la toma de la muestra para cationes, si el pH de la fuente es mayor a 3 se debe acidular con HNO₃ (ácido Nítrico) 1:1, hasta alcanzar un pH de 2, esto se realiza con el fin de mantener los iones estables, hasta la realización de sus respectivos análisis en el laboratorio de la ciudad de Bogotá

2.2.4.3. Mediciones de Parámetros Físicoquímicos

Por otra parte, se realizaron medidas de parámetros físicoquímicos tales como temperatura y pH. Si la temperatura es menor a 30°C se hace la medición de conductividad. En la Tabla 2.2.4. se indican los parámetros medidos in situ, para el periodo evaluado de 2011.

Tabla 2.2.4. Parámetros físicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Doña Juana.

FUENTE TERMAL	MES	pH	Tem °C	Cond (mS/cm) a 25 °C	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁼ mg/L	CO ₃ ⁼ mg/L	HCO ₃ ⁼ mg/L
ANIMAS I	Diciembre	6.5	54.5	3.08	-	-	0	759
	Octubre	6.5	54.0	1.92	-	-	0	687
	Agosto	6.5	41.2	-	900	671	0	1392
ANIMAS II	Diciembre	6.7	64.8	5.81	-	-	0	1186
	Octubre	6.5	64.0	2.54	-	-	0	1229
	Agosto	6.4	64.4	-	1442	823	0	1159
TAJUMBINA	Diciembre	6.8	63.6	2.80	-	-	0	1365
	Octubre	6.8	63.1	2.55	-	-	0	1436
	Agosto	6.3	63.6	0.0051	1542	798	0	1386
LA VEGA	Diciembre	8.4	23.6	0.52	-	-	0	253
	Octubre	7.8	23.7	0.45	-	-	0	88
	Agosto	6.2	24.6	0.58	138	907	0	107
EL SILENCIO	Diciembre	7.8	25.8	0.55	-	-	0	126
	Octubre	7.0	26.3	0.47	-	-	0	95
	Agosto	6.1	26.6	0.59	429	749	13	95

De acuerdo a los datos registrados en el mes de Agosto, se puede apreciar que la temperatura de las diferentes fuentes termales del Volcán Doña Juana, de las que se tiene registro, se encuentra entre 24,6 °C y 64,4 °C. Para las fuentes termales Animas I, Animas II y Tajumbina no se realizó medición de conductividad ya que su temperatura es superior a los 30°C, y con un aumento en la temperatura, disminuiría la viscosidad del agua y permitiría que los iones se muevan más rápidamente, conduciendo más electricidad. Este efecto de la temperatura es diferente para cada ión, y en especial para soluciones acuosas diluidas, como las aguas termales en cuestión. La conductividad varía de 1 a 4% por cada grado centígrado.



Los valores de conductividad eléctrica indican que en las fuentes termales La Vega y El Silencio las aguas se ionizan de manera similar, ya que conducen casi por igual la corriente eléctrica. Esto es coherente con los valores de pH y temperatura los cuales son similares en las dos fuentes.

Además en la Tabla 2.2.5. se presentan las concentraciones en mg/L para Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- y CO_2 , efectuadas en el mes de Agosto para las fuentes termales.

Tabla 2.2.5. Concentración de Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- y CO_2 de las fuentes termales del Volcán Doña Juana medidos en mg/L.

MUESTRA	Cl(mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	CO ₂ (mg/L)
Animas 1	900.43	670.63	0	687.7	158.4
Animas II	1442.82	822.71	0	1152.9	105.6
Tajumbina	1542.07	798.13	0	1222.2	149.6
LA Vega	138.25	906.67	0	97.65	52.8
El Silencio	428.945	749.38	0	100.8	70.4

En las fuentes termales Animas I, Animas II y Tajumbina se observó burbujeo de gases, mientras que en La Vega y El Silencio no se observó dicho burbujeo, indicando en estas últimas solo hay transferencia de calor desde cierta zona hacia las fuentes, mientras que en las primeras además de la transferencia de calor hay salida de gases en mayor cantidad. Los valores de pH, los cuales tienden a la neutralidad, indican que posiblemente las cantidades de bicarbonatos son neutralizadas por gases ácidos como el SO_2 o el CO_2 , presentes en este tipo de sistemas volcánicos.

Para los análisis realizado en el mes de Octubre, las fuentes termales ubicadas en el costado noroccidental (Animas I, Animas II y Tajumbina) no mostraron un cambio significativo en la concentración de iones hidronio (pH), mientras que en las fuentes termales La Vega y El Silencio este parámetro tuvo un incremento de 1,6 y 0,9 unidades respectivamente, en comparación con los valores obtenidos en el mes de agosto.

La temperatura en la fuente termal Animas tuvo un marcado incremento en comparación con el mes de agosto, pero este resultado no se debe necesariamente a un cambio en la actividad volcánica, si no a que en el mes de agosto la fuente estaba contenida en un pequeño muro de concreto lo que ocasionaba un represamiento, pero cuando se realizó la medición en el mes de agosto, la fuente ya no se encontraba represada, así que la medición se hizo directamente en la salida de la roca, obteniéndose un resultado mayor. Los cambios en las demás fuentes no son significativos con respecto a las mediciones realizadas en el mes de agosto.

Para el mes de diciembre, las mediciones efectuadas en las fuentes termales ubicadas en el costado noroccidental (Animas I, Animas II y Tajumbina) no mostraron un cambio significativo en la concentración de iones hidronio (pH), mientras que en las fuentes termales La Vega y El Silencio

este parámetro tuvo un incremento de 0.6 y 0.8 unidades respectivamente, en comparación con los valores obtenidos en el mes de octubre. Estos valores de pH indican un incremento en la alcalinidad de las aguas, lo que se traduce en un incremento en la concentración de carbonatos y bicarbonatos, tal como lo indica la tabla 2.2.5.

La temperatura en la fuente termal Animas II tuvo un incremento en comparación con los meses de octubre y agosto de 0.8 y 0.4 °C respectivamente.

2.2.5 Actividad superficial

En el segundo semestre del 2011, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (Helicóptero Huey II) se realizó un sobrevuelo donde fue posible registrar imágenes de la cima del volcán Doña Juana, sin encontrar novedades en actividad superficial. En sobrevuelo efectuado el 2 de noviembre de 2011, se capturaron algunas imágenes del volcán Doña Juana (Figuras 2.2.10. y 2.2.11.).

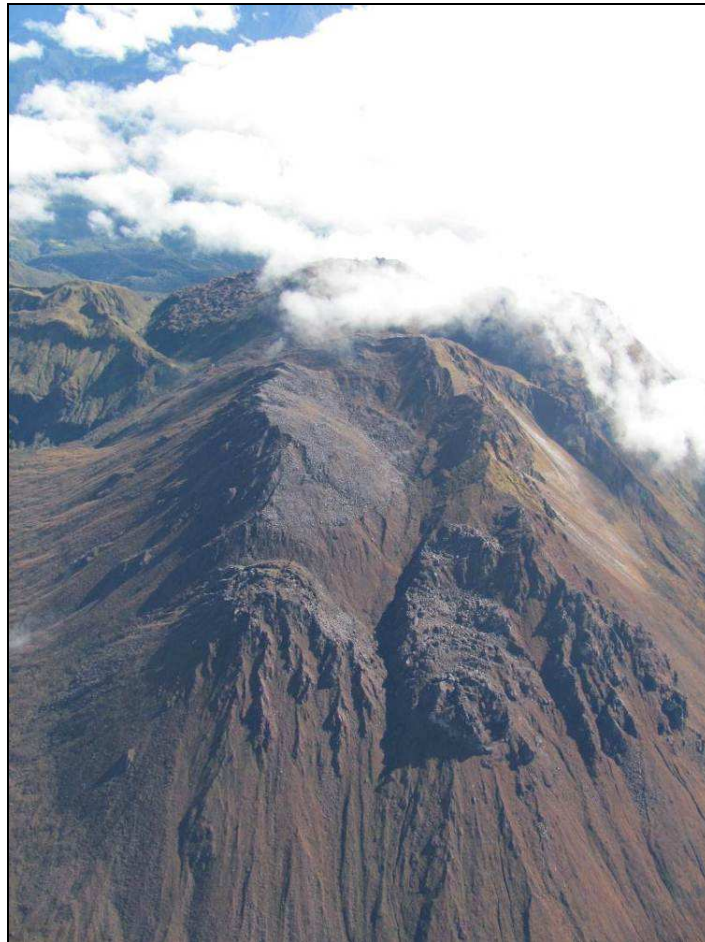


Figura 2.2.10. Imagen del volcán Doña Juana, capturada en sobrevuelo, el 2 de noviembre de 2011, en horas de la mañana.

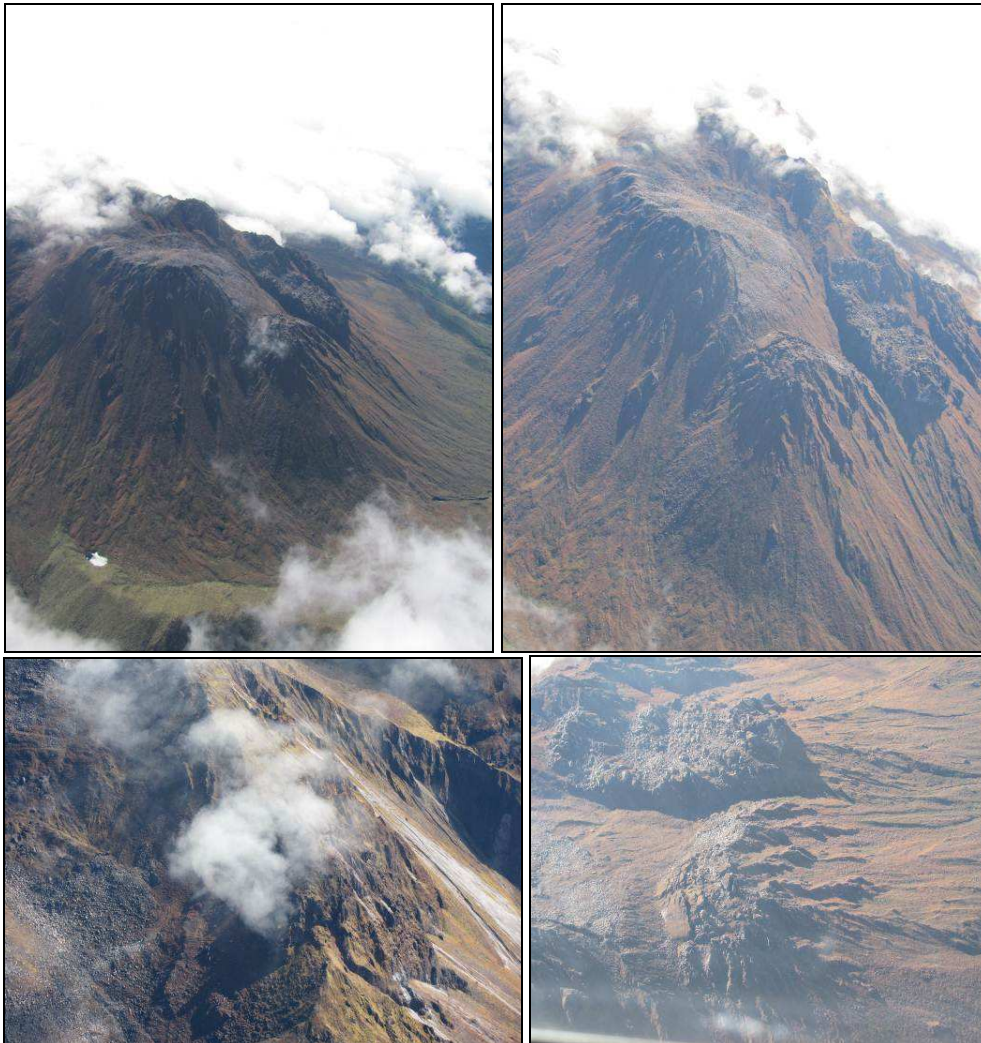


Figura 2.2.11. Imágenes del volcán Doña Juana, capturadas en sobrevuelo, el 2 de noviembre de 2011, en horas de la mañana.

2.2.5. Conclusiones

Las estaciones instaladas en el volcán Doña Juana, permiten obtener el registro de señales que se pueden catalogar como volcánicas. De acuerdo a la forma de onda y al contenido frecuencial, algunos de estos sismos corresponden a eventos asociados con fracturamiento de material cortical.

La evaluación de la actividad volcánica de Doña Juana durante el mes de agosto de 2011 permitió establecer el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**.

2.3 VOLCÁN AZUFRAL

El volcán Azufral es un estrato-volcán, con un cráter de diámetro estimado en 3 km., donde se encuentra una laguna cratérica llamada Laguna Verde (Figura 2.3.1), no registra la presencia de glaciares y sus depósitos están asociados con flujos de lava, flujos piroclásticos de gran magnitud y depósitos de caída (cenizas y pumitas). Este volcán nariñense es considerado como uno de los de mayor explosividad en el territorio Colombiano, resaltándose el potencial que tienen sus depósitos en términos de flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas.

El volcán Azufral se localiza en la cordillera Occidental, al suroriente del Departamento de Nariño (Figura 2.2.1), con una altura máxima de 4070 m sobre el nivel del mar, en los dominios de los municipios de Túquerres, Sapuyes, Mallama y Santa Cruz.

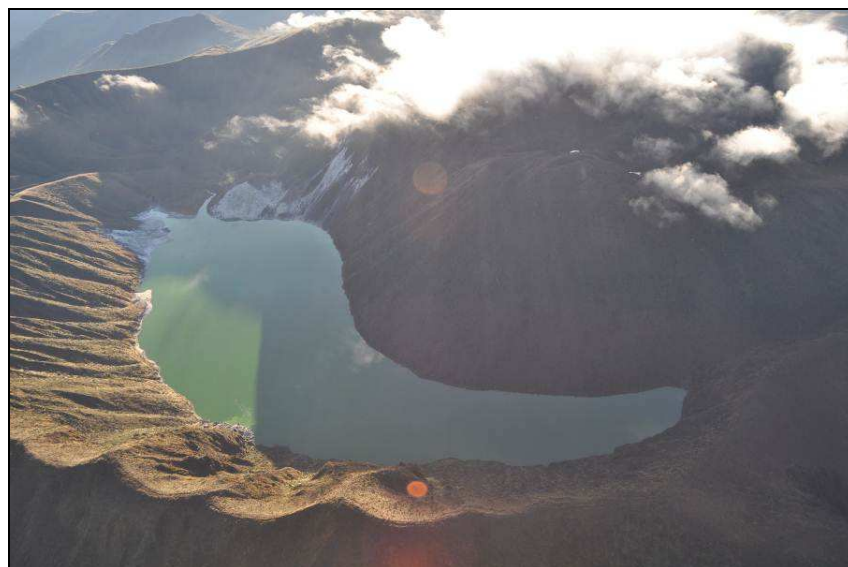


Figura 2.3.1. Panorámica de la laguna cratérica del volcán Azufral. Nótese el domo pequeño de color claro en la parte izquierda de la imagen y detrás de la laguna, los grandes domos. Septiembre 4 de 2008, 12:10 p.m.

2.3.1 Red de vigilancia

Durante el segundo semestre de 2011, la red de vigilancia del volcán Azufral estuvo conformada por:

- Dos estaciones sismológicas telemétricas (una triaxial de Banda Ancha y otra triaxial de corto periodo (Figura 2.3.2, Tabla 2.3.1.). A través de una red telemétrica punto a punto se recibe la información capturada por estas estaciones en la sede del OVP, usando una repetidora instalada en el cerro Cruz de Amarillo (Figura 2.3.3.). La información de la estaciones de Banda Ancha Chaitán y de corto periodo La Roca, al igual que la instalada en el volcán Cumbal, se concentran en la Repetidora Cruz de Amarillo mediante una unidad DCM, la cual optimiza el uso de equipo de telemetría.

- Dos inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 2.3.2, Tabla 2.3.1). La transmisión de los datos se realiza usando la red telemétrica punto-multipunto configurada para los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño en el caso del inclinómetro Chaitán y para el inclinómetro La Roca se emplea el mismo enlace de la estación sismológica.

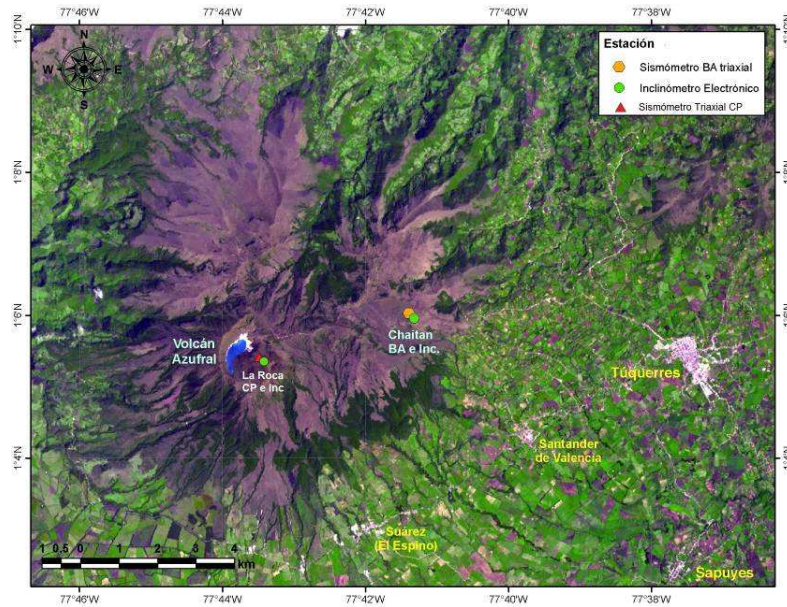


Figura 2.3.2. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufra durante el segundo semestre de 2011.

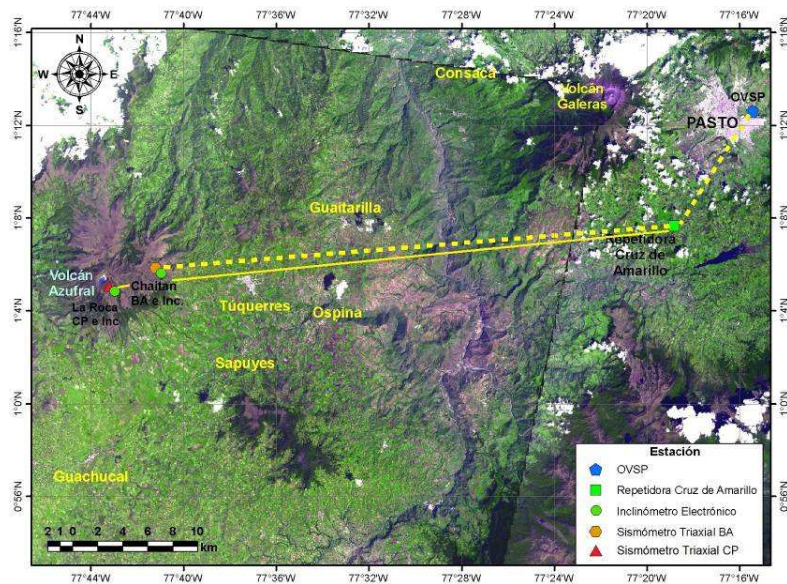


Figura 2.3.3. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufra durante el segundo semestre de 2011. Las líneas amarillas (punteada y continua) muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.

Tabla 2.3.1. Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante el segundo semestre de 2011.

Estación	Tipo de Información	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a la Laguna (Km)	Dirección respecto a los Domos	Altitud (m.s.n.m)
Chaitán	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4.30	ENE	3750
La Roca	Digital	Sismómetro Corot Periodo	Triaxial	0.80	SE	4021
Incl. Chaitán	Digital	Inclinómetro Electrónico	Bidireccional	4.30	ENE	3750
Incl. La Roca	Digital	Inclinómetro Electrónico	Bidireccional	0.80	SE	4021

Durante el segundo semestre de 2011, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Azufral tuvieron un funcionamiento total del 89% (Figura 2.3.4.). No se tuvo un porcentaje de funcionamiento del 100% debido básicamente a problemas de radioenlace que se solucionaron en la repetidora y a inconvenientes de funcionamiento del sismómetro de la estación Chaitán.

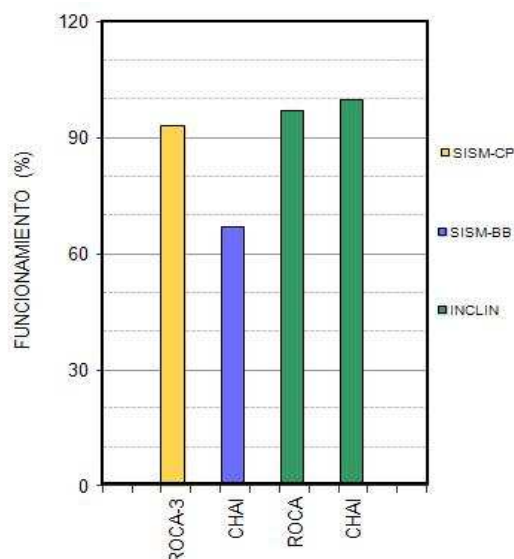


Figura 2.3.4. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el segundo semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral.

En la Tabla 2.3.2. se muestran los cambios de equipos y trabajos de mantenimiento más relevantes realizados en las estaciones instaladas para el monitoreo del volcán Azufral.

Tabla 2.3.2. Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red del volcán Azufral, durante el segundo semestre de 2011.

FECHA	ESTACION	DESCRIPCIÓN
Octubre	Chaitán	Debido a que desde el 12 de Septiembre se deja de tener señal de la estación en sede, el día 20 de Octubre se realiza mantenimiento correctivo en la misma, logrando recuperar su registro después de los trabajos efectuados.

2.3.2 Sismología

En el segundo semestre de 2011, la sismicidad en el volcán Azufraal mostró una notoria disminución en comparación con el primer semestre del mismo año (Figura 2.3.5.). El carácter de la mayoría de los sismos VOL parece estar relacionada con fracturamiento de material sólido y muy raramente se evidencian sismos asociados con movimiento de fluidos exceptuando las vecindades a la laguna Verde.

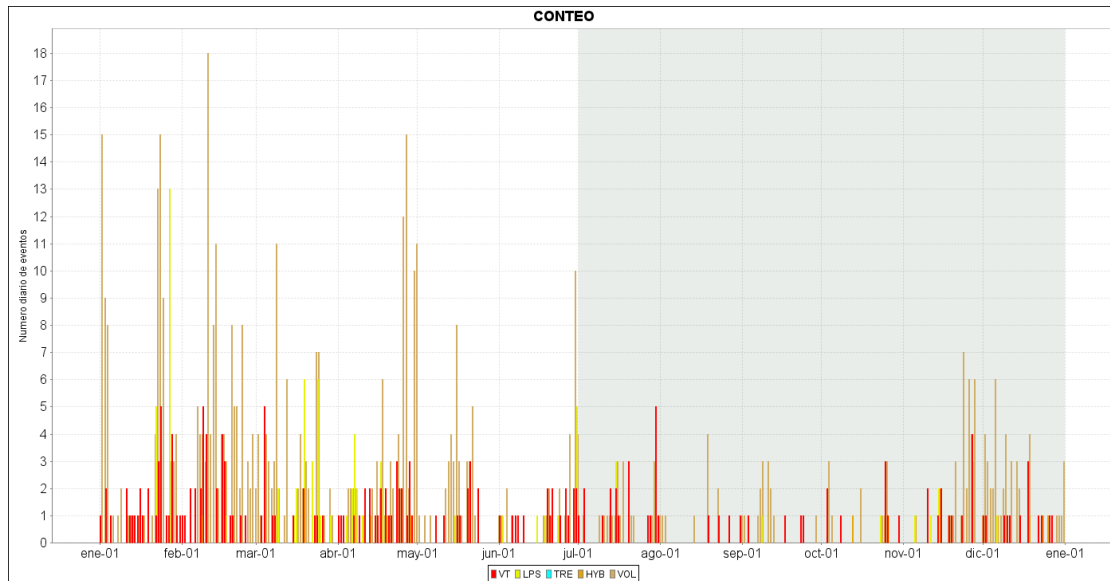


Figura 2.3.5. Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

En las Figuras 2.3.6. y 2.3.7, a manera de ejemplos se presentan algunas señales obtenidas por las estaciones sísmicas de Azufraal junto con su espectro en frecuencia de Fourier.

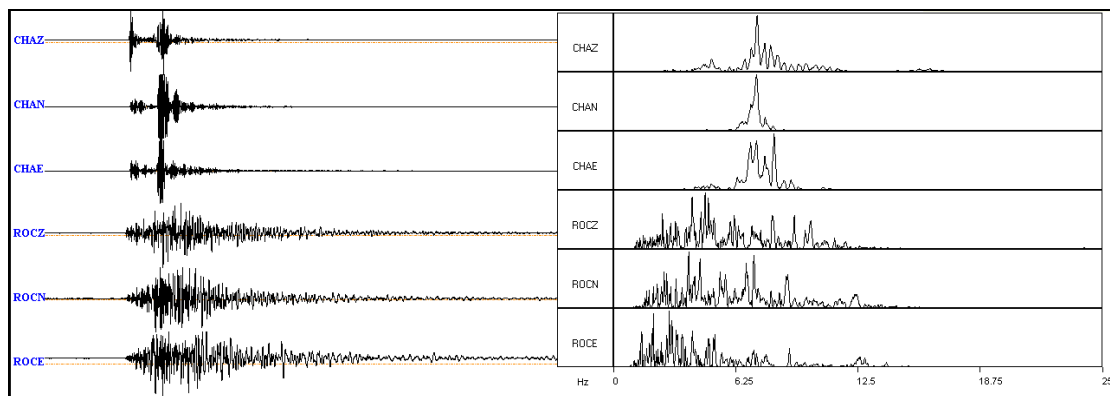


Figura 2.3.6. Sismogramas y espectros en frecuencia de un evento VT ocurrido en Azufraal el 20 de julio de 2011, a las 3:53 a.m., el cual fue reportado como sentido.

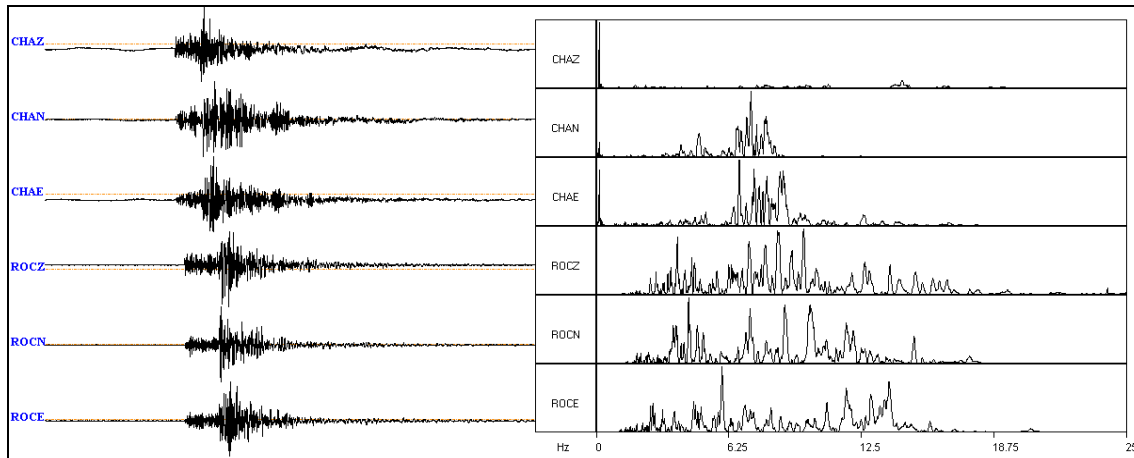


Figura 2.3.7. Sismogramas y espectros en frecuencia de un VT ocurrido en Azufral el 30 de julio de 2011, a las 11:26 a.m.

2.3.3 Deformación

Para el periodo evaluado en relación al monitoreo de los cambios en superficie del volcán Azufral se tiene instalado dos inclinómetros electrónicos y una red EDM, Medición Electrónica de Distancias.

2.3.3.1. Inclinometría Electrónica

En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos instalados en Azufral, sobre los procesos deformativos del edificio volcánico, para el segundo semestre de 2011 se tiene:

En la Figura 2.3.8. se muestra el comportamiento de las componentes del inclinómetro Chaitán (ubicado a 4.3 km., al este-noreste de la laguna cratérica, 3730 msnm), donde se resaltan los siguientes cambios: en la componente Tangencial, entre el 26 de marzo y el 8 de septiembre se observó un comportamiento ascendente cercano a los 100 μ rad, luego entre el 8 de septiembre y el 30 de octubre de 10 μ rad en descenso y finalmente, entre el 30 de octubre y el 21 de noviembre se presentó un ascenso, en cual alcanzó 40 μ rad, en general se observó un ascenso en el registro de esta componente. Mientras que en la componente Radial, debido a las fluctuaciones en su registro, no es posible definir una tendencia clara, sin embargo se observó entre el 2 de junio y el 8 de septiembre un comportamiento descendente registrando 130 μ rad, y entre el 8 de septiembre y el 20 de diciembre se presentó un ascenso cercano a los 100 μ rad.

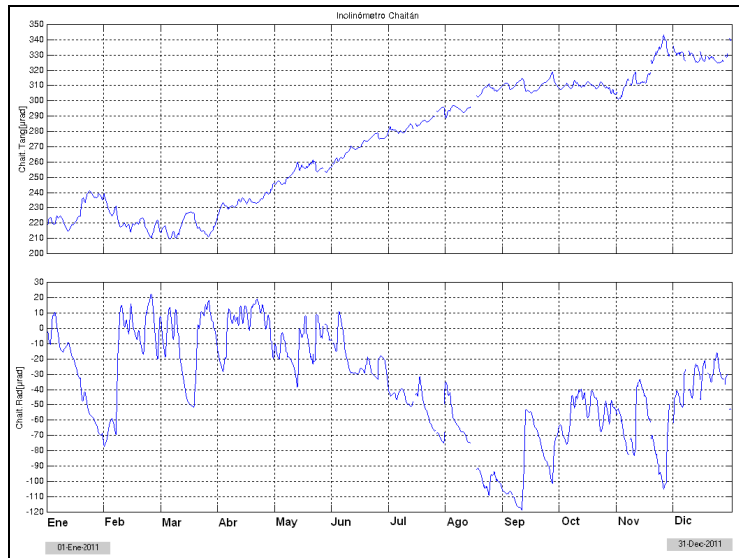


Figura 2.3.8. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.

Por su parte, la componente Radial del inclinómetro La Roca (ubicado a 1.2 km., al este de la laguna cratérica, 4025 msnm) continúa con el comportamiento ascendente, con una variación acumulada entre el 24 de marzo de 2011 hasta el 30 de diciembre de 2011 de 210 μ rad, mientras que la componente Tangencial, continua la tendencia descendente observada desde el 18 de marzo, resaltaremos los periodos en los cuales es más pronunciado el registro de descenso, entre el 18 de marzo y el 20 de agosto, de 260 μ rad, luego entre el 27 de agosto y el 5 de octubre, de 200 μ rad y finalmente, entre el 5 de octubre y el 29 de diciembre, de 20 μ rad (Figura 2.3.9.).

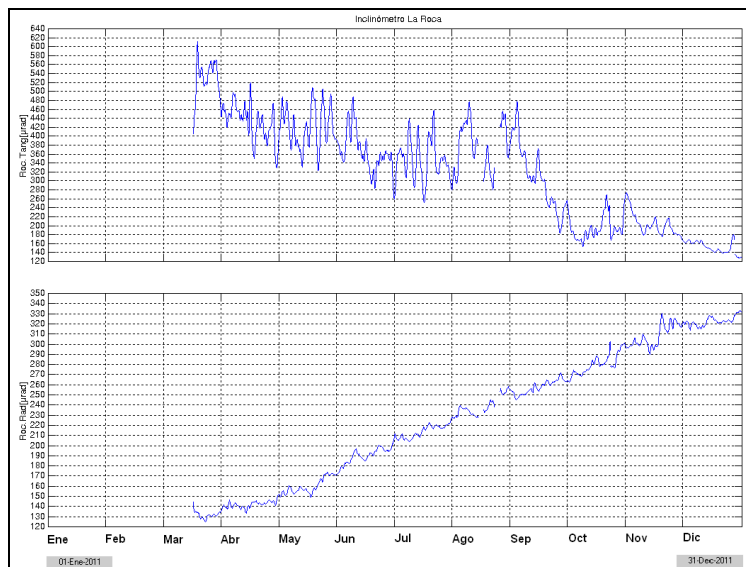


Figura 2.3.9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufra, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.

2.3.3.2 Medición Electrónica de Distancias - EDM

La red EDM instalada en el volcán Azufreal, está compuesta por dos perfiles de medición, uno por el sector norte del edificio volcánico y otro por el sector sur (Tabla 1, Figura 2.3.10).

Tabla 2.3.3. Coordenadas WGS84 de los puntos materializados sobre la superficie del volcán Azufreal, donde se ubican reflectores EDM y las Bases.

No.	Latitud °N	Longitud °W	Altitud [msnm]	Mes
1	1° 5' 14.7"	77° 43' 0.1"	4015	May/2010
2	1° 5' 32.2"	77° 43' 25.1"	3830	May/2010
3	1° 5' 14.9"	77° 43' 38.2"	3813	May/2010
4	1° 5' 55.3"	77° 43' 18.9"	3997	May/2010
6	1° 5' 3.3"	77° 44' 1.1"	3748	May/2010
7	1° 4' 47.4"	77° 44' 21.8"	3488	May/2010
8	1° 5' 8.7"	77° 43' 7.5"	4057	Jul/2010
10	1° 6' 59.0"	77° 41' 53.4"	3713	Sep/2011
11	1° 4' 46.48"	77° 43' 10.12"	3892	Nov/2011
12	1° 4' 37.16"	77° 43' 13.33"	3738	Nov/2011
Base 1	1° 5' 31.4"	77° 42' 56.0"	3968	May/2010
Base 2	1° 3' 54.5"	77° 46' 20.4"	3088	May/2010
Base 3	1° 2' 59.20"	77° 43' 11.96"	3278	Nov/2011

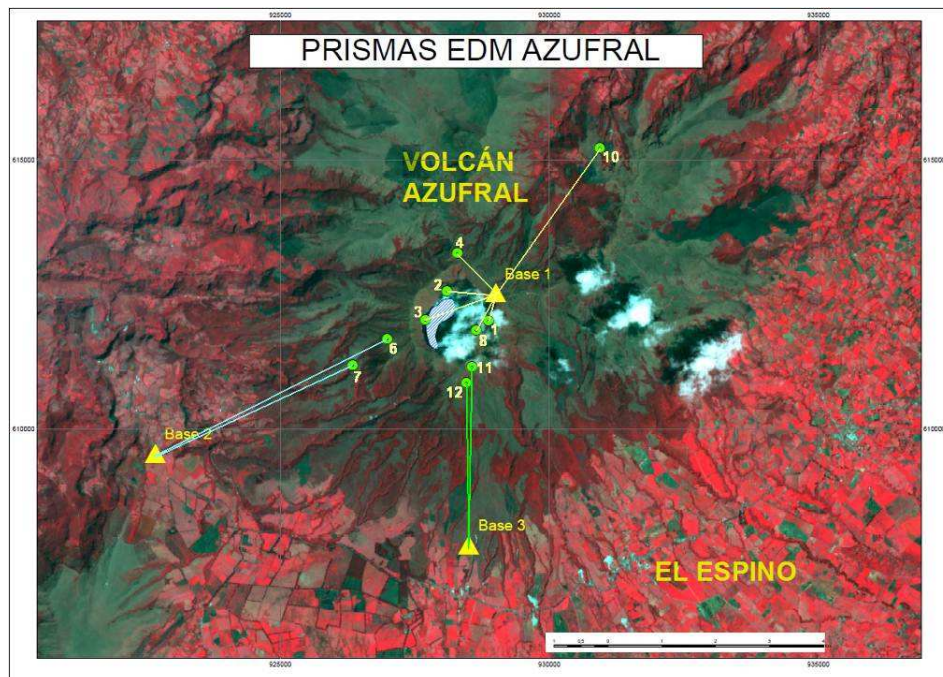


Figura 2.3.10. Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Azufreal. Las figuras de color amarillo indican la ubicación de las Base 1, 2 y 3 los círculos de color verde indican la ubicación de los prismas.

Es importante resaltar la construcción de la Base Panamal (Base3); teniendo en cuenta que la altura instrumental juega un papel muy importante en la toma de los datos, y tratando de mejorar la toma del dato, la Base 3, fue construida sobre una roca, de dimensiones considerables y muy firme, que permite colocar directamente sobre la base pulida el equipo para hacer las mediciones de los puntos 11 y 12 (Figura 2.3.11.). De esta manera la altura instrumental del equipo, siempre será la misma garantizando una mejor calidad del dato recolectado.



Figura 2.3.11. Imágenes de la construcción de la Base EDM Panamal en roca hacia el sector suroriental de Azufra.

Desde la instalación de la red EDM en la superficie del volcán Azufra, se han tomado datos de manera periódica. En las Figuras 2.3.12. y 2.3.13. se muestra la diferencia acumulativa respecto a cada punto de medición medido desde la Base1 y desde la Base2, desde la Base3 aun no se tienen mediciones debido a que esta recién implementada a la red EDM. El punto 5 fue retirado de la red debido a que superaba la distancia límite de confiabilidad del equipo, es decir, la distancia Base2 – prisma reflector era muy grande en comparación con las especificaciones del equipo, lo cual no era un dato muy confiable.

En general, para el segundo semestre el 2011, los puntos observados desde la Base 1, continúan mostrando cambios similares, indicando que los puntos instalados en esta zona se mueven simultáneamente, conservando la misma tendencia. Hasta las medidas realizadas el 3 de octubre de 2011, se observó estabilidad, sin embargo en las últimas medidas se observa un descenso en todos los datos, siendo el máximo de 27 mm para el punto 3, es posible que estas variaciones estén asociadas con los altos niveles de precipitación imperantes en la zona, esto se puede mencionar gracias a las imágenes capturadas en sobrevuelos, donde se observó el importante incremento en el nivel del agua de la Laguna Verde u otra posibilidad es que sea una respuesta del sitio ante agentes externos.

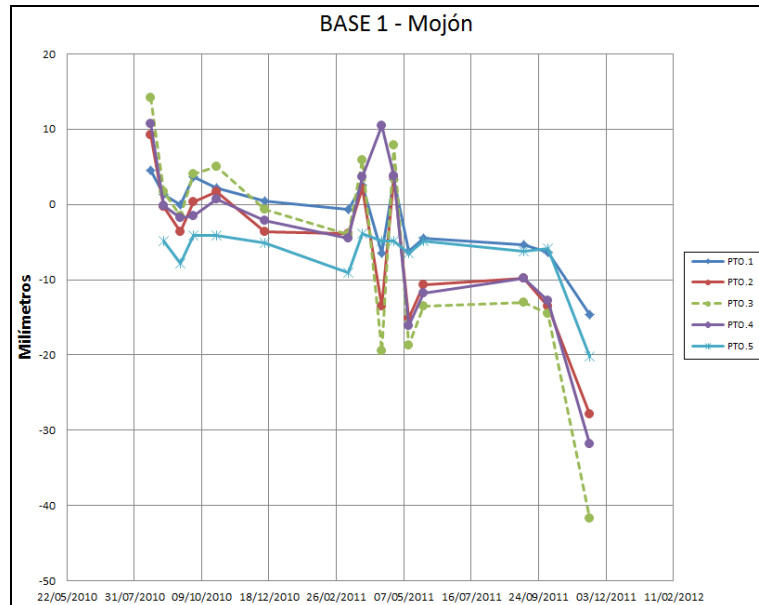


Figura 2.3.12. Comportamiento de los prismas-reflectores EDM, instalados en la superficie del volcán Azufral, medidos desde la Base1. En la gráfica se representa la diferencia acumulativa en milímetros de cada prisma.

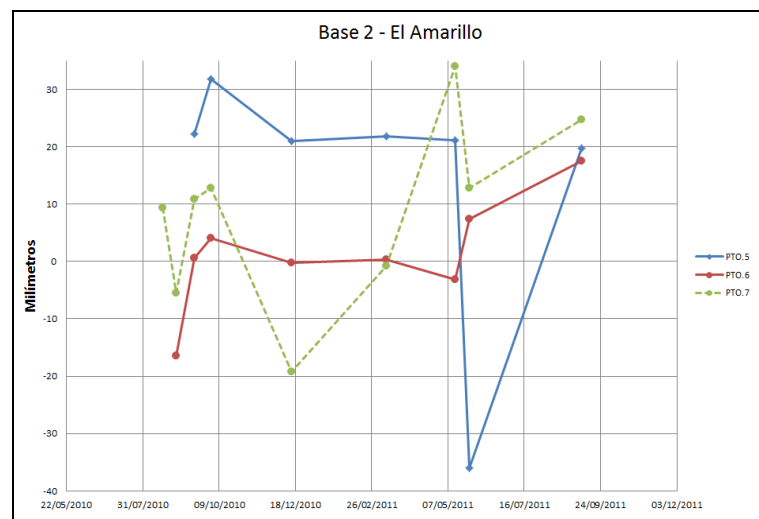


Figura 2.3.13. Comportamiento de los prismas-reflectores EDM, instalados en la superficie del volcán Azufral, medidos desde la Base2. En la gráfica se representa la diferencia acumulativa en milímetros de cada prisma.

2.3.4 Físicoquímica

2.3.4.1. Muestreo de aguas termales

A continuación se destacan los aspectos más relevantes que se desarrollaron en el Segundo Semestre de 2011

Ubicación de las fuentes termales

Durante el periodo evaluado se realizó el muestreo de las fuentes termales del volcán Azufral: El Salado de Malaver, La Cabaña, San Ramón y Laguna Verde. En la Figura 2.3.14, se presenta la ubicación de estas fuentes termales.

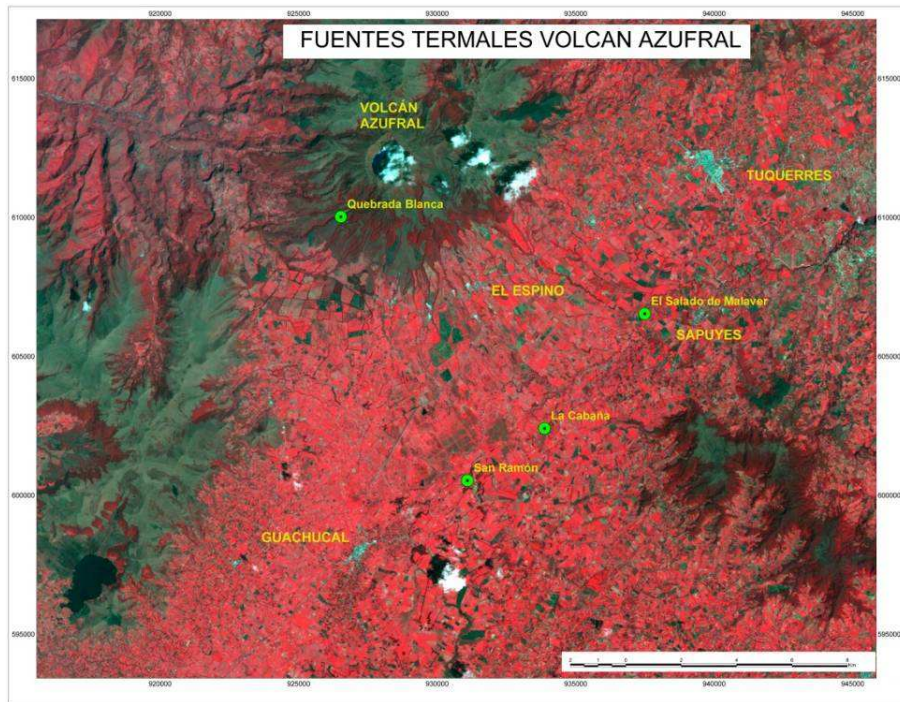


Figura 2.3.14. Mapa de localización de las fuentes termales del volcán Azufral.

En la Tabla 2.3.4. se consignan las características de ubicación de las fuentes termales y en la Figura 2.3.15. se presenta una serie de imágenes del sitio de registro en aguas termales.

Tabla 2.3.4. Características de las fuentes termales de Volcán Azufral.

FUENTE TERMAL	COORDENADAS		ALTURA msnm
	Latitud	Longitud	
El Salado de Malaver	01° 2' 16"	77° 38' 21,1"	2908
La Cabaña	01° 00' 1,7"	77° 40' 18"	3052
San Ramón	0° 59' 0,6"	77° 41' 48"	3037
Laguna Verde	01° 05' 48"	77° 43' 64"	3820



Figura 2.3.15. Imágenes de las fuentes termales de Volcán Doña Juana.

Toma de la muestra

Haciendo uso de los vasos de precipitado plásticos de 200 ml y teniendo en cuenta las precauciones de seguridad se realizó la toma de 4 muestras de cada una de las fuentes termales del Volcán Azufral, una para aniones, cationes, Redox y CO₂.

Utilizando el equipo de filtración, se filtró el agua para llenar el recipiente de aniones, cationes y CO₂ respectivamente.

Para la toma de la muestra para cationes, si el pH de la fuente es mayor a 3 se debe acidular con HNO₃ (ácido Nítrico) 1:1, hasta alcanzar un pH de 2, esto se realiza con el fin de mantener los iones estables, hasta la realización de sus respectivos análisis en el laboratorio de la ciudad de Bogotá

Mediciones de Parámetros Físicoquímicos

Por otra parte, se realizaron medidas de parámetros físicoquímicos tales como temperatura y pH. Si la temperatura es menor a 30°C se hace la medición de conductividad. En la Tabla 2.3.5. se indican los parámetros medidos in situ, para el II semestre de 2011, parámetros físicoquímicos como temperatura y pH, si la temperatura es menor a 30°C, se efectúa la medición de conductividad.

Tabla 2.3.5. Parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del volcán Azufral.

FUENTE TERMAL	MES	pH	Tem °C	Cond (mS/cm)	CO ₃ ⁼ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L
MALAVER	Junio	5.9	30.7	-	0	2249
	Septiembre	6.6	29.7	7.57	0	2362
	Noviembre	6.6	38.0	6.30	0	2482
	Octubre	6.7	30.1	7.70	0	2462
SAN RAMON	Junio	6.4	30.6	-	0	882
	Septiembre	6.7	30.1	-	0	1146
	Noviembre	6.5	30.2	3.14	0	1159
	Octubre	7.0	30.7	2.68	0	1203
LA CABAÑA	Junio	6.5	23.6	-	0	875
	Septiembre	6.7	30.1	-	0	1146
	Noviembre	6.2	22.8	0.25	0	125
	Octubre	8.8	23.7	0.20	0	157
LAGUNA VERDE PUNTO 1	Junio	3.0	57.4	-	0	0
	Septiembre	7.2	19.7	0.23	0	132
	Noviembre	3.1	27.9	1.26	0	0
	Octubre	2.9	26.6	2.23	0	0
LAGUNA VERDE PUNTO 2	Junio	2.2	38.1	-	0	0
	Septiembre	2.7	39.7	-	0	0
	Noviembre	2.8	35.1	1.86	0	0
	Octubre	2.8	34.9	1.56	0	0
LAGUNA VERDE PUNTO 4	Junio	2.2	56.4	-	0	0
	Septiembre	2.5	61.3	-	0	0
	Noviembre	2.8	46.3	2.41	0	0
	Octubre	2.9	43.1	2.77	0	0

De acuerdo a la Tabla 2.3.5, para los registros medidos en el mes de septiembre, en las fuentes termales Malaver y San Ramón, el pH aumentó con respecto al mes de junio, lo que corresponde al aumento en la concentración de bicarbonatos, esto es, un aumento en la alcalinidad de las dos fuentes. En los puntos medidos en la Laguna Verde se observan pequeños cambios en cuanto a los valores de pH y temperatura, los cuales no necesariamente correspondan a cambios dentro del sistema volcánico, sino, a cambios meteóricos, ya que los niveles del agua en la laguna fluctúan, haciendo que las temperaturas y los potenciales de hidrogeno cambien.

Para el mes de Octubre, en la fuente termal La Cabaña el pH y la temperatura aumentaron con respecto al mes de septiembre; el pH lo hizo en 1,6 unidades, haciendo el medio más básico, y la temperatura tuvo un aumento en 4 grados. En las demás fuentes, el pH y la temperatura no mostraron cambios significativos. En los puntos medidos en la Laguna Verde se observan cambios en cuanto a los valores de pH y temperatura, los cuales no necesariamente correspondan a cambios dentro del sistema volcánico, sino mas bien, a cambios meteóricos, ya que los niveles del agua en la laguna fluctúan, haciendo que las temperaturas y los potenciales de hidrogeno también cambien.

En los muestreos realizados en el mes de noviembre de 2011 se tuvo inconvenientes debido a las fuertes lluvias en la zona, debido a esto los niveles en las fuentes termales y en la Laguna Verde aumentaron considerablemente.

Respecto a la Tabla 2.3.5, es de resaltar el cambio de pH en la fuente termal La Cabaña, el cual bajo en 2.6 unidades, considerado como un cambio brusco. Los bicarbonatos tuvieron un leve descenso, los cuales son causantes de la alcalinidad de las aguas, pero no suficientes para justificar el cambio de pH. Este cambio posiblemente se deba a un alto contenido de gases ácidos disueltos como el H₂S, el HF o el SO₂.

Otro cambio importante de resaltar es el aumento de temperatura en la fuente termal Malaver, la cual tuvo un incremento de 7.9 grados centígrados.

2.3.4.2. Toma de muestras de gases en fumarola – domo activo Laguna Verde

Durante el semestre evaluado se tomaron muestras de gases directamente en fumarola con botellas de Giggenbach. Para ello, se instaló un tubo de titanio con acople en un extremo hacia la botella y el otro, se introdujo en el interior de la fumarola, sellado con arcilla para tener mayor presión de los gases. El tiempo de muestreo fue de 45 minutos aproximadamente. En la Figura 2.3.16. se ilustra el procedimiento.



Figura 2.3.16. Toma de muestras de gases en el domo activo de la Laguna Verde del volcán Azufral, utilizando botellas de Giggenbach.

El muestreo de gases se complicó debido a que en los puntos de muestreo los gases no tenían la suficiente presión para ser recogidos en las botellas. Una vez terminado el muestreo se prepararon las botellas para ser enviadas al laboratorio del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales para su respectivo análisis.

2.3.5. Actividad superficial

La actividad superficial de Azufral se documentó a partir de reportes de visitas al lugar por parte de personal del Servicio Geológico Colombiano y sobrevuelo apoyados por la Fuerza Aérea Colombiana. En visitas realizadas el 7 y el 8 de septiembre y el 15 de noviembre, se resalta que aún es presente el burbujeo e intensidad del mismo en la Laguna Verde del volcán Azufral, el burbujeo viene de orificios en suelo y las burbujas suben hasta la superficie de la Laguna, principalmente por el sector norte de la misma (Figura 2.3.17. y 2.3.18.). En sobrevuelo efectuado el día 6 de diciembre se tomaron fotografías e imágenes térmicas del sector nor occidental de la laguna (Figura 2.3.20.)

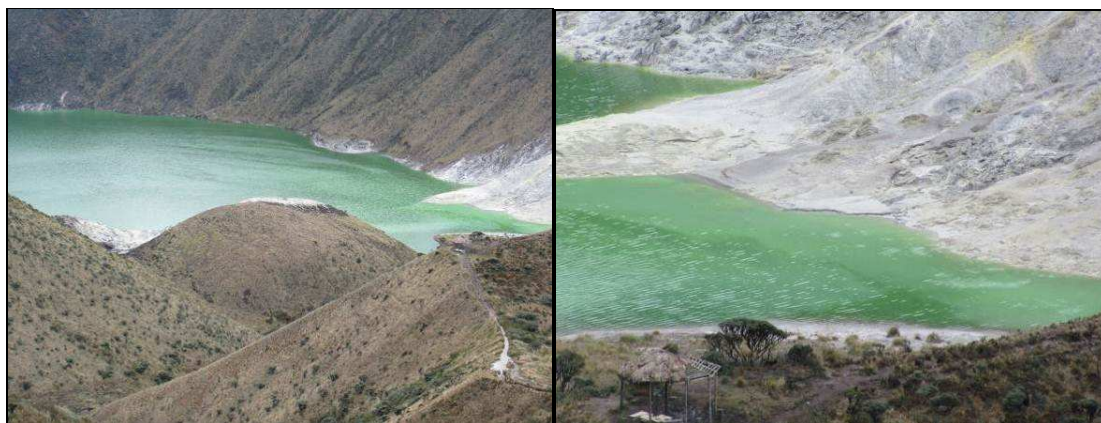


Figura 2.3.17. Imágenes de la Laguna Verde del volcán Azufral, en las cuales se observa la zona de mayor burbujeo sobre la superficie de la Laguna, ubicada hacia el noroccidente de la misma. Fotografías capturadas el 8 de septiembre de 2011.



Figura 2.3.18. Imágenes de la Laguna Verde del volcán Azufral. Fotografías capturadas en comisión el 15 de noviembre de 2011.

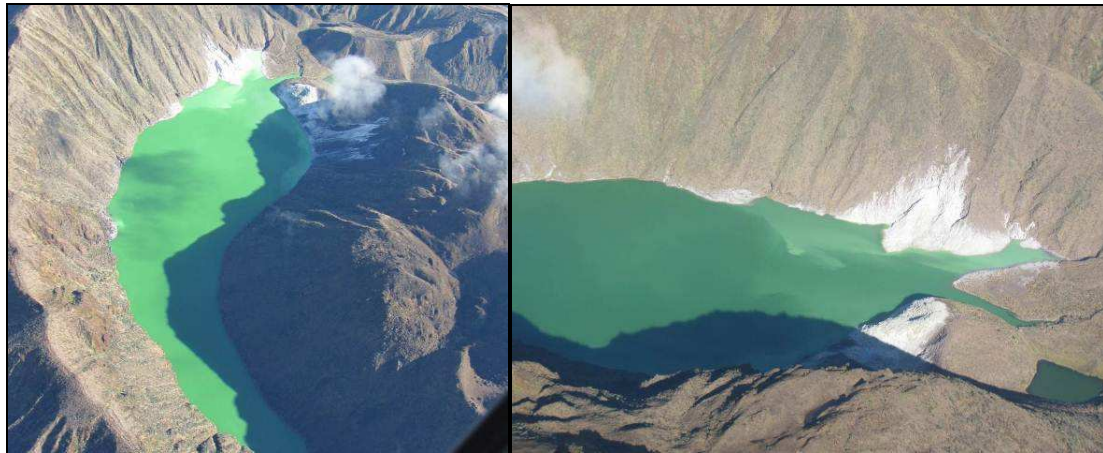


Figura 2.3.19. Imágenes de la Laguna Verde del volcán Azufra. Fotografías capturadas en sobrevuelo el 2 de noviembre de 2011.

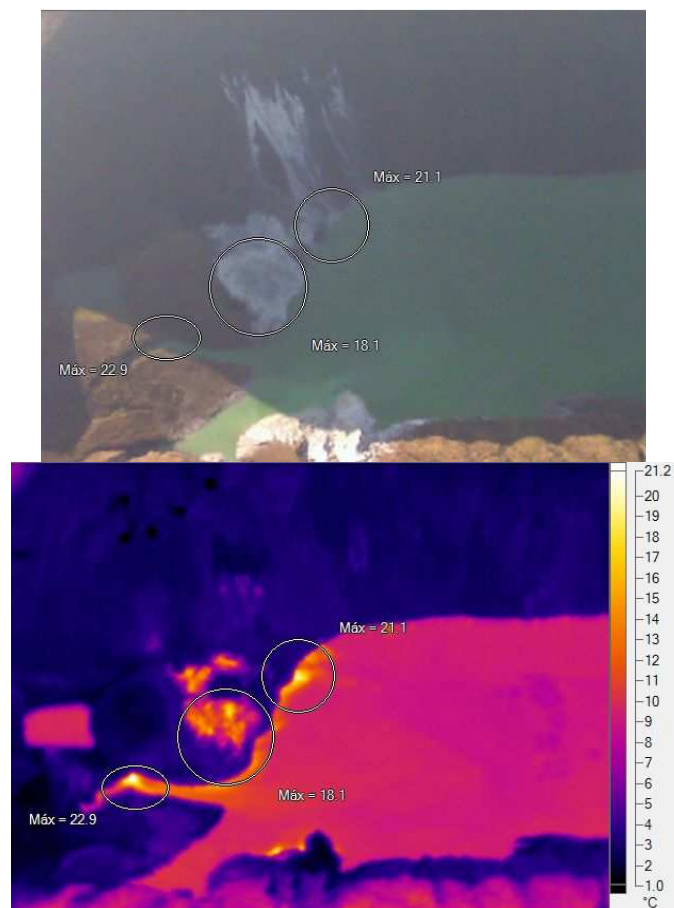


Figura 2.3.20. Imagen térmica del volcán Azufra, capturada en sobrevuelo del 6 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observan anomalías térmicas por varios sectores al nor occidente de la laguna.



2.3.6. Conclusiones

La evaluación de los parámetros monitoreados durante el segundo semestre de 2011, han mostrado que existe actividad volcánica con un comportamiento relativamente estable en el Azufral, lo que permite establecer el **NIVEL (IV) VERDE ●**: “**Volcán activo y comportamiento estable**”.

2.4 VOLCÁN CUMBAL

El Complejo volcánico de Cumbal está conformado por dos estrato-volcanes andesíticos activos, conocidos como Mundo Nuevo y Plazuelas, y al menos tres pequeños cráteres adventicios. El complejo volcánico es activo, se localiza en la Cordillera Occidental, al suroriente del Departamento de Nariño (Figura 2.4.1), Plazuelas en las coordenadas de latitud norte: $0^{\circ}57'21,31''$, longitud occidente: $77^{\circ}53'13,49''$ y altura máxima de 4764 m sobre el nivel del mar y, Mundo Nuevo en las coordenadas de latitud norte: $0^{\circ}57'3,52''$, longitud occidente: $77^{\circ}53'50,12''$ y altura de 4700 m sobre el nivel del mar.

El Cumbal se ubica en los dominios del municipio del mismo nombre a 12 km., al NW de la cabecera municipal de Cumbal. Sus depósitos son flujos de lava superpuestos, escóreas en bloques y masivos, flujos piroclásticos (de ceniza y escoria, de ceniza y pómez, de ceniza) y flujos de escombros y piroclastos de caída que recubren toda el área.



Figura 2.4.1. Imagen del complejo volcánico Cumbal.

2.4.1 Red de vigilancia

Durante el Segundo semestre de 2011, la red de vigilancia del volcán Cumbal estuvo conformada por:

- Una estación sísmica telemétrica: de corto período triaxial, llamada La Mesa (Figura 9, Tabla 8). La recepción de la información que captura esta estación en la sede del OVP, se realiza a través de una red telemétrica punto a punto con una estación repetidora llamada Cruz de Amarillo (Figura 10).
- Un inclinómetro electrónico telemétrico, instalado en el mismo sitio de la estación sísmológica, llamado inclinómetro La Mesa (Figura 2.4.2, Tabla 2.4.1.). La transmisión de los datos se realiza

usando una red telemétrica punto-multipunto configurada para los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño.

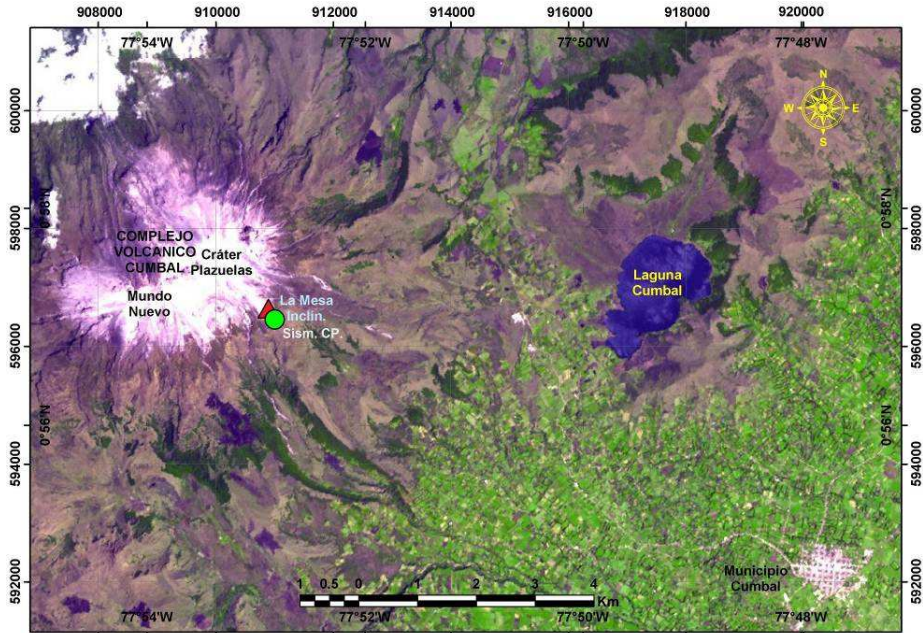


Figura 2.4.2. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el segundo semestre de 2011.

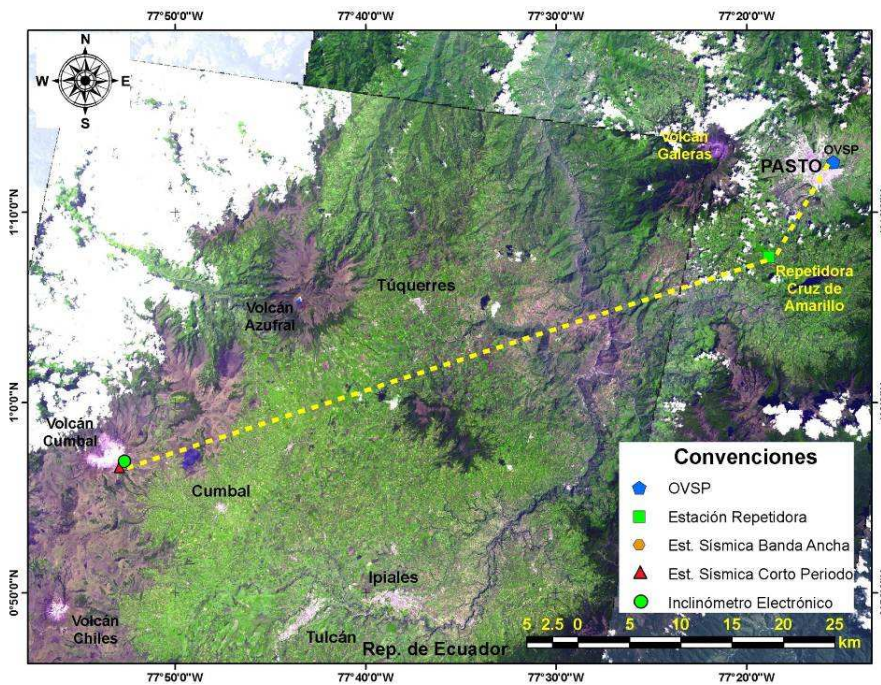


Figura 2.4.3. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el segundo semestre de 2011.

el segundo semestre de 2011. Las líneas punteadas muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.

Tabla 2.4.1. Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Cumbal durante el segundo semestre de 2011.

Estación	Tipo de Información	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a los Domos (Km)	Dirección respecto a los Domos	Altitud (m.s.n.m)
La Mesa	Digital	Sismómetro Corto Periodo	Triaxial	2.00	ESE	4270
Incl. La Mesa	Digital	Inclinómetro Electrónico	Bidireccional	2.00	ESE	4270

Durante este semestre, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Cumbal tuvieron un funcionamiento total del 95% (Figura 2.4.4.), y durante el período del presente informe solamente fue necesario realizar un mantenimiento preventivo el día 14 de julio. No se tuvo un 100% de funcionamiento debido a problemas de radio-enlace que fueron solucionados en la repetidora.

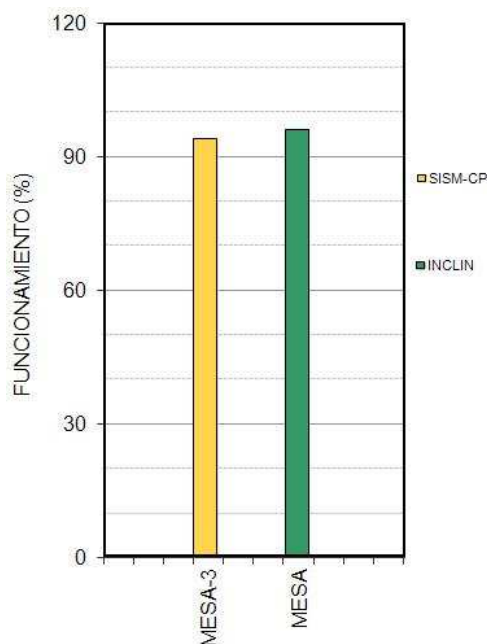


Figura 2.4.4. Histograma del porcentaje de funcionamiento, durante el segundo semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal.

2.4.2 Sismología

En el transcurso del segundo semestre se resalta el incremento en la ocurrencia de sismos a partir de la segunda mitad de octubre de 2011, especialmente en la sismicidad asociada con movimiento de fluidos: LPS y TRE (Figuras 2.4.5. y 2.4.6.).

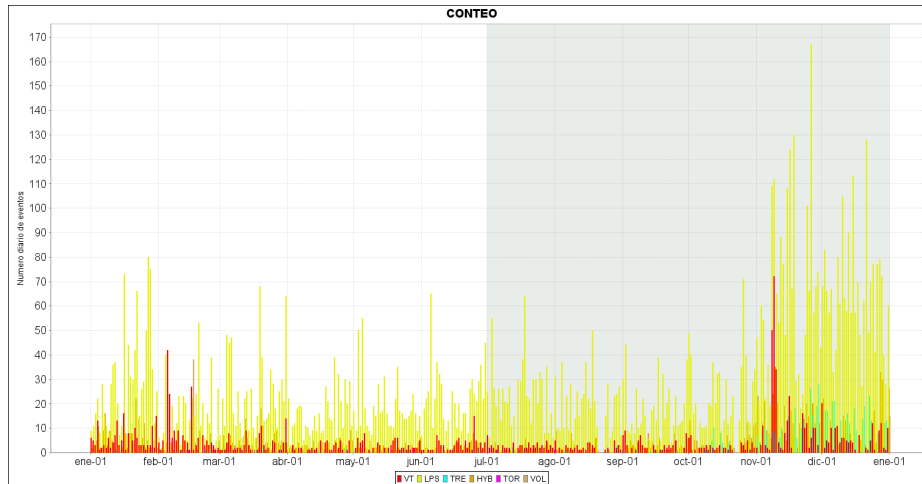


Figura 2.4.5. Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde enero de 2011 a diciembre de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

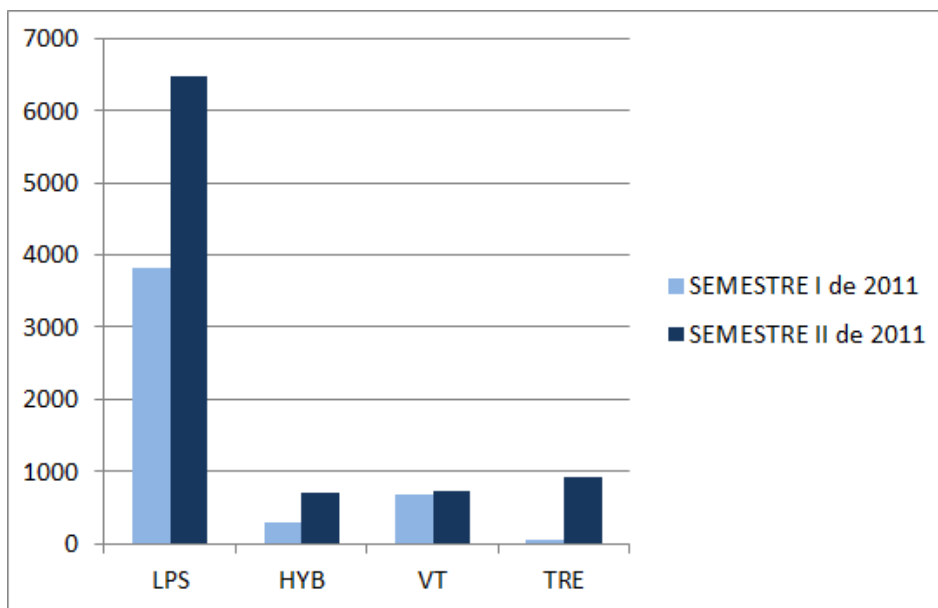


Figura 2.4.6. Relaciones comparativas de la variación de la sismicidad del segundo semestre del 2011 en comparación con el primer semestre de 2011, en cuanto a número de sismos.

Conforme se aprecia en la Figura 2.4.7, se nota una relación porcentual similar en LPS e HYB en ambos semestres tanto que el TRE aumenta notoriamente en el segundo semestre comparativamente con el primer semestre de 2011, reduciéndose el aporte en ocurrencia de los eventos VT en el segundo semestre.

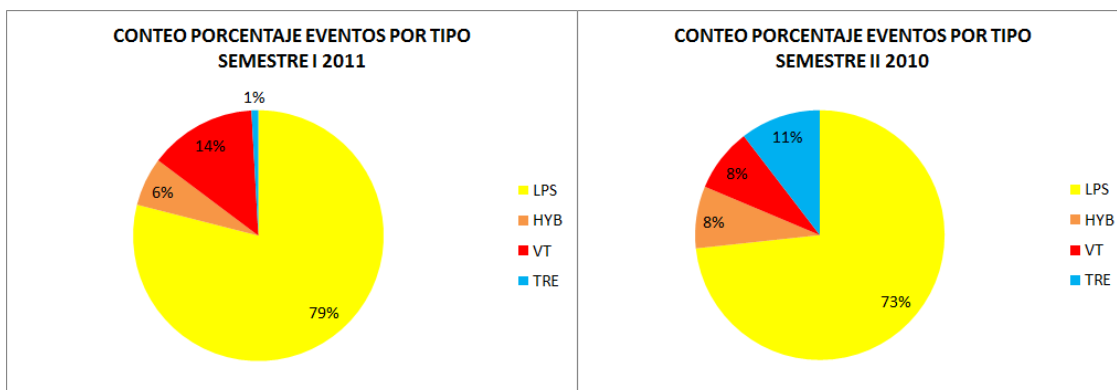


Figura 2.4.7. Relaciones porcentuales de conteo por tipo de sismos para el primer semestre de 2011 (izquierda) y el segundo semestre de 2011 (derecha).

En el complejo volcánico de Cumbal, se destaca la ocurrencia de sismos TOR registrados por la estación sísmica La Mesa. Estos sismos mostraron frecuencias dominantes con valores entre 1.5 y 5.3 Hz y duraciones entre los 47 y 81 segundos. Estos eventos se registraron el 5, 17, 29 y 31 de julio de 2011. A manera de ejemplo de estos eventos se presentan las Figuras 2.4.8. y 2.4.9.

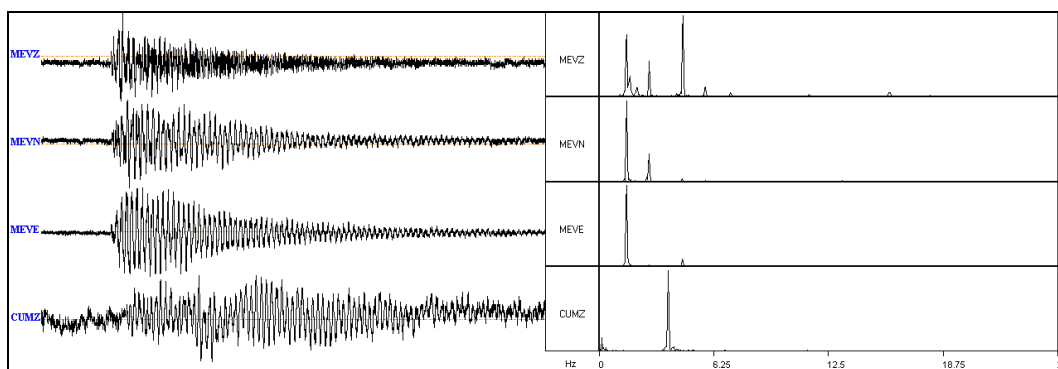


Figura 2.4.8. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 5 de julio de 2011 a las 2:49 a.m.

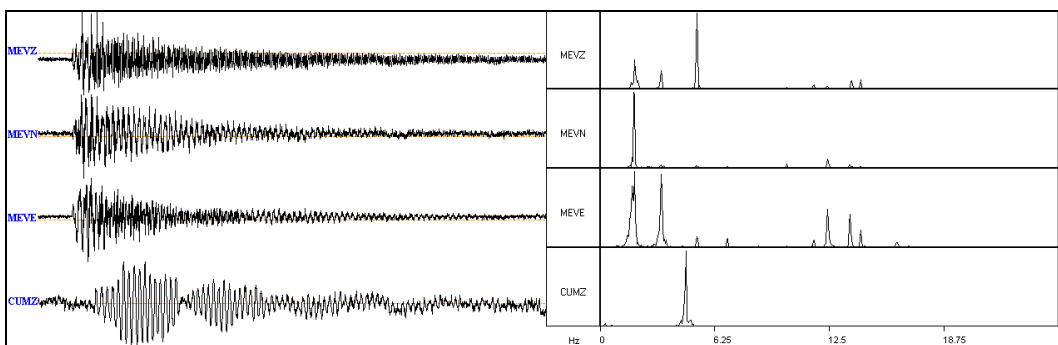


Figura 2.4.9. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 31 de julio de 2011 a las 6:36 a.m.

En las Figuras 2.4.10. y 2.4.11, se muestran ejemplos de sismos LPS en el complejo volcánico de Cumbal, registrados por la estación La Mesa.

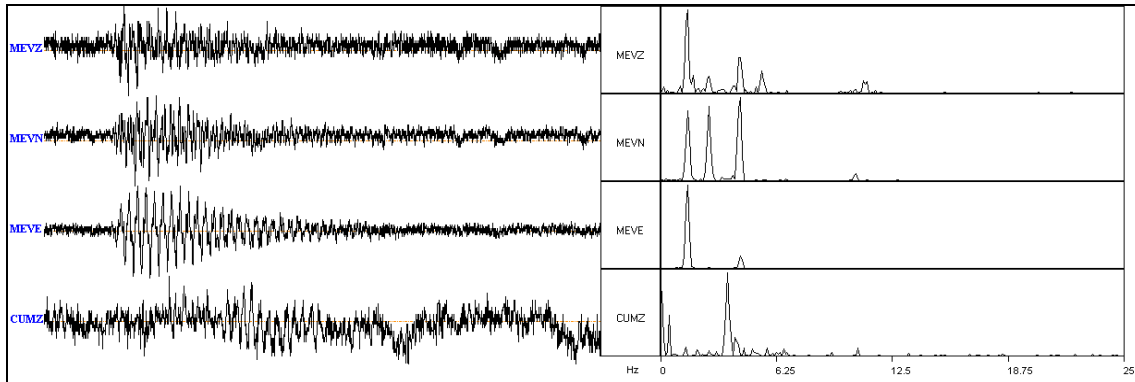


Figura 2.4.10. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LPS, ocurrido en Cumbal, registrado el 8 de julio de 2011 a la 2:20 a.m.

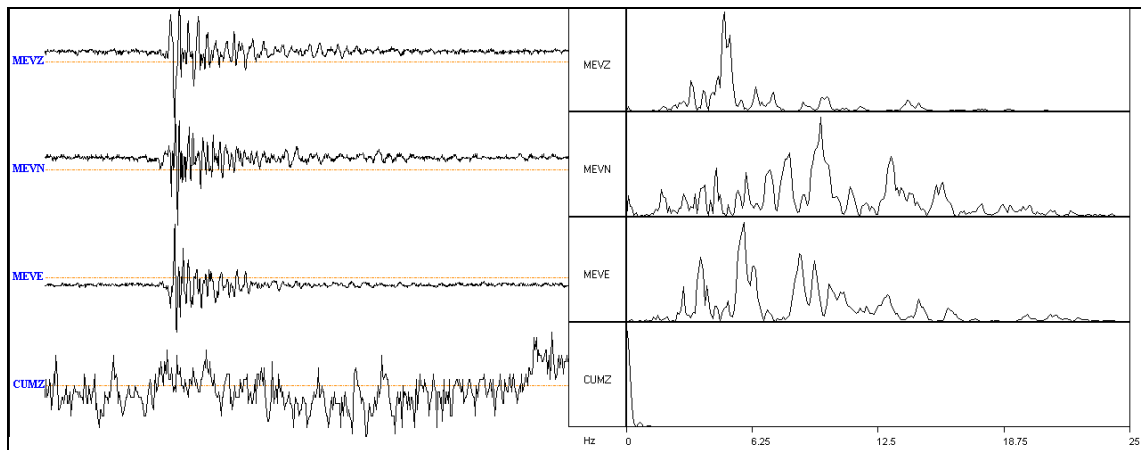


Figura 2.4.11. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LPS, ocurrido en Cumbal, registrado el 30 de julio de 2011 a la 9:31 p.m.

Las Figuras 2.4.12, 2.4.13. y 2.4.14. muestran el registro de LPS, los cuales fueron detectados en las estaciones sísmicas del volcán Cumbal, el 1, 16 y 17 de agosto de 2011 a las 4:49 a.m., 11:18 a.m. y las 10:37 a.m. El primer evento tuvo una duración aproximada de 30 segundos y una frecuencia dominante de 5,6 Hz, el segundo tuvo una duración de 40 segundos con una frecuencia de 1,71 Hz y el tercer LP presentó una duración de 40 segundos con una frecuencia dominante mucho más baja de 1,76 Hz.

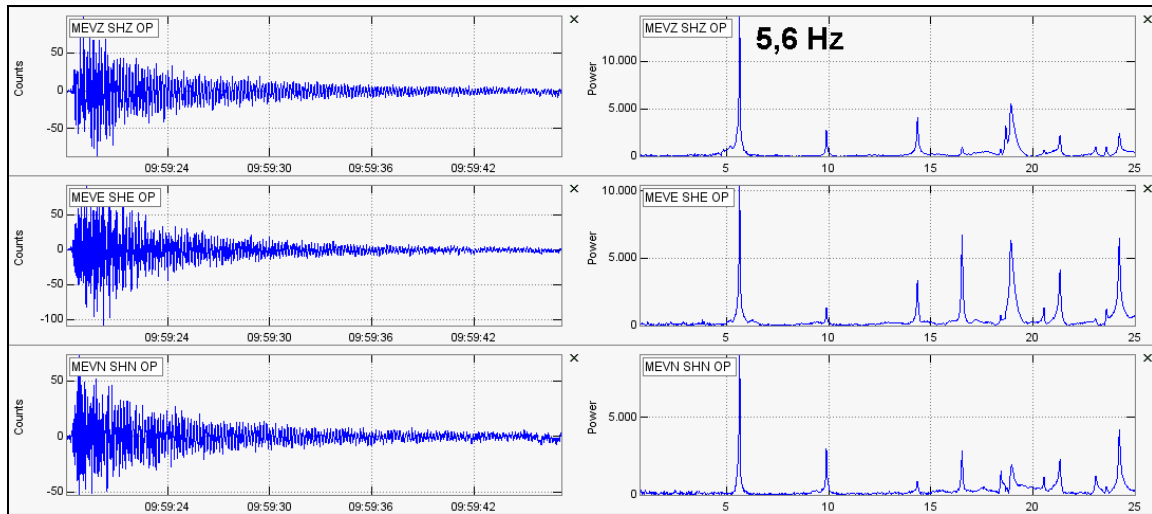


Figura 2.4.12. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, registrado el 1 de agosto de 2011 a las 4:49 a.m. por la estación La Mesa.

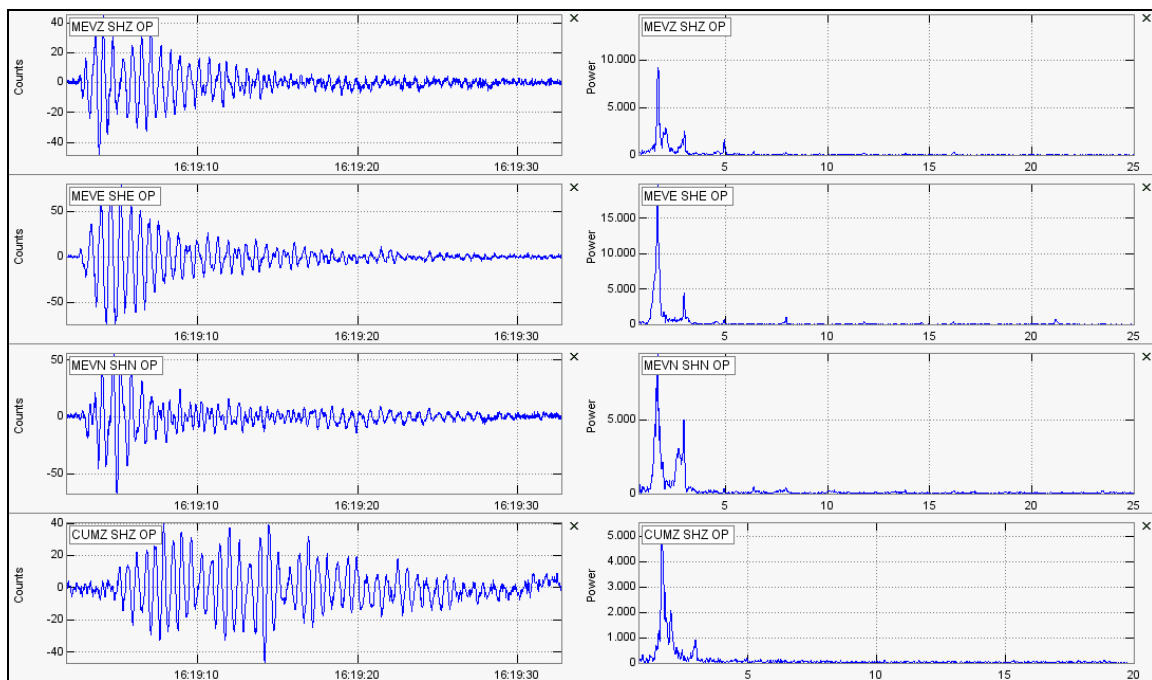


Figura 2.4.13. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LP, registrado el 16 de agosto de 2011 a las 11:18 a.m. por la estación La Mesa.

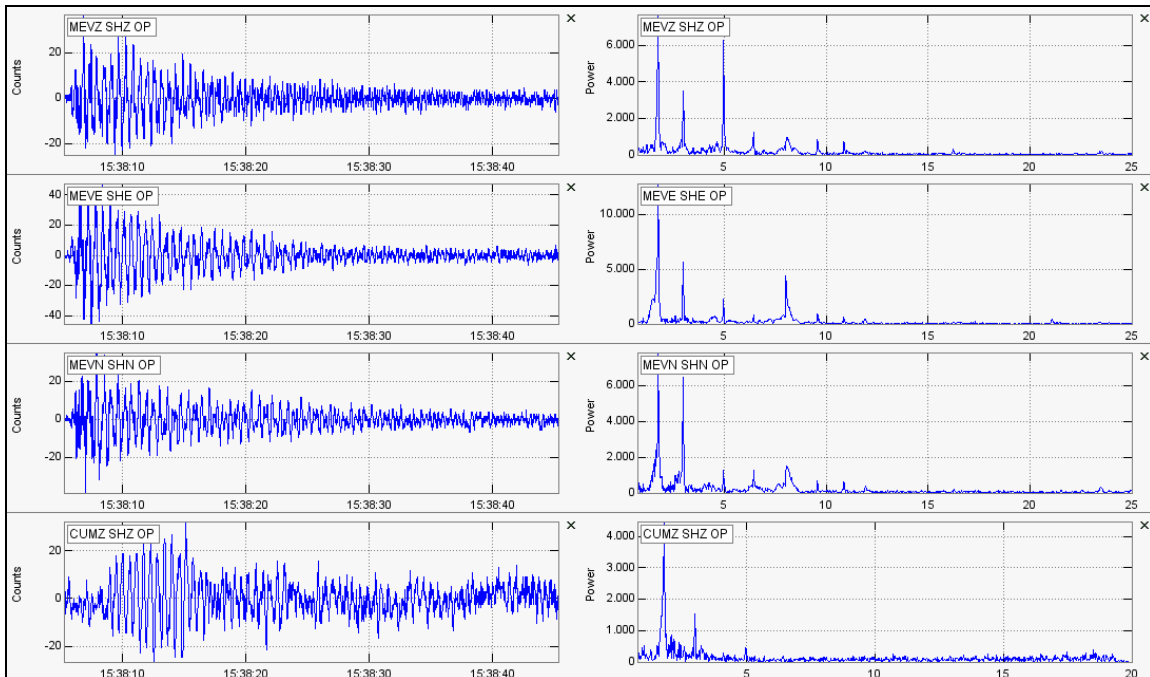


Figura 2.4.14. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LP, registrado el 17 de agosto de 2011 a las 10:37 a.m. por la estación La Mesa.

Las Figuras 2.4.15. y 2.4.16. muestran, a manera de ejemplo, los registros de dos eventos LPS ocurridos el 25 y 30 de octubre de 2011 a las 8:36 a.m. y a las 4:02 a.m., respectivamente. El primer evento presentó una frecuencia dominante de 3,07 Hz con un pico subdominante en 9,1 Hz, mientras que el segundo mostró una banda espectral más amplia, con frecuencias dominantes entre 0 y 5 Hz.

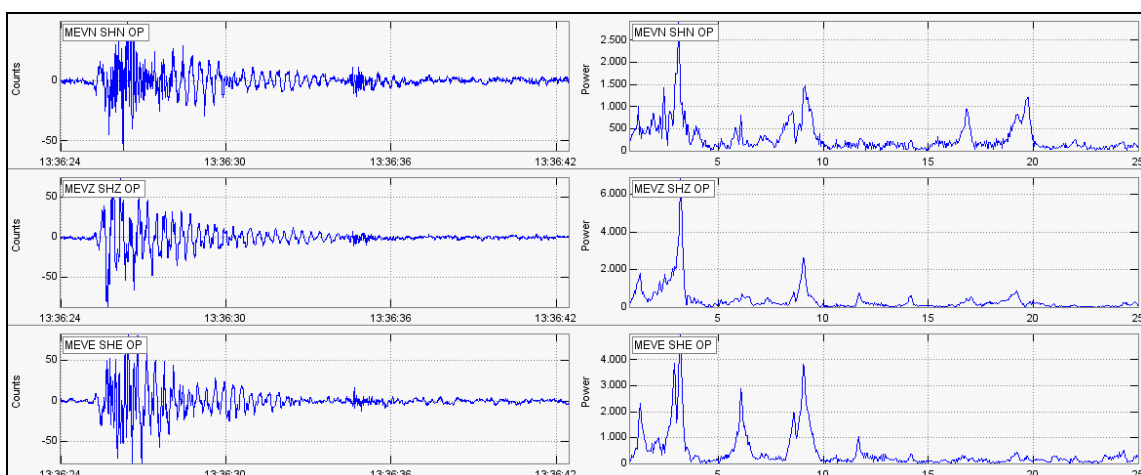


Figura 2.4.15. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento LP, registrado el 25 de octubre de 2011 a las 8:36 a.m. por la estación La Mesa.

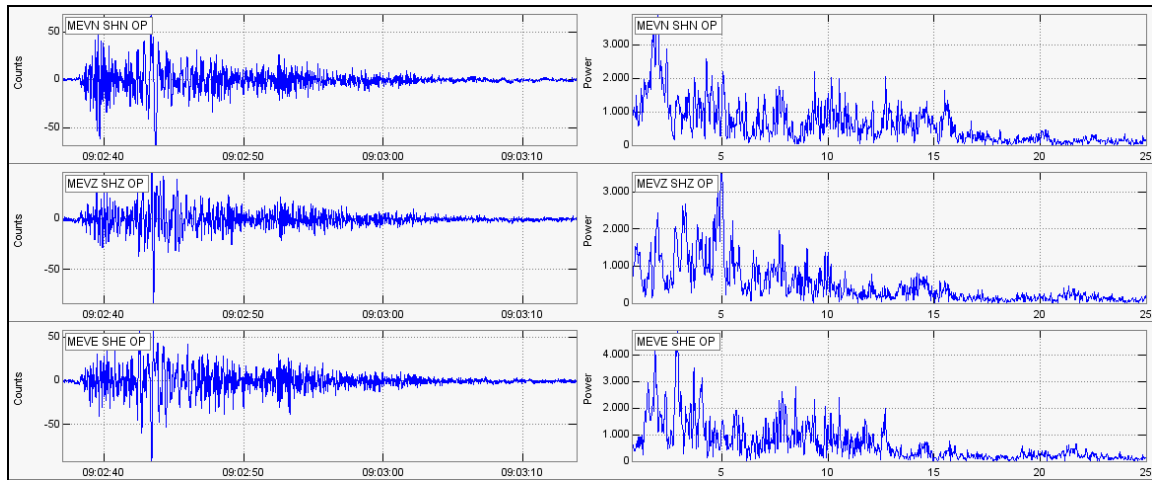


Figura 2.4.16. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento LP, registrado el 30 de octubre de 2011 a las 4:02 a.m. por la estación La Mesa.

De igual manera, se resalta la ocurrencia de varios enjambres sísmicos, eventos en su mayoría de tipo LP de bajo nivel energético. En la Figura 2.4.17. se muestra a manera de ejemplo el enjambre registrado el 18 de noviembre de 2011 en horas de la tarde.

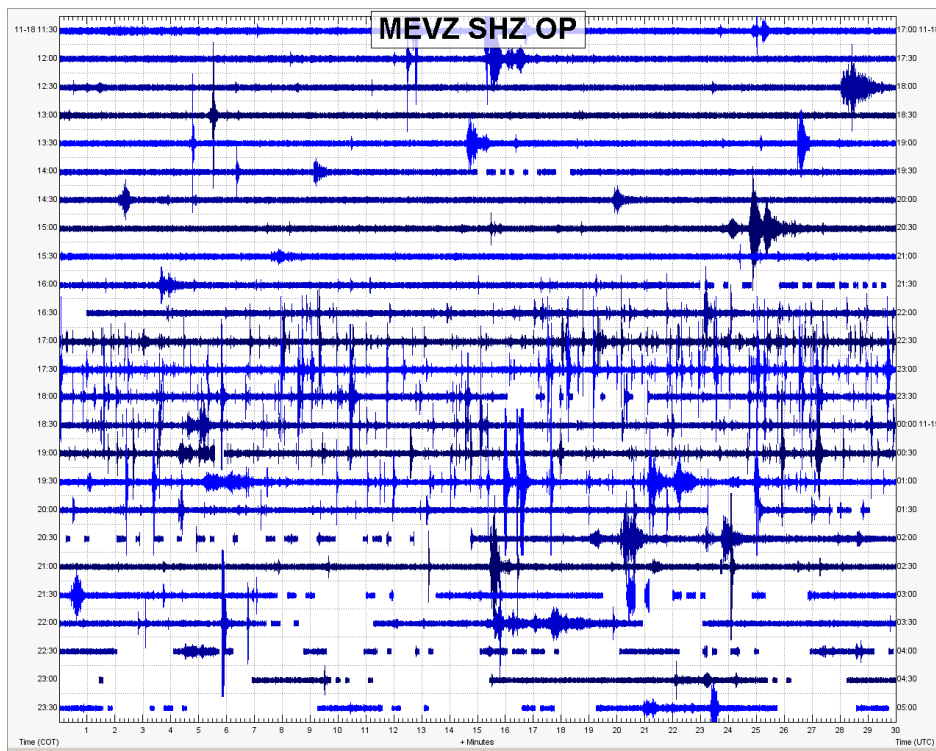


Figura 2.4.17. Sismograma de la estación La Mesa, ubicada a 2 km del cráter de Mundo Nuevo en el edificio volcánico de Cumbal. En la imagen se destaca el enjambre sísmico registrado el 18 de noviembre de 2011.

En las Figuras 2.4.18. y 2.4.19. se aprecia la evolución temporal de las frecuencias dominantes y de la duración de los eventos TOR registrados por la red de monitoreo del volcán Cumbal entre julio de 2010 y agosto de 2011. En general la mayoría de los eventos TOR muestran 1.2 y 2.5 Hz, en tanto que algunos pocos eventos exhiben frecuencias entre 4.5 y 5.7 Hz. Las duraciones de estos sismos se enmarcan principalmente entre 20 y 130 segundos.

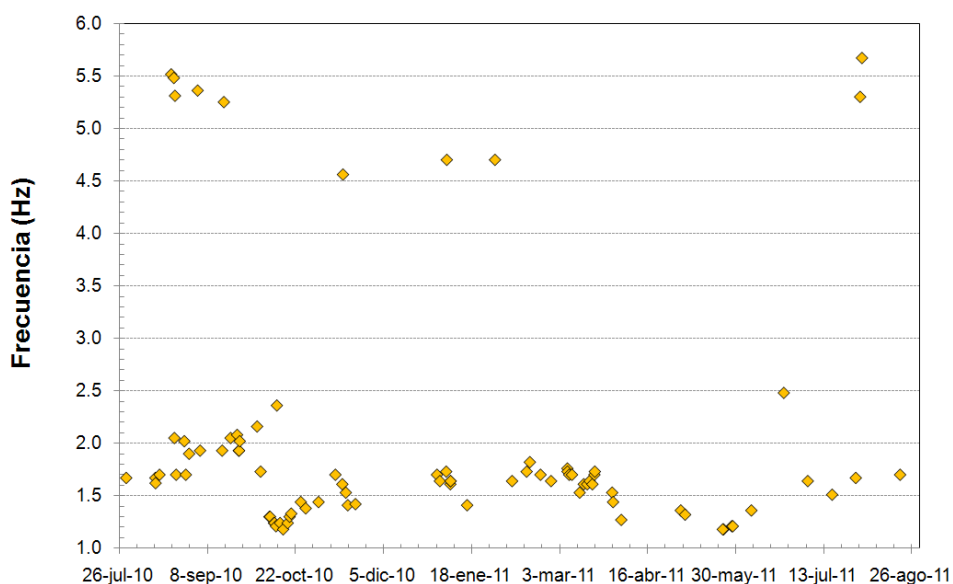


Figura 2.4.18. Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de agosto de 2011.

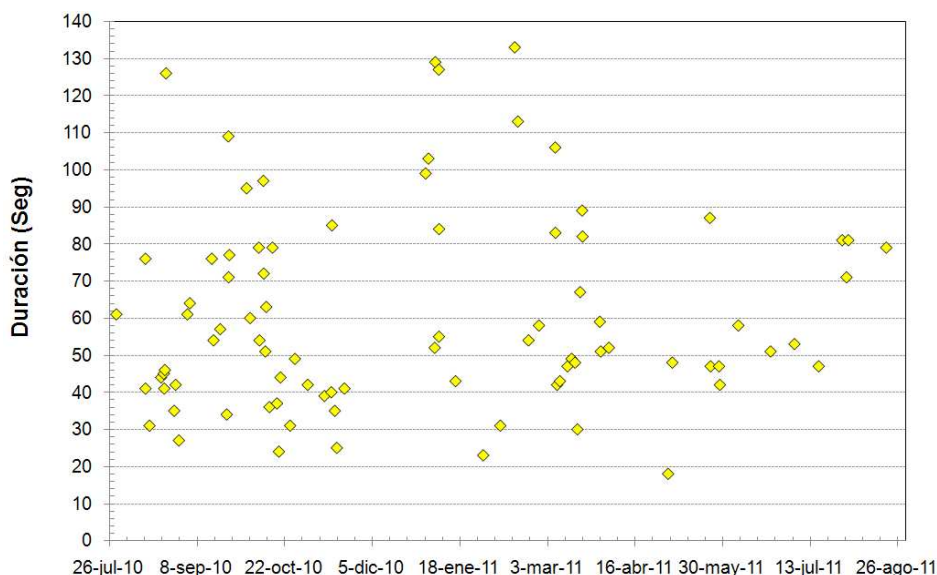


Figura 2.4.19. Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 31 de agosto de 2011.

2.4.3 Deformación

2.4.3.1 Inclinometría Electrónica

Para el monitoreo de los procesos de deformación del edificio volcánico del Complejo Cumbal, se contó con la información suministrada por el inclinómetro La Mesa (ubicado a 2,5 km al este-sureste del cráter Mundo Nuevo, 4270 msnm), resaltando las variaciones observadas en sus componentes, en la Tangencial, entre el 30 de abril y el 13 de julio, presentó un comportamiento descendente cercano a los 27 μrad , luego entre el 13 de julio y el 5 de octubre, las fluctuaciones fueron menores a los 5 μrad y finalmente, entre el 5 de octubre e inicio de diciembre se observó una tendencia ascendente alcanzando 32 μrad , luego de estos cambios se muestran variaciones que se encuentran dentro de los niveles de fluctuación normal del sensor, mientras que en la componente Radial se observó un ascenso entre el 11 de enero y el 14 de julio, registrando cerca de 25 μrad , luego entre el 14 de julio y el 6 de octubre de 43 μrad en descenso y finalmente se observó un comportamiento ascendente entre el 6 de octubre y el 23 de diciembre de 2011 cercano a los 60 μrad (Figura 2.4.20.).

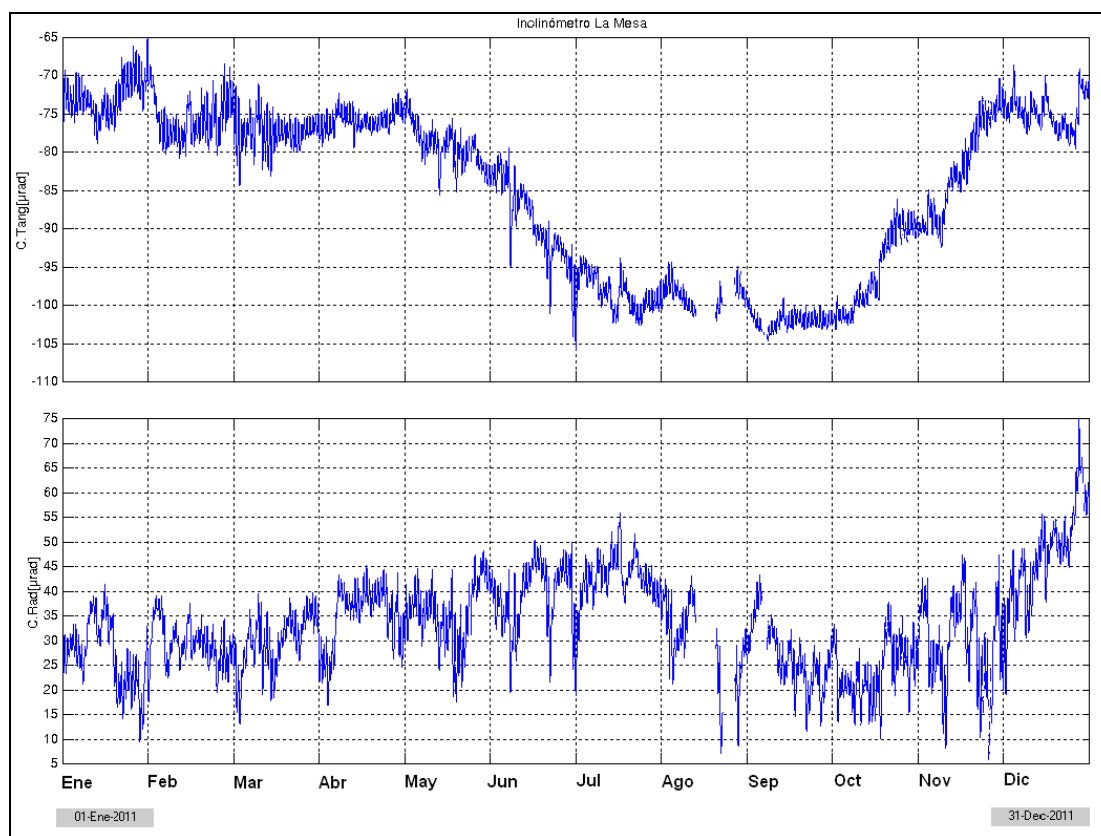


Figura 2.4.20. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2011.

2.4.4 Físicoquímica

2.4.4.1. Muestreo de aguas termales

A continuación se destacan los aspectos más relevantes que se desarrollaron en el Segundo Semestre de 2011:

Ubicación de las fuentes termales

En el periodo evaluado se realizó el muestreo de las fuentes termales del volcán Cumbal: El Salado, El Zapatero, Cuetial y Hueco Grande, en los meses de septiembre y diciembre, en este proceso se siguió con los lineamientos que se tienen para la vigilancia volcánica en Colombia. Los sitios seleccionados se encuentran dentro del área de influencia del fenómeno volcánico. Se establecieron las coordenadas geográficas y la altitud de los puntos de muestreo mediante GPS. En la Figura 2.4.21. Se presenta el mapa de ubicación de los puntos de toma de muestra.

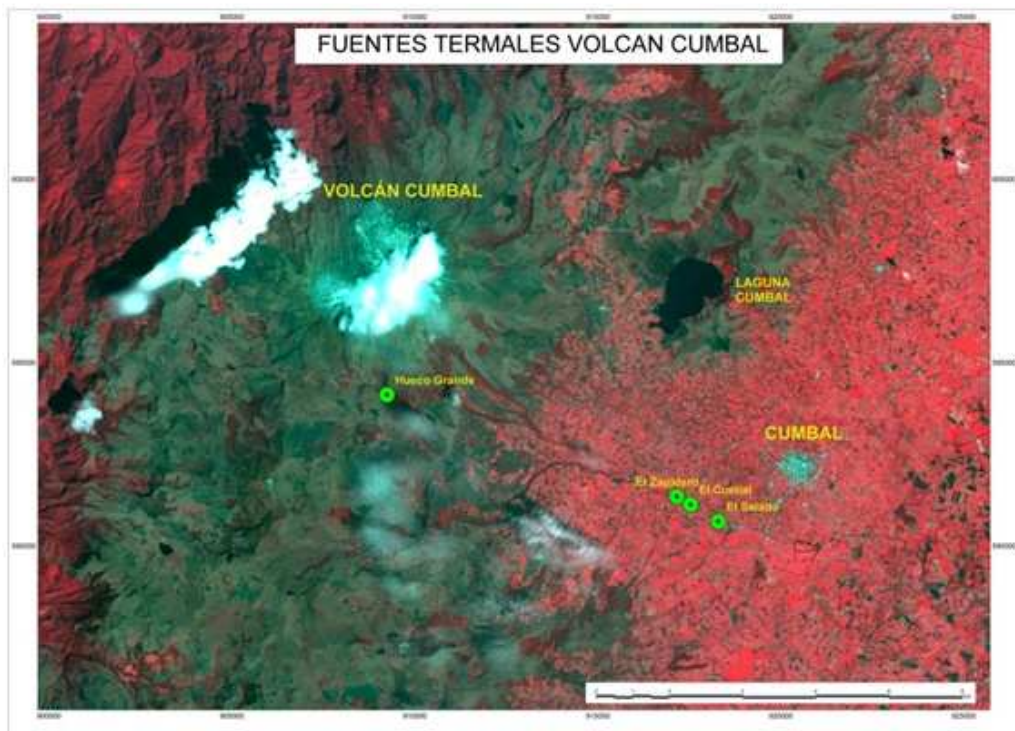


Figura 2.4.21. Mapa de localización de las fuentes termales del volcán Cumbal.

En la Tabla 2.4.2. Y Figura 2.4.22. Se presentan algunas características de las fuentes termales del volcán Cumbal.

Tabla 2.4.2. Características de las fuentes termales del volcán Cumbal.

Fuente Termal	Latitud	Longitud	Altura msnm
El Salado	0° 53' 39.7"	77° 48' 42"	3184
El Zapatero	0° 54' 1.6"	77° 49' 18.7"	3224
El Cuetial	0° 53' 54.6"	77° 49' 6.5"	3208
Hueco Grande	0° 55' 32"	77° 53' 35"	2947



Fuente Termal El Salado



Fuente Termal El Zapatero



Fuente Termal El Cuetial



Fuente Termal Hueco Grande

Figura 2.4.22. Imágenes de las fuentes termales de Volcán Cumbal.

Toma de la muestra

Haciendo uso de los vasos de precipitado plásticos de 200 ml y teniendo en cuenta las precauciones de seguridad se realizó la toma de 4 muestras de cada una de las fuentes termales del Volcán Cumbal, una para aniones, cationes, Redox y CO₂.

Utilizando el equipo de filtración, se filtró el agua para llenar el recipiente de aniones, cationes y CO₂ respectivamente.

Para la toma de la muestra para cationes, si el pH de la fuente es mayor a 3 se debe acidular con HNO₃ (ácido Nítrico) 1:1, hasta alcanzar un pH de 2, esto se realiza con el fin de mantener los iones estables, hasta la realización de sus respectivos análisis en el laboratorio de la ciudad de Bogotá

Mediciones de Parámetros Físicoquímicos

En los sitios de muestreo se realizaron mediciones de los parámetros físicoquímicos como temperatura y pH, en la Tabla 2.4.3, se presentan los parámetros medidos in situ, para el mes de septiembre.

Tabla 2.4.3. Parámetros físicoquímicos de las fuentes termales del volcán Cumbal.

FUENTE TERMAL	MES	pH	Tem °C	Cond (mS/cm)	CO ₃ ⁼ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L
HUECO GRANDE	Septiembre	6.4	28	1.64 a 25°C	0	504
	Junio	-	-	-	-	-
EL SALADO	Septiembre	5.9	34.4	-	0	869
	Junio	6.3	32.4	-	0	882
EL ZAPATERO	Septiembre	6.4	29.1	2.3	0	1008
	Junio	6.7	30.2	-	0	875

Con respecto al último dato registrado en el I semestre de 2011, no se observan cambios significativos en los parámetros medidos, salvo la concentración de bicarbonatos en la fuente termal El Zapatero, los cuales registran un incremento con respecto al último dato.

Para el mes de diciembre se realizaron mediciones de parámetros físicoquímicos en las fuentes termales de Hueco Grande y Cuetial, arrojando como resultado lo presentado en la Tabla 2.4.4.

Tabla 2.4.4. Parámetros físicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Cumbal

FUENTE TERMAL	MES	pH	Tem °C	Cond (mS/cm)	CO ₃ ⁼ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L
HUECO GRANDE	Diciembre	6.8	30.9	1.97	0	580
	Septiembre	6.4	28	1.64 a 25°C	0	504
	Junio	-	-	-	-	-
CUETIAL	Diciembre	6.3	32.6	2.84	0	845
	Septiembre	5.9	34.4	-	0	869
	Junio	6.3	32.4	-	0	882

De acuerdo a la Tabla 2.4.4. En la fuente termal Hueco Grande se tuvo un incremento en 0.4 unidades de pH y 2.9 grados centígrados de temperatura con respecto al mes de septiembre. Estos resultados son consistentes con el aumento en los bicarbonatos y la conductividad eléctrica. Una mayor temperatura implica un mayor número de sales disueltas y por lo tanto una mejor conducción de la corriente eléctrica.

La temperatura en la fuente termal Cuetial bajo en 1.8 grados centígrados. Este cambio no necesariamente se podría asociar a la actividad del volcán, si no a la alta cantidad de lluvia que cayó en esos días, reflejo de ello fue el aumento considerable del nivel de agua en la fuente termal.

Toma de muestras de gases en la fumarola El Rastrojo

Se realizó la toma de muestras en la fumarola El Rastrojo, utilizando botellas de Giggenbch, las cuales se enviaron a los laboratorios del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales para su respectivo análisis. En la Figura 2.4.23. Se presenta una serie de imágenes de la toma de datos en la respectiva fumarola.

De acuerdo a los resultados registrados en la Fumarola El Rastrojo, la temperatura registrada en el mes de septiembre fue de 153.3 °C y la registrada en el mes de diciembre fue de 178.9 °C. Este incremento de 25.6 grados centígrados es considerado alto y puede estar relacionado con el aumento en la actividad sísmica del volcán en los últimos meses.



Figura 2.4.23. Toma de muestras de gases en la fumarola El Rastrojo del volcán Cumbal, empleando botellas de Giggenbch.

2.4.5 Actividad superficial

La actividad superficial del volcán Cumbal, se documentó a partir de los reconocimientos aéreos realizados el 4 (Figura 2.4.24.) y el 27 de noviembre y el 6 de diciembre (Figura 2.4.27.), de igual forma de imágenes capturadas el 17 de noviembre desde la parte alta del volcán Azufral (Figura 2.4.25.), en las fotografías se observó emisiones de gases de color blanco desde diferentes sectores del cono activo con dispersión variable debido a la acción de los vientos principalmente del campo fumarólico El Verde (Figura 2.4.26.).

El día 27 de noviembre se tomaron imágenes térmicas que permitieron observar la variación de las condiciones de temperatura del material rocoso en la cima del complejo volcánico, se obtuvo un registro de una temperatura máxima alrededor de los 200 ° C (Figura 2.4.28.).



Figura 2.4.24. Imágenes del complejo volcánico Cumbal, capturadas en sobrevuelo, el 4 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.



Figura 2.4.25. Imágenes del complejo volcánico Cumbal, capturadas desde la parte alta del volcán Azufral, el 17 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.



Figura 2.4.26. Imágenes del complejo volcánico Cumbal, capturadas en sobrevuelo, el 27 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cono activo.



Figura 2.4.27. Imágenes del complejo volcánico Cumbal, capturadas en sobrevuelo, el 6 de diciembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observa la emisión de gases desde varios sectores del cráter secundario El Verde (arriba) y la cima del edificio volcánico (abajo)

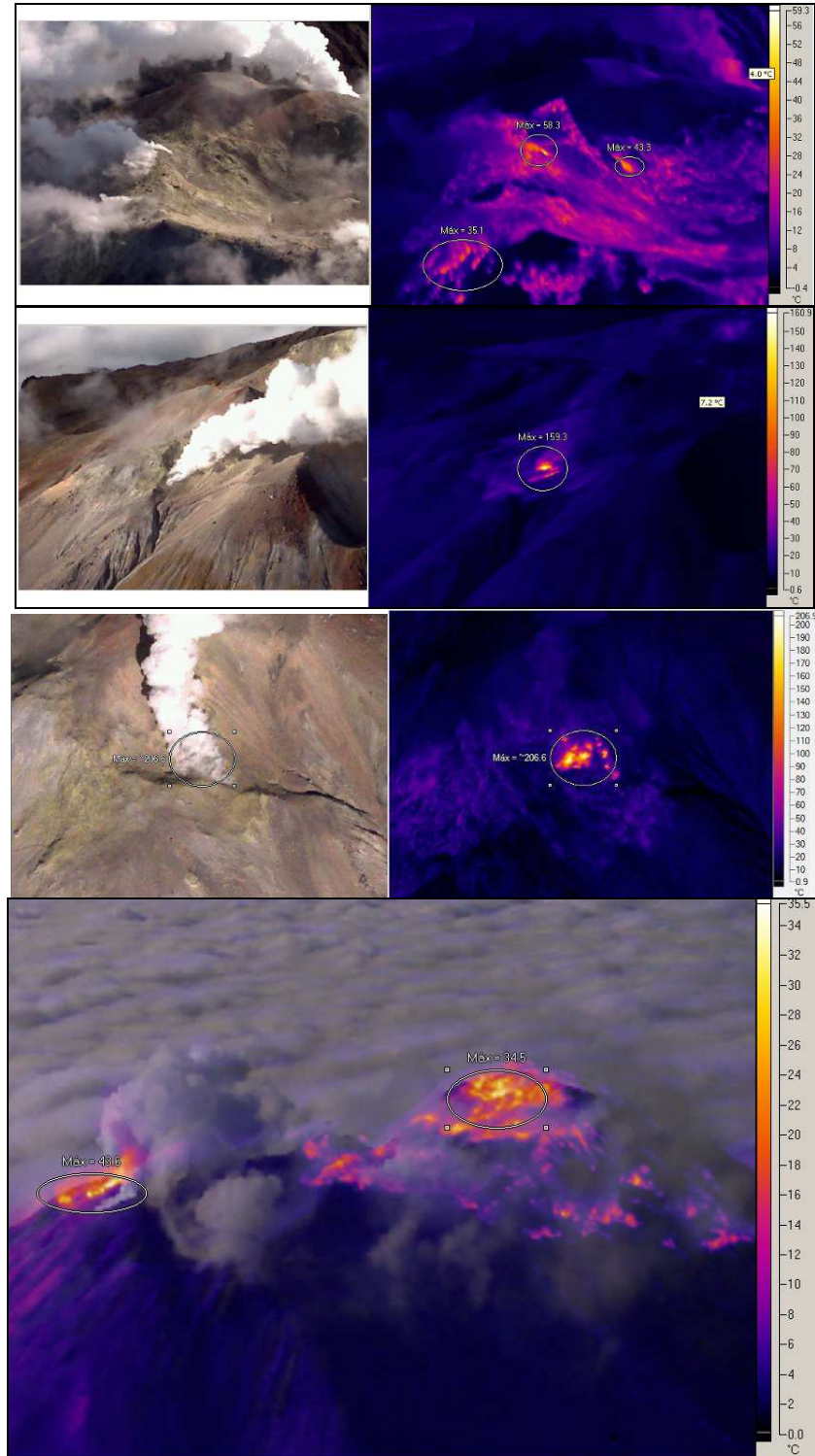


Figura 2.4.28. Imágenes térmicas del complejo volcánico Cumbal, capturadas en sobrevuelo, el 27 de noviembre de 2011, en horas de la mañana, en las fotografías se observan anomalías térmicas por varios sectores del cono activo.



2.4.6. Conclusiones

La actividad sísmica predominante continúa siendo la asociada con dinámica de fluidos al interior del edificio volcánico, además se observa bastante salida de gases; se destaca el incremento en la actividad sísmica particularmente desde el mes de octubre de 2011.

La evaluación de los parámetros monitoreados de la actividad volcánica de Cumbal durante el mes de agosto de 2011 permitió mantener el **NIVEL VERDE ● (IV): “Volcán activo y comportamiento estable”**, aunque se mantendrá su monitoreo permanente para evaluar un posible cambio de actividad a nivel amarillo.



2.5 BIBLIOGRAFÍA

Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Reportes Mensuales de Actividad del Volcán Galeras. Meses de julio a diciembre de 2011. Varios autores. Informes inéditos. Pasto. 2011.

Información complementaria puede ser consultada en la página web del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto en: <http://www.ingominas.gov.co/Pasto.aspx>

2.6 PERSONAL PARTICIPANTE

A continuación se hace referencia al personal del grupo técnico que han participado de diferente manera en el análisis, procesamiento e interpretación de la información que se genera a partir de los diferentes parámetros de monitoreo volcánico en el Segundo Semestre del 2011.

Personal INGEOMINAS Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto		
Diego Mauricio Gómez Martínez		Edgar Muñoz Hidalgo
Lourdes Narváez Medina		Darío Arcos Guerrero
Roberto Armando Torres Corredor		John Meneses
Adriana Micaela Ortega Estupiñán		Jorge Edison Mora Arroyo
Betty Silva Parra		Jairo Ortiz Valencia
Anita Patricia Ponce Villarreal		Richard Andrés Mier
Oscar Ernesto Cadena		Paola Narváez
Grupo de Estudiantes monitores de la Universidad de Nariño en el OVSP		