



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. Enero a Junio 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	Enero /2011 a Junio /2011
Dominio Espacial		
	Descripción del área geográfica. Incluir el nombre del territorio que cubre el producto.	Zona de influencia – Volcanes de Nariño.



NOMBRE	DESCRIPCION	DOMINIO
	Incluir área geográfica dada en km ² .	
Coordenadas /límites		
Oeste		No aplica.
Este		No aplica.
Norte		No aplica.
Sur		No aplica.
Nivel de resolución	Escala	No aplica.
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_I_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		



**SERVICIO GEOLOGICO
COLOMBIANO**
República de Colombia

NOMBRE	DESCRIPCION	DOMINIO
Tipo de producto	Artículo, boletín, fotografía aérea, mapa, imagen satelital, informe técnico	Boletín
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 Ej. 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
ENERO A JUNIO DE 2011**

Edición:

GRUPO TÉCNICO OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE PASTO

San Juan de Pasto, febrero de 2012

República de Colombia

SERVICIO GEOLOGICO 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
ENERO A JUNIO DE 2011**

Edición:

GRUPO TÉCNICO OBERVATORIO VULCANÓLOGICO Y SISMOLÓGICO DE 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	43
2.1.3.1.	Inclinometría Electrónica	43
2.1.3.2.	Medición Electrónica de Distancias E.D.M.	49
2.1.4.	Fisicoquímica	49
2.1.4.1.	Mediciones de flujo de emisión de so ₂ con instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS	50
2.1.4.2.	Mediciones de gas radón rn ₂₂₂ en el suelo - línea galeras	54
2.1.5.	Actividad superficial y cambios geomorfológicos	55
2.1.6.	Conclusiones	65
2.2.	VOLCÁN DOÑA JUANA	67
2.2.1.	Red de vigilancia	68
2.2.2.	Sismología	70
2.2.3.	Deformación	72
2.2.3.1.	Inclinometría Electrónica	72
2.2.4.	Fisicoquímica	73
2.2.4.1.	Muestreo de Aguas Termales	73
2.2.5.	Actividad superficial	75
2.2.6.	Conclusiones	75
2.3.	VOLCÁN AZUFRAL	76
2.3.1.	Red de vigilancia	76
2.3.2.	Sismología	79
2.3.3.	Deformación	81
2.3.3.1.	Inclinometría Electrónica	81
2.3.3.2.	Medición Electrónica de Distancias – E.D.M.	83
2.3.4.	Fisicoquímica	85
2.3.4.1.	Muestreo de aguas termales	85
2.3.4.2.	Medición de gases en fumarola – Domo activo Laguna verde	87
2.3.5.	Actividad superficial	87
2.3.6.	Conclusiones	97
2.4.	VOLCÁN CUMBAL	98
2.4.1.	Red de vigilancia	98
2.4.2.	Sismología	100
2.4.3.	Deformación	104
2.4.3.1.	Inclinometría Electrónica	104
2.4.4.	Fisicoquímica	105
2.4.4.1.	Muestreo de aguas termales	105
2.4.5.	Actividad superficial	107
2.4.6.	Conclusiones	109
2.5.	BIBLIOGRAFÍA	111
2.6.	PERSONAL PARTICIPANTE	111



TABLAS

		Pág.
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 primer semestre de 2011.	6
Tabla 2.1.2.	Inclinómetros electrónicos telemétricos que conformaron la red de vigilancia en deformación del volcán Galeras durante el primer semestre de 2011.	7
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 primer semestre de 2011.	8
Tabla 2.1.4.	Características de la estación EM-Frailejón que monitorea las variaciones del campo eléctrico y del campo magnético ocasionadas por la actividad del volcán Galeras, instalada en el primer semestre de 2011.	9
Tabla 2.1.5.	Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red de Galeras, durante el primer semestre de 2011.	11
Tabla 2.1.6.	Número de sismos volcánicos por tipo, registrados en los semestres indicados	13
Tabla 2.1.7.	Número de sismos volcánicos por tipo, registrados en los meses indicados.	13
Tabla 2.1.8.	Energía liberada de sismos volcánicos por tipo, registrada en los semestres indicados.	15
Tabla 2.1.9.	Energía de sismos volcánicos por tipo, registrada en los meses indicados.	16
Tabla 2.1.10.	Comportamientos de las componentes Tangencial y Radial para el inclinómetro Cráter, instalado en Galeras, para diferentes periodos de tiempo, comprendidos entre los meses de Agosto de 2010 y el 30 de junio de 2011.	43
Tabla 2.1.11.	Sobrevuelos realizados con las temperaturas máximas obtenidas en varias zonas del volcán Galeras durante el segundo semestre de 2011	61
Tabla 2.2.1.	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2011	69
Tabla 2.2.2.	Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red del volcán Doña Juana, durante el primer semestre de 2011	70
Tabla 2.2.3.	Ubicación de las fuentes termales del volcán Doña Juana	74
Tabla 2.2.4.	Parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Doña Juana	74
Tabla 2.2.5.	Concentración de Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , CO ₃ ⁼ y HCO ₃ ⁼ de las fuentes termales del Volcán Doña Juana medidos en mg/L.	75
Tabla 2.3.1.	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Azufral durante el primer semestre de 2011	77
Tabla 2.3.2.	Principales aspectos relacionados con el funcionamiento y cambio de equipos en la red del volcán Azufral, durante el primer semestre de 2011.	79
Tabla 2.3.3.	Coordenadas WGS84 de los puntos materializados sobre la superficie del volcán Azufral, donde se ubican reflectores EDM y las Bases de medición.	83
Tabla 2.3.4.	Ubicación de las fuentes termales del volcán Azufral	85
Tabla 2.3.5.	Parámetros fisicoquímicos medidos en las fuentes termales del Volcán Azufral	86
Tabla 2.3.6.	Porcentajes de dióxido de carbono, azufre total, dióxido de azufre, sulfuro de hidrogeno y cloruro de hidrogeno medidos en el domo activo del volcán Azufral.	87
Tabla 2.3.7.	Coordenadas y valores de temperatura (°C) registrados en algunos sectores del volcán Azufral, mediciones realizadas el 18 de marzo de 2011.	90
Tabla 2.4.1.	Características de las estaciones que conformaron la red de vigilancia de la actividad del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2011.	99
Tabla 2.4.2.	Ubicación de las fuentes termales del volcán Cumbal.	106
Tabla 2.4.3.	Parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Cumbal	107



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 primer semestre de 2011. En líneas negras se señalan los enlaces que usan repetidoras, los demás son directos al OVP.	5
Figura 2.1.2.	Red para el monitoreo de la deformación volcánica del Galeras, conformada por cinco inclinómetros electrónicos, que funcionaron en el primer semestre de 2011.	6
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), que funcionaron durante el Primer Semestre de 2011.	7
Figura 2.1.4.	Mapa de localización de las cámaras web y de la estación para medición de variaciones del campo electromagnético en el volcán Galeras, y que funcionaron durante el primer semestre de 2011. Una de las cámaras se encuentra instalada en la sede del OVP en Pasto y la otra en el municipio de Consacá.	8
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; las cuales funcionaron durante el primer semestre de 2011.	9
Figura 2.1.6.	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el Primer Semestre de 2011 (enero a junio), de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras.	10
Figura 2.1.7.	Número diario de sismos volcánicos por tipo, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado.	12
Figura 2.1.8.	Número diario de eventos volcánicos por tipo, primer semestre de 2011.	13
Figura 2.1.9.	Relaciones porcentuales de ocurrencia sísmica para el primer semestre de 2011 y comparación de la ocurrencia sísmica con el semestre anterior, por tipo de sismos volcánicos	14
Figura 2.1.10.	Energía liberada diaria, en términos de su raíz cuadrada, de sismos volcánicos por tipo, de julio de 2010 a junio de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	14
Figura 2.1.11.	Energía liberada diaria, en términos de su raíz cuadrada, de sismos volcánicos por tipo, primer semestre de 2011	15
Figura 2.1.12.	Relaciones porcentuales de energía sísmica para el primer semestre de 2011 y comparación de la energía sísmica con el semestre anterior, por tipo de sismos volcánicos	16
Figura 2.1.13.	Número diario de sismos VT, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	17
Figura 2.1.14.	Número diario de sismos VT, primer semestre de 2011	17
Figura 2.1.15.	Conteo acumulado de sismos VT, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	18
Figura 2.1.16.	Conteo acumulado de sismos VT, primer semestre de 2011	18
Figura 2.1.17.	Energía diaria liberada de sismos VT, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	19
Figura 2.1.18.	Energía diaria liberada de sismos VT, primer semestre de 2011	19
Figura 2.1.19.	Energía acumulada de sismos VT, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	20
Figura 2.1.20.	Energía acumulada de sismos VT, primer semestre de 2011	20
Figura 2.1.21.	Número diario de sismos HYB, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	21
Figura 2.1.22.	Número diario de sismos HYB, primer semestre de 2011	21
Figura 2.1.23.	Conteo acumulado de sismos HYB, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	22
Figura 2.1.24.	Conteo acumulado de sismos HYB, primer semestre de 2011	22
Figura 2.1.25.	Energía diaria liberada de sismos HYB, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	23
Figura 2.1.26.	Energía diaria liberada de sismos HYB, primer semestre de 2011	23
Figura 2.1.27.	Energía acumulada de sismos HYB, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	24



Figura 2.1.28.	Energía acumulada de sismos HYB, primer semestre de 2011	24
Figura 2.1.29.	Número diario de sismos LPS, de julio de 2010 a junio de 2011	25
Figura 2.1.30.	Número diario de sismos LPS, primer semestre de 2011	25
Figura 2.1.31.	Conteo acumulado de sismos LPS, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	26
Figura 2.1.32.	Conteo acumulado de sismos LPS, primer semestre de 2011	26
Figura 2.1.33.	Energía diaria liberada de sismos LPS, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	27
Figura 2.1.34.	Energía diaria liberada de sismos LPS, primer semestre de 2011	27
Figura 2.1.35.	Energía acumulada de sismos LPS, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	28
Figura 2.1.36.	Energía acumulada de sismos LP, primer semestre de 2011	28
Figura 2.1.37.	Número diario de sismos TRE, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	29
Figura 2.1.38.	Número diario de sismos TRE, primer semestre de 2011	29
Figura 2.1.39.	Conteo acumulado de sismos TRE, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	30
Figura 2.1.40.	Conteo acumulado de sismos TRE, primer semestre de 2011	30
Figura 2.1.41.	Energía diaria liberada de sismos TRE, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	31
Figura 2.1.42.	Energía diaria liberada de sismos TRE, primer semestre de 2011	31
Figura 2.1.43.	Energía acumulada de sismos TRE, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado	32
Figura 2.1.44.	Energía acumulada de sismos TRE, primer semestre de 2011	32
Figura 2.1.45.	Mapa de sismos localizados VT e HYB en la zona de influencia de Galeras, con sus respectivos cortes EW y NS, primer semestre de 2011	33
Figura 2.1.46.	Relaciones porcentuales por rangos de magnitud y profundidad para los sismos localizados en el primer semestre de 2011	34
Figura 2.1.47.	Evolución espacio temporal de la Latitud de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre en evaluación	34
Figura 2.1.48.	Evolución espacio temporal de la Longitud de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre en evaluación	35
Figura 2.1.49.	Evolución espacio temporal de la Profundidad de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre en evaluación	35
Figura 2.1.50.	Evolución temporal de la Magnitud de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre en evaluación	36
Figura 2.1.51.	Número diario de sismos tipo TOR, primer semestre de 2011.	36
Figura 2.1.52.	Energía diaria liberada por sismos TOR, primer semestre de 2011.	37
Figura 2.1.53.	Comportamiento de las frecuencias dominantes y subdominantes de los TOR registrados en el primer semestre de 2011	38
Figura 2.1.54.	Comportamiento de las duraciones de los TOR registrados en el primer semestre de 2011	38
Figura 2.1.55.	Eventos TOR de enero de 2011	39
Figura 2.1.56.	Eventos TOR de febrero de 2011	40
Figura 2.1.57.	Eventos TOR de marzo de 2011	41
Figura 2.1.58.	Eventos TOR de abril de 2011	41
Figura 2.1.59.	Eventos TOR de junio de 2011	42
Figura 2.1.60.	Evolución temporal de los picos de frecuencia de los eventos TOR registrados en el primer semestre de 2011	42
Figura 2.1.61.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011	44
Figura 2.1.62.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011	45
Figura 2.1.63.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Huairatola, instalado en	45



	Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011	
Figura 2.1.64.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011.	46
Figura 2.1.65.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011	47
Figura 2.1.66.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial, de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola y Cobanegra, instalados en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2010 y el mes de junio de 2011.	48
Figura 2.1.67.	Vectores resultantes para los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola y Cobanegra para el periodo comprendido entre el 9 de septiembre de 2010 y el 5 de febrero de 2011. El asterisco indica el lugar donde se encuentra cada estación.	48
Figura 2.1.68.	Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Galeras. Las figuras de color violeta indican la ubicación de la Base 1 y 2, las figuras de color verde (oscuro y claro) indican la ubicación de los prismas reflectores.	49
Figura 2.1.69.	Localización de las estaciones telemétricas, empleadas en ScanDOAS..	50
Figura 2.1.70.	Flujo de emisión de SO ₂ registrado entre el 1 de julio de 2010 y el 30 de junio de 2011, se resalta en gris el periodo evaluado.	51
Figura 2.1.71.	Total Flujo de SO ₂ , por semestre	52
Figura 2.1.72.	Porcentajes de emisión de Flujo de SO ₂ por mes I semestre 2011.	52
Figura 2.1.73.	Imágenes capturadas por el sensor satelital OMI, en las cuales se observa concentración de SO ₂ emitido a la atmósfera por Galeras durante los días 24 (izquierda) y 28 (derecha) de marzo de 2011.	53
Figura 2.1.74.	Concentración de SO ₂ del volcán Galeras detectado el 8 de abril de 2011, por el sensor OMI.	53
Figura 2.1.75.	Concentración del isótopo Radioactivo Rn-222, registrado entre el 1 de julio de 2010 y el 30 de junio de 2011, se resalta en gris el periodo evaluado.	54
Figura 2.1.76.	Conteo de eventos tipo Vt, Lp y Hyb, registrados entre el 1 de enero de 2011 y el 30 de junio de 2011, se resalta en gris el mes de abril de 2011.	55
Figura 2.1.77.	Imágenes de la cima volcánica de Galeras, capturadas por el Personal de Observatorio en reconocimiento realizado el 26 de enero de 2011. En las fotografías se observa salida de gas desde varios sectores de cono activo.	56
Figura 2.1.78.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la estación CRATER2 ubicada en la cima de Galeras el 18 de abril de 2011 hacia las 12:30 p.m.	57
Figura 2.1.79.	Imágenes del volcán Galeras, en las cuales se observa la emisión de gases registrada en horas de la mañana del 16 de marzo de 2011. La fotografía de la parte izquierda fue tomada desde el Observatorio y a la derecha desde la Población de Consacá.	57
Figura 2.1.80.	Imágenes del volcán Galeras, capturadas desde la sede del Observatorio, el 27 de enero de 2011 en horas de la tarde, a las 6:12 p.m. (izquierda) y 6:14 p.m. (derecha), en las cuales se observa emisión de gases.	57
Figura 2.1.81.	Imágenes del volcán Galeras, del 7 de marzo de 2011. La imagen superior izquierda tomada desde el Observatorio a las 6:29 a.m., la fotografía superior derecha, desde la Población de Consacá, a las 8:27 a.m. y las imágenes de la parte inferior, fueron capturadas desde el Observatorio cerca de las 9:30 de la mañana.	58
Figura 2.1.82.	Imágenes del volcán Galeras, en las cuales se observa la emisión de gases registrada en horas de la mañana del 21 de marzo de 2011. La fotografía la izquierda fue tomada desde el Observatorio y de la parte derecha desde la Población de Consacá.	58
Figura 2.1.83.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el municipio de Consacá el 22 de abril de 2011 a las 4:48 p.m. y 6:08 p.m. (Arriba) y vista desde la sede del OVSP a las 6:11 p.m. y 6:36 p.m. (Abajo).	59
Figura 2.1.84.	Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la sede del OVSP el 24 de abril de 2011 a las 6:37 a.m. (Izquierda) y desde la Web ubicada en el municipio de Consacá a las 7:28 a.m. (Derecha).	59
Figura 2.1.85.	Imágenes de la cima volcánica de Galeras, capturadas por el Sr. Mario Caicedo, funcionario de Radio y Televisión de Colombia (RATVC) el 24 de enero de 2011. En las fotografías se observa poca salida de gas desde varios sectores de cono activo.	60
Figura 2.1.86.	Registro fotográfico tomado durante el sobrevuelo a la zona de influencia de Galeras, el cual	61



	se realizó en horas de la mañana del 7 de enero de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. En las fotografías se observa la salida de gas de varios de los cráteres secundarios de Galeras y desde los focos alineados a manera de una fisura radial en el flanco norte del cono.	
Figura 2.1.87.	Registro fotográfico tomado durante el sobrevuelo a la zona de influencia de Galeras, el cual se realizó en horas de la mañana del 27 de enero de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. En las fotografías se observa la salida de gas de varios de los cráteres secundarios de Galeras y desde los focos alineados a manera de una fisura radial en el flanco norte del cono.	62
Figura 2.1.88.	Registro Fotográfico de la emisión de gases observada durante el sobrevuelo efectuado el día 6 de febrero de 2011 en horas de la mañana con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. El óvalo rojo en la imagen superior derecha, resalta los focos de emisión de gases alineados a manera de una fisura radial en el flanco norte del cono.	62
Figura 2.1.89.	Registro fotográfico tomado durante el sobrevuelo a la zona de influencia de Galeras, el cual se realizó en horas de la mañana del 21 de marzo de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. En las fotografías se observa la salida de gas desde varios de los cráteres secundarios de Galeras y desde los focos alineados a manera de una fisura radial en el flanco norte del cono.	63
Figura 2.1.90.	Imágenes térmicas capturadas el 7 de enero de 2011 del cono activo de Galeras. El recuadro en la fotografía resalta los campos fumarólicos localizados en el costado norte, alineados a manera de una posible fisura.	63
Figura 2.1.91.	Imágenes térmicas capturadas el 27 de enero de 2011 del cono activo de Galeras, en sobrevuelo efectuado en horas de la mañana con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana.	64
Figura 2.1.92.	Imágenes térmicas capturadas el 6 de febrero de 2011 del cono activo de Galeras. El recuadro en la fotografía, resalta los campos fumarólicos localizados en el costado norte, alineados a manera de una posible fisura.	64
Figura 2.1.93.	Imagen térmica del cono activo del volcán Galeras, capturada durante el sobrevuelo efectuado en horas de la mañana del 18 de mayo de 2011, en la cual se observan varias anomalías térmicas.	65
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.	67
Figura 2.2.2.	Imagen de la cima del volcán Doña Juana.	67
Figura 2.2.3.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2011. Los triángulos rojos simbolizan las estaciones sismológicas de corto período, los círculos verdes los inclinómetros electrónicos y el hexágono amarillo la estación sismológica de banda ancha.	68
Figura 2.2.4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana.	69
Figura 2.2.5.	Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde julio de 2010 a junio de 2011.	71
Figura 2.2.6.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo VT de magnitud local 1.6 en la escala de Richter, ocurrido el 23 de enero de 2011, a las 8:19 a.m.	71
Figura 2.2.7.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo VT de magnitud local 2.1 en la escala de Richter, ocurrido el 23 de marzo de 2011, a las 8:32 a.m.	71
Figura 2.2.8.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo VT de magnitud local 1.7 en la escala de Richter, ocurrido el 7 de mayo de 2011, a las 8:41 a.m.	72
Figura 2.2.9.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011.	72
Figura 2.2.10.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 11 de junio de 2009 y el 15 de junio de 2011.	73
Figura 2.2.11.	Imágenes del volcán Doña Juana, capturadas por Personal del OVSP el 21 de enero de 2011.	75
Figura 2.3.1.	Panorámica de la laguna cratérica del volcán Azufral. Nótese el domo pequeño de color claro	76



	en la parte izquierda de la imagen y detrás de la laguna, los grandes domos. Septiembre 4 de 2008, 12:10 p.m.	
Figura 2.3.2.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el primer semestre de 2011.	77
Figura 2.3.3.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el primer semestre de 2011. Las líneas amarillas (punteada y continua) muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.	78
Figura 2.3.4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral.	78
Figura 2.3.5.	Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde julio de 2010 a junio de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	79
Figura 2.3.6.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento VT ocurrido en Azufral, registrado el 19 de enero de 2011, a las 4:05 a.m.	80
Figura 2.3.7.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LPS, registrado el 8 de febrero de 2011 a las 8:07 p.m. por la estación Chaitán	80
Figura 2.3.8.	Sismogramas en las estaciones Chaitán y La Roca de uno de los eventos relacionados con fracturamiento de material cortical registrado el 4 de febrero de 2011 a las 2:41 a.m.	80
Figura 2.3.9.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento clasificado como LPS, ocurrido en Azufral, registrado el 24 de marzo de 2011, a las 5:55 p.m.	81
Figura 2.3.10.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LPS, registrado el 24 de junio de 2011 a las 5:25 a.m. por las estaciones Chaitán y La Roca.	81
Figura 2.3.11.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 2 de junio de 2010 y el 30 de junio de 2011	82
Figura 2.3.12.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 16 de marzo y el 30 de junio de 2011.	82
Figura 2.3.13.	Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Azufral. Las figuras de color verde indican la ubicación de las Base 1 y 2, los círculos de color amarillo indican la ubicación de los prismas.	83
Figura 2.3.14.	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.	84
Figura 2.3.15.	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.	84
Figura 2.3.16.	Mapa de las fuentes termales del volcán Azufral	86
Figura 2.3.17.	Imagen de la Laguna Verde del volcán Azufral, en la cual se observa la zona de mayor burbujeo sobre la superficie de la Laguna, ubicada hacia el noroccidente de la misma. Fotografía capturada el 24 de marzo de 2011	88
Figura 2.3.18.	Registro fotográfico tomado durante el sobrevuelo a la zona de influencia del volcán Azufral, el cual se realizó en horas de la mañana del 13 de enero de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana	88
Figura 2.3.19.	Imagen de algunos de los domos del volcán Azufral, principalmente de los ubicados por el sector nororiental de la Laguna Verde, capturada el 10 de marzo de 2011. Se destaca el sector por donde se ha observado emisión de gas	89
Figura 2.3.20.	Imágenes de algunos de los domos del volcán Azufral, principalmente de los ubicados por el sector nororiental de la Laguna Verde, en las fotografías se puede observar poca salida de gas, imágenes capturadas: A). 10 de marzo de 2011, B). 18 de marzo de 2011, C). 24 de marzo de 2011.	89
Figura 2.3.21.	Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en agua y en superficie del volcán Azufral, medida realizada el 18 de marzo de 2011.	90
Figura 2.3.22.	Sector "la playita" en la Laguna Verde del Volcán Azufral, en negro están los datos de temperaturas (°C) medidos el 24 de marzo de 2011 y en rojo los medidos anteriormente.	91
Figura 2.3.23.	Datos de temperaturas (°C) medidos por el sector de los domos ubicados hacia el nororiente de la Laguna Verde del Volcán Azufral, medidos el 24 de marzo de 2011.	91



Figura 2.3.24.	Sector “la playita” en la Laguna Verde del Volcán Azufral, en negro están los datos de temperaturas (°C) medidos el 28 de abril.	92
Figura 2.3.25.	Imagen térmica del sector “la playita” en la Laguna Verde del Volcán Azufral, capturada el 28 de abril de 2011.	92
Figura 2.3.26.	Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en superficie del volcán Azufral, por el sector noroccidental de la laguna Verde, en la salida de material hidrotermal, medidas realizadas en el mes de mayo de 2011.	93
Figura 2.3.27.	Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en agua y en superficie del volcán Azufral, al norte de la laguna Verde, medidas realizadas en el mes de mayo de 2011.	93
Figura 2.3.28.	Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en superficie del volcán Azufral, al occidente de la laguna Verde, medidas realizadas en el mes de mayo de 2011.	94
Figura 2.3.29.	Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en algunos puntos de la laguna Verde del volcán Azufral. Arriba se observa el Sector conocido como “la playita”, en negro están los datos de temperaturas (°C); abajo se observa el sector norte de la laguna Verde, las medidas se realizaron el 24 de junio de 2011.	94
Figura 2.3.30.	Localización de puntos muestreados para toma de temperaturas en superficie del volcán Azufral. Medidas realizadas el 24 de junio de 2011 en el sector noroeste de la laguna Verde en la salida de material hidrotermal	95
Figura 2.3.31.	Imagen térmica tomada a la laguna La Barrosa. En el contacto entre el domo y la laguna se observan las temperaturas más altas.	95
Figura 2.3.32.	Imagen térmica tomada al domo ubicado en el sector noreste de la laguna Verde. Las temperaturas más altas están sobre los focos de emisión de gases.	96
Figura 2.3.33.	Imagen térmica tomada al desde el norte de la laguna Verde hacia la zona de contacto entre el uno de los domos y la laguna. En óvalos se resalta los puntos que mostraban las mayores temperaturas.	96
Figura 2.3.34.	Imagen térmica tomada al sector de La Playita en las orillas de la laguna Verde. Las temperaturas más altas se observan en los contactos entre el material emitido en la erupción hidrotermal de julio de 2009 y la laguna.	96
Figura 2.4.1.	Imagen del complejo volcánico Cumbal.	98
Figura 2.4.2.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2011	99
Figura 2.4.3.	Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2011. Las líneas punteadas muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.	99
Figura 2.4.4.	Histograma del porcentaje de funcionamiento, durante el primer semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal.	100
Figura 2.4.5.	Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde agosto de 2010 a junio de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.	100
Figura 2.4.6.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 2 de enero de 2011, a la 5:30 a.m.	101
Figura 2.4.7.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, registrado el 14 de febrero de 2011 a las 2:21 p.m. por la estación La Mesa	101
Figura 2.4.8.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 6 de marzo de 2011 a las 10:47 p.m.	101
Figura 2.4.9.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 7 de marzo de 2011 a las 00:22 a.m.	102
Figura 2.4.10.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, registrado el 2 de abril de 2011 a las 9:03 p.m. por la estación La Mesa.	102
Figura 2.4.11.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LP, registrado el 8 de abril de 2011 a las 6:48 a.m. por la estación La Mesa.	102
Figura 2.4.12.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 23 de mayo de 2011 a las 11:36 p.m.	103
Figura 2.4.13.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal,	103



	registrado el 28 de mayo de 2011 a las 3:57 a.m.	
Figura 2.4.14.	Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, registrado el 6 de junio de 2011 a las 10:03 p.m. por la estación La Mesa.	103
Figura 2.4.15.	Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 30 de junio de 2011.	104
Figura 2.4.16.	Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 30 de junio de 2011.	104
Figura 2.4.17.	Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 29 de noviembre de 2010 y el 30 de junio de 2011.	105
Figura 2.4.18.	Mapa de las fuentes termales del volcán Cumbal.	106
Figura 2.4.19.	Registro fotográfico de una pequeña emisión de gases del volcán Cumbal observada desde la vía de acceso a la estación sismológica Chaitán del volcán Azufra el 26 de febrero de 2011 a partir a las 8:30 a.m.	107
Figura 2.4.20.	Registro Fotográfico de emisión de gases observada durante el sobrevuelo efectuado el día 2 de abril de 2011 en horas de la mañana con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC)	108
Figura 2.4.21.	Registro fotográfico de una pequeña emisión de gases del volcán Cumbal observada desde el volcán Azufra el 27 de abril de 2011 a las 4:35 p.m.	108
Figura 2.4.22.	Registro fotográfico de una pequeña emisión de gases del volcán Cumbal observada desde el volcán Azufra el 19 de junio de 2011 a las 10:32 a.m.	109
Figura 2.4.23.	Registro fotográfico de una pequeña emisión de gases del volcán Cumbal observada desde el volcán Azufra el 28 de junio de 2011 a las 9:50 a.m.	109



INTRODUCCIÓN

El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVSP) – del Servicio Geológico Colombiano - SGC (antes INGEOMINAS), en función de su misión institucional continúa realizando actividades de vigilancia permanente, las 24 horas del día, de la actividad de los volcanes Galeras, Doña Juana, Azufral y Cumbal, combinando técnicas de monitoreo tanto con herramientas de transmisión telemétrica, como de muestreo de datos en campo de manera puntual, para cubrir la mayor cantidad de áreas y de técnicas de estudios posibles, en geofísica y geoquímica para una adecuada evaluación del comportamiento de los volcanes.

El informe de actividad de los volcanes activos de Nariño, correspondiente al primer semestre del 2011, presenta la descripción de los hechos más resaltables ocurridos en este semestre en cada uno de los volcanes; así como el análisis y evaluación de la información, que permitan plantear posibles escenarios de su actividad. Dentro de las áreas de monitoreo volcánico se encuentra el registro continuo de la actividad sísmica, el seguimiento a los procesos de deformación, seguimiento de parámetros químicos como son las emisiones de dióxido de azufre a la atmosfera, con equipos que permiten captar estos valores, en condiciones donde exista radiación solar (que permite generar los espectros), registros fotográficos, por medio de las cámaras web instaladas en el OVSP y en el sector occidental del volcán, en el municipio de Consacá. Así también se cuenta con muestreo periódicos de gases y aguas en fumarolas y fuentes termales y, el registro fílmico, de imágenes fotográficas y térmicas, para lo cual se cuenta con la valiosa colaboración de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), a quienes el SGC expresa su mayor gratitud.

El informe de análisis y evaluación de la actividad de los volcanes activos de Nariño, es un insumo que permite informar a la comunidad, a las entidades del Sistema Nacional de Atención y Prevención de Desastres y a las autoridades locales y regionales, sobre la evolución del fenómeno volcánico en el periodo mencionado.

Este informe técnico de la actividad de Galeras y de los volcanes 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.



Libertad y Orden

RESUMEN

El primer semestre de 2011 inició en Galeras con baja actividad sísmica, tanto en niveles de ocurrencia como de energía liberada por dicha sismicidad. Sin embargo, a mediados del mes se registró un incremento en los procesos asociados con condiciones de sobrepresión del sistema volcánico, que se manifestó con la ocurrencia de eventos generados por el fracturamiento de material rocoso y paso el posterior paso de fluidos (tipo HYB), a manera de enjambres. Se observó también, incremento en la sismicidad no clasificable (sismos que no alcanzan el umbral base de clasificación en una estación definida) y, sumado a esto, desde el 26 de enero se inició el registro de sismos asociados con el movimiento de fluidos tipo Tornillo (TOR). La variación en los niveles de ocurrencia y en las características de sismicidad, sumado al registro de eventos tipo TOR, que se han asociado con procesos de incremento de presión al interior del sistema volcánico, generó el cambio en el reporte de actividad de Galeras, pasando de **Nivel Amarillo** ■ (III) **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**, a **Nivel Naranja** ◆ (II): **“Erupción probable en términos de días o semanas”**. Este nivel se mantuvo hasta el 8 de febrero cuando se retomo a **Nivel Amarillo** ■ o III: **“Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”**, pues, luego de analizar el comportamiento de los parámetros se observó que los eventos TOR presentaron frecuencias dominantes altas, entre 8 y 12 Hz, sin mostrar un comportamiento descendente, como se ha observado, días u horas antes, en algunos episodios eruptivos. Adicionalmente, se observaron manifestaciones de liberación paulatina de presiones, con el incremento en la: ocurrencia de episodios tipo TRE y en las emisiones de Dióxido de Azufre. Posteriormente, el nivel amarillo se mantuvo hasta finalizar el primer semestre del 2011.

En los meses posteriores, aun cuando la sismicidad mantuvo niveles bajos tanto en ocurrencia como en energía liberada, eventualmente se presentaron fluctuaciones que permitieron interpretar procesos con bajos niveles de sobrepresión, asociados con el incremento en la ocurrencia de eventos que caracterizan procesos de fracturas a niveles superficiales y el consiguiente paso de fluido, como son los eventos tipo HYB y por otro lado, los eventos tipo TOR, los cuales se interpretan como generados por cavidades resonantes, excitadas por el movimiento de fluidos, donde la naturaleza del fluido y el contraste de impedancia entre éste y la roca encajante caracterizan los parámetros de frecuencia y duración de un evento de este tipo y permiten identificar condiciones de sobrepresión del sistema y la posibilidad de la ocurrencia de un evento eruptivo. De esta manera, al igual que se identificaron procesos de baja sobrepresión, se observaron también procesos de liberación que lograron estabilizar el sistema de manera continua.

En cuanto a la sismicidad de fractura, se registran eventos localizados epicentralmente en inmediaciones del cráter volcánico, a distancias menores a 1 km., y profundidades menores a 1 km. Un segundo grupo que se ubica un poco mas dispersa, a profundidades entre 1 y 3 km., y epicentralmente mantiene una distribución de SE a NW, un tercer grupo es un poco mas disperso, con profundidades entre 3 y 12 km., cubriendo una mayor extensión epicentral del área de estudio. Las magnitudes se evaluaron en el rango entre los -0.4 y 2.4 en la escala de Richter.

En deformación volcánica, los cambios más evidentes se registraron en el inclinómetro de Cráter y en menor escala en los inclinómetros, Peladitos, Cobanegra y Calabozo.



Libertad y Orden

Con relación a las emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) a la atmósfera, provenientes de los procesos de actividad del volcán Galeras, los valores máximos fueron de alrededor de 2000 Tn/día y se registraron a mediados del mes de marzo.

El seguimiento de la actividad superficial se realizó por medio de las imágenes obtenidas por medio de las cámaras web ubicadas tanto en Pasto (sede del OVSP) y en la parte occidental del volcán, en el municipio de Consacá; además por los registros filmicos, fotográficos y de imágenes térmicas obtenidas durante labores de reconocimiento de actividad superficial en sobrevuelos realizados con el apoyo de la FAC; imágenes obtenidas durante trabajos en la cima de Galeras, por personal del OVSP e imágenes aportadas por el Señor Mario Caicedo (RTVC - Galeras).

Esta información permitió evidenciar los procesos de emisión del volcán, generalmente de coloración blanca, desde diferentes focos como: el cráter principal, los cráteres secundarios Las Deformes, Las Chavas y El Paisita, y desde los campos fumarólicos localizados en el costado Norte, alineados a manera de una posible fisura. Se resalta que el 26 de marzo, a través de la coordinación del CREPAD, se reportó fuertes olores a gases azufrados en la parte alta del municipio de Sandoná (Sector de Santa Bárbara) y caída de ceniza fina en esta zona en pequeñas cantidades.

Los días 18, 20 y 22 de mayo, se realizaron sobrevuelos y, las imágenes térmicas mostraron varios sectores con anomalías térmicas, resaltándose un valor promedio de 170° C en el fondo del cráter principal y de 205° C en el cráter secundario "El Paisita", ubicado al norte del cono activo.

La actividad mas representativa del volcán Doña Juana se asocia con procesos de fracturamiento de material cortical, resaltándose el 23 de enero, por la ocurrencia de un enjambre de alrededor de 61 sismos de este tipo, localizados aproximadamente a 7 km al NE del volcán y a profundidades entre 6 y 8 km. Las magnitudes fueron menores de 3.1 en la escala de Richter.

Para el volcán Azufral, la actividad se mantuvo en niveles bajos, registrando eventos sísmicos asociados tanto con procesos de dinámica de fluidos como con fracturamiento de material cortical. Se resalta en el mes de marzo los cambios observados en parámetros registrados en superficie como el incremento en los valores de temperatura medidos hacia el sector de los domos y hacia el sector nororiental de la laguna Verde (donde, en el 2010, ocurrió la salida de material hidrotermal), es importante destacar que estas altas temperaturas se presentan esencialmente en inmediaciones de la salida de material y la orilla de la Laguna Verde, adicionalmente, se observó un notable incremento en el nivel del agua de la Laguna Verde

En el volcán Cumbal, la sismicidad más recurrente es aquella asociada con el movimiento de fluidos de fuente transitoria

Con base en el análisis de la información de los volcanes Doña Juana, Azufral y Cumbal, en el primer semestre del 2011, estos se consideran en Nivel Verde ● (IV), "**Volcán activo y comportamiento estable**".



2. VOLCANES DE NARIÑO

2.1. VOLCÁN GALERAS

2.1.1. Red de vigilancia

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

- Nueve estaciones sismológicas telemétricas de las cuales siete son de corto periodo (2 triaxiales y 5 de componente vertical) y dos 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 tipo punto a punto, con tres repetidoras instaladas en sitios estratégicos. Las estaciones que usan repetidora para el enlace son: Cóndor (repite por Cruz de Amarillo); Calabozo (repite por Bruma); y Nariño-2 (repite por 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.
- Dos sensores acústicos, uno ubicado en el sector occidental, en el sitio de la estación sismológica de corto periodo Calabozo, y otro ubicado en el sitio de la estación sismológica de corto periodo Cráter-2 (Figura 2.1.1, Tabla 2.1.1.).

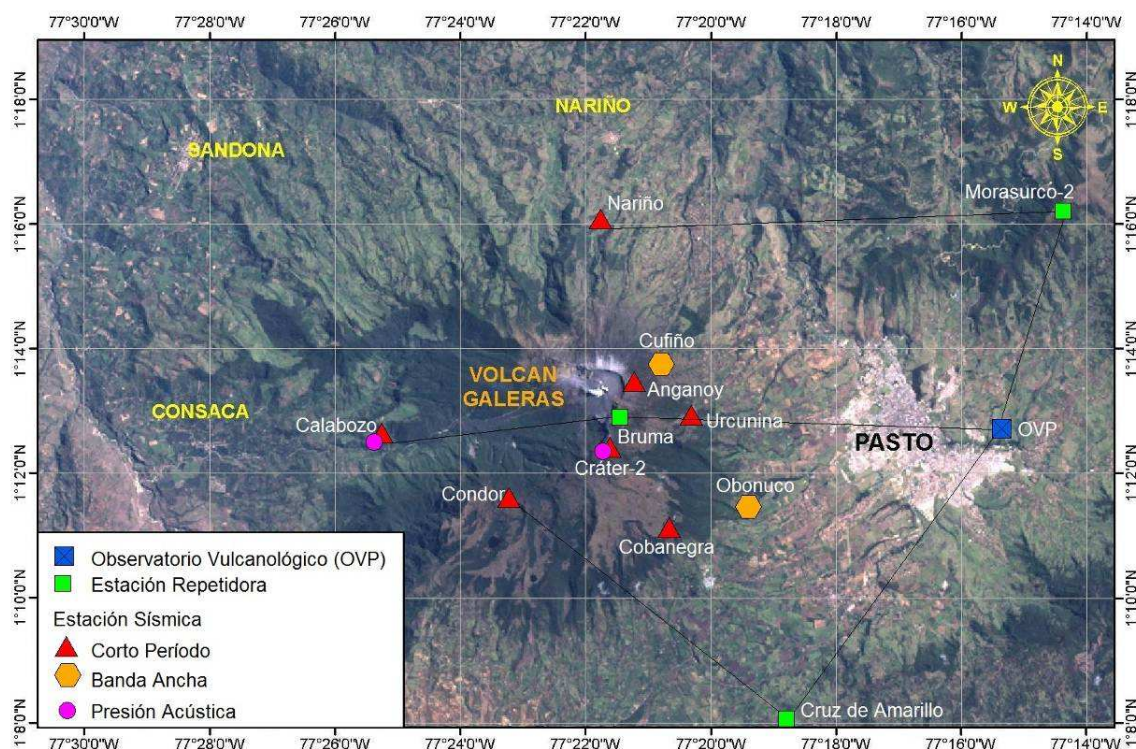


Figura 2.1.1. Mapa de localización de algunas de las estaciones (sismómetros de corto periodo-CP y banda ancha-BA, presión acústica y repetidoras) que conformaron la red de monitoreo de Galeras durante el primer semestre de 2011. En líneas negras se señalan los enlaces que usan repetidoras, los demás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

Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al Cráter (km)	Dirección respecto al Cráter	Altitud (m.s.n.m.)
Anganoy	Análogica	Sismómetro Corto Período	Vertical	0.84	ESE	4170
Cráter-2	Digital	Sismómetro Corto Período	Vertical	1.48	S	4048
Cufiño-BB	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	1.90	ENE	3800
Urcunina	Análogica	Sismómetro Corto Período	Triaxial	2.26	ESE	3494
Cobanegra-3	Análogica	Sismómetro Corto Período	Vertical	3.94	SSE	3625
Condor	Análogica	Sismómetro Corto Período	Vertical	4.86	SW	3985
Obonuco	Digital	Sismómetro Banda Ancha	Triaxial	4.94	SE	3010
Nariño-2	Análogica	Sismómetro Corto Período	Vertical	5.00	NNW	2870
Calabozo	Digital	Sismómetro Corto Período	Triaxial	6.83	SSW	2353
Calabozo-Acústico	Digital	Presión Acústica	Unidireccional	6.83	SSW	2353
Cráter-Acústico	Digital	Presión Acústica	Unidireccional	1.48	S	4048

- Cinco 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 tipo punto-multipunto configurada para todos los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño, exceptuando el inclinómetro Calabozo, que emplea el mismo radio-enlace de la estación sísmica y el sensor acústico.

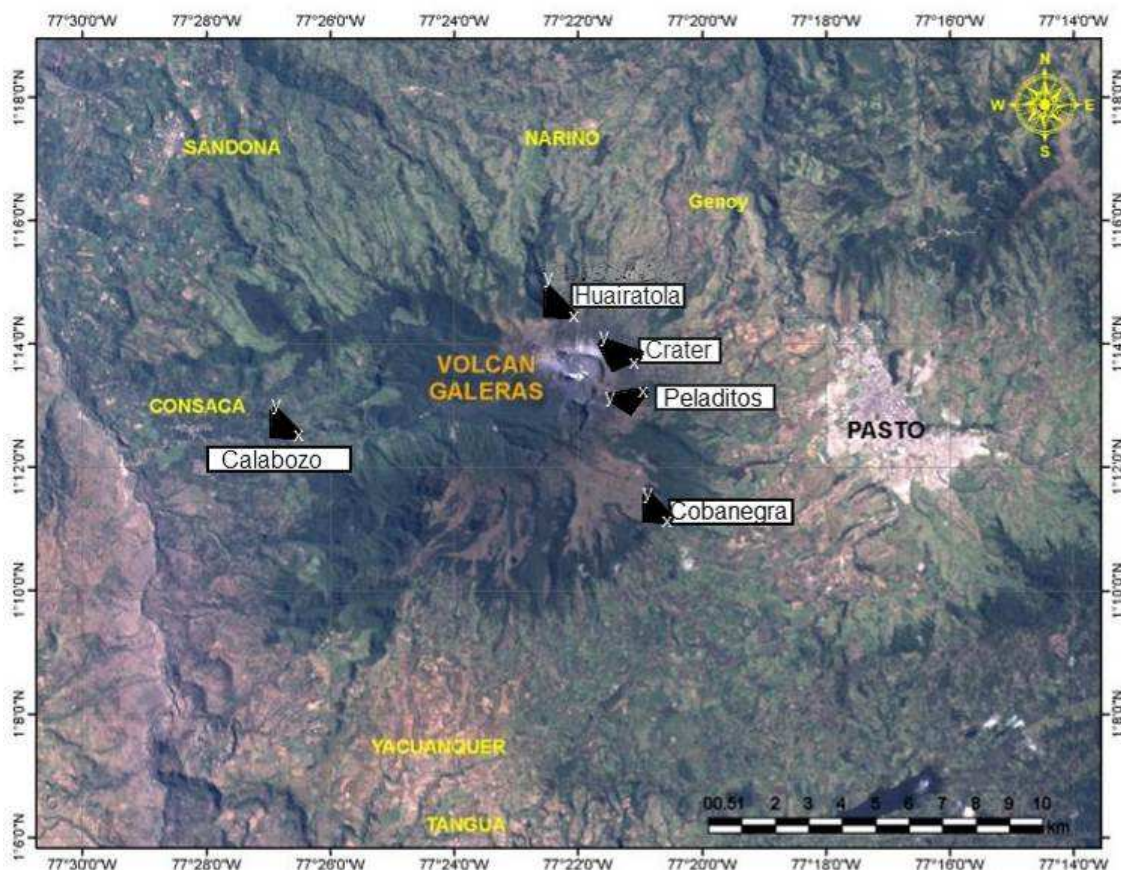


Figura 2 Red para el monitoreo de la deformación volcánica del Galeras, conformada por cinco inclinómetros electrónicos, que funcionaron en el primer semestre de 2011.

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

- 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 mediciones efectuadas recorriendo la vía circunvalar al volcán Galeras.

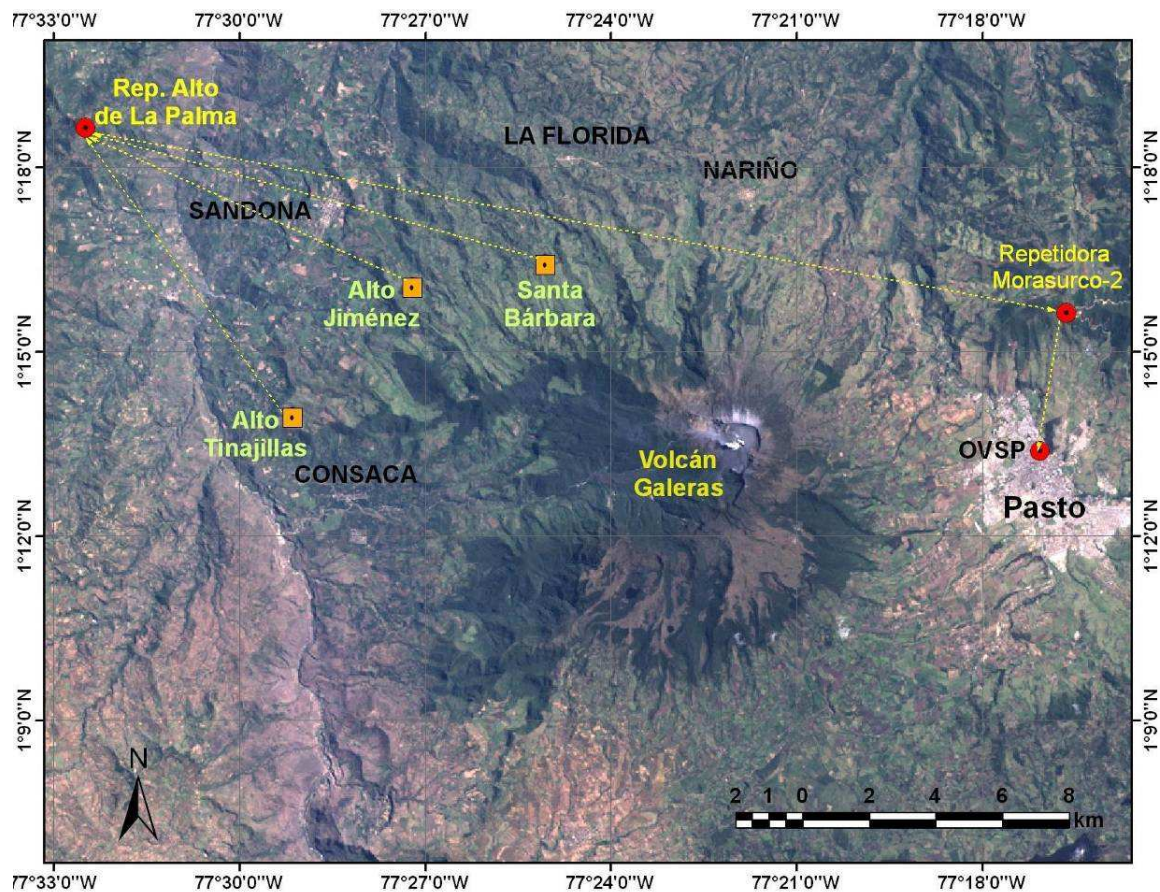


Figura 2.1.3. Mapa de localización de las estaciones telemétricas ScanDOAS del proyecto NOVAC para el monitoreo de emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) en el volcán Galeras, y que funcionaron durante el primer semestre de 2011.

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 primer semestre de 2011.

Estación	Distancia al cráter (km)	ángulo 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.).
- Dos cámaras de video para observación y seguimiento de la actividad superficial, instaladas una en la sede del Observatorio Vulcanológico de Pasto (OVP) y otra en el municipio de Consacá, ubicado en el sector occidental del volcán (Figura 2.1.4.).

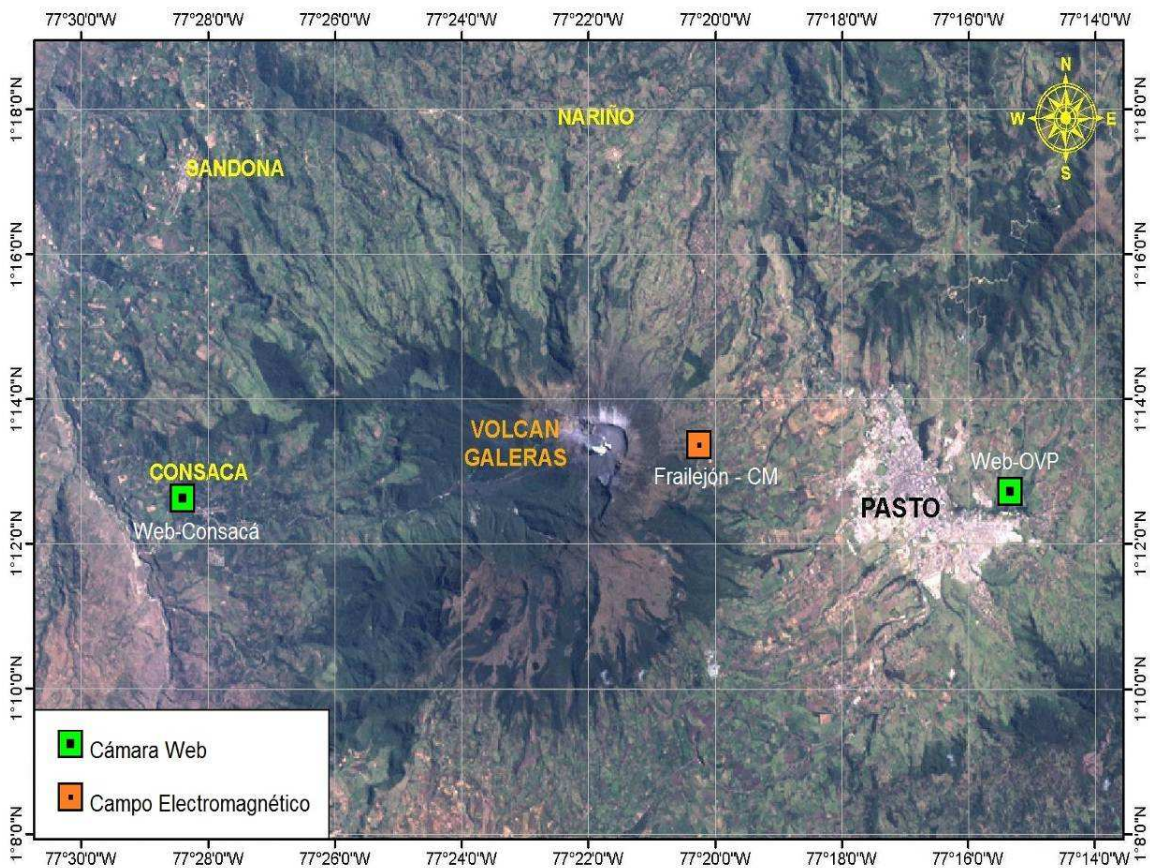


Figura 2.1.4. Mapa de localización de las cámaras web y de la estación para medición de variaciones del campo electromagnético en el volcán Galeras, y que funcionaron durante el primer semestre de 2011. Una de las cámaras se encuentra instalada en la sede del OVP en Pasto y la otra en el municipio de Consacá.

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

Estación	Transmisión de datos	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.).

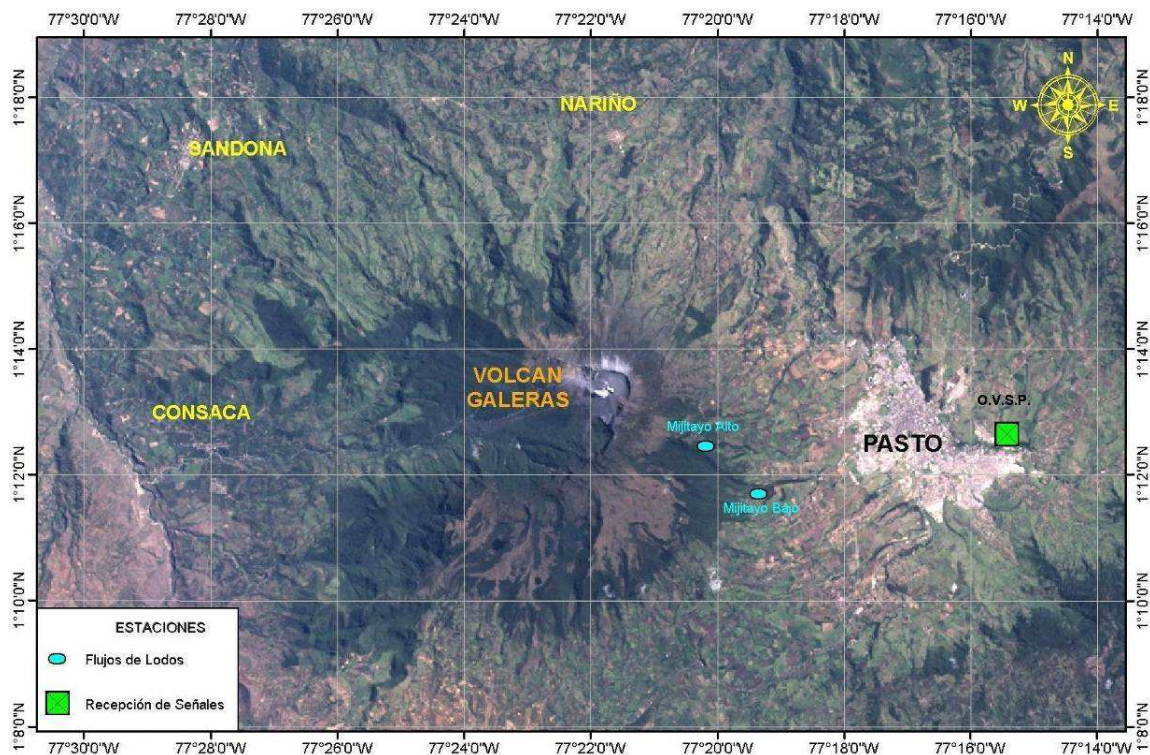


Figura 2.1.5. Mapa de localización de las estaciones para monitoreo de flujos de lodos en la quebrada Mijitayo, que nace en el volcán Galeras; las cuales funcionaron durante el primer semestre de 2011.

- 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 imágenes tomadas con la FLIR.

En este semestre se realizaron 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 81% 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 y monitoreo de flujos de lodos, durante el primer semestre de 2011. Se resalta los porcentajes bajos de funcionamiento en la estación Calabozo, debido a problemas en el radio enlace; en la cámara de Consacá porque se reinstaló en este semestre y presentó algunos problemas de radio enlace; y campo EM Frailejón porque durante los dos primeros meses del año se recibían datos ruidosos, posteriormente se retiró para hacer pruebas de funcionamiento en laboratorio, y al reinstalarse persistieron algunos de los problemas de funcionamiento en los sensores.

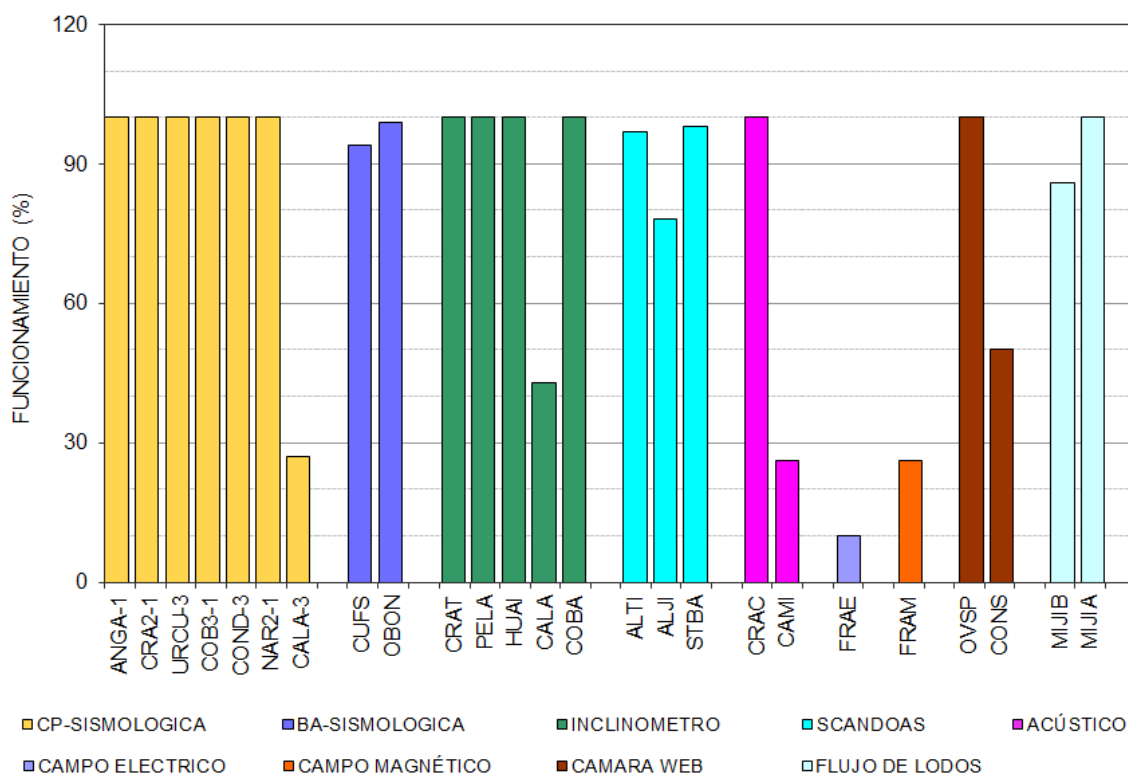


Figura 2.1.6. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2011 (enero a junio), de las estaciones que conformaron las redes de monitoreo del volcán Galeras.

Como se mencionó, durante el primer semestre de 2011, se realizaron los mantenimientos preventivos y correctivos necesarios 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 primer semestre de 2011.

FECHA	ESTACION	DESCRIPCIÓN
Enero	ScanDOAS Alto Jiménez	Durante la última semana del mes no se recibieron datos, por lo tanto, se retiró para revisión el día 26 de enero.
	Web Consacá	El 24 de enero se reinstaló el equipo, con telemetría.
	Frailejón	La estación de electromagnetismo está enviando información, pero la información suministrada por los sensores es errónea. Por la actividad del volcán no ha sido posible revisarla.
Febrero	ScanDOAS Alto Jiménez	El 14 de febrero se reinstaló el equipo.
	Frailejón	La estación de electromagnetismo está enviando información, pero la información suministrada por los sensores es errónea. Por deslizamiento en la vía no ha sido posible revisar la estación.
Marzo	Calabozo	El 22 de marzo se retiraron los equipos de la estación para realizar un nuevo sistema de protección y para realizar un diagnóstico de los equipos en el laboratorio de electrónica.
	Frailejón	El 24 de marzo se retiraron los equipos de medición de campo eléctrico y magnético para realizar pruebas con los sensores en el laboratorio.
Abril	Cufiño Páramo Florida	El 13 de abril se deja de recibir datos de la estación Cufiño y de las que repiten en este sitio (Páramo y Florida), debido a daños ocasionados por una tormenta eléctrica. La señal de la estación Cufiño se restablece el 19 de abril.
	Frailejón	El 18 de abril se reinstalaron los equipos de la estación para medición de campo eléctrico y magnético. Se tuvieron problemas en el sistema de adquisición de las señales que llegan al OVP digitalizadas.
Mayo	Repetidora Alto de la Palma	Tormenta eléctrica ocurrida el 21 de mayo causó daño en el radio-modem instalado en la repetidora, generando pérdida de la señal en las tres estaciones ScanDOAS. La señal de las estaciones se restableció el 25 de mayo. Se tuvieron problemas en el sistema de adquisición de las señales que llegan digitalizadas, por daño en los puertos seriales del computador.
Junio	Frailejón	El 14 de junio se restableció la señal y los sensores quedaron funcionando bien.
	Mijitayo Bajo	Se retira el equipo para hacer revisión y pruebas en el laboratorio de electrónica.
	Repetidora Bruma	Se instala esta repetidora, trasladando los equipos de repetición de la estación Calabozo y de la cámara Web.

2.1.2. Sismología

El primer semestre de 2011, se caracterizó por presentar bajas tasas de ocurrencia de los diferentes tipos de sismos (Figuras 2.1.7. y 2.1.8.). En comparación con el segundo semestre de 2010, para este semestre se notó un marcado descenso en el número de sismos, pues no se alcanzó a registrar ni la mitad del número de eventos volcánicos del semestre anterior, debido a que en éste no se registraron enjambres de sismos asociados con erupciones. La disminución en número es mucho más evidente para los sismos de fractura - VT y para los sismos de tipo híbrido - HYB (Tabla 2.1.6, Figura 2.1.9.). Los mayores niveles de ocurrencia se dieron en los primeros tres meses de 2011, siendo el mayor aporte para febrero con 887 sismos, seguido por enero con 850 y marzo con 814 sismos; entre abril y junio se nota una marcada disminución en la ocurrencia sísmica (Figura 2.1.8, Tabla 2.1.7.).

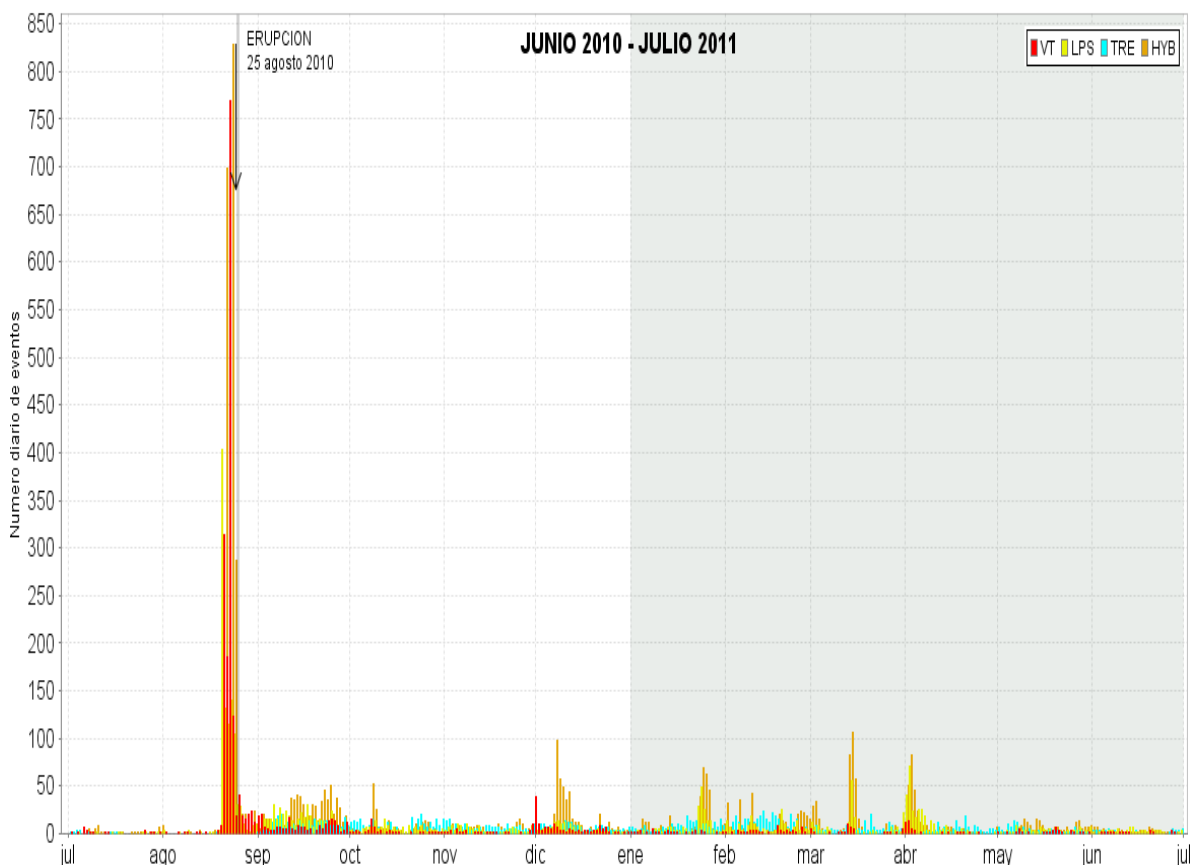


Figura 2.1.7. Número diario de sismos volcánicos por tipo, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado.

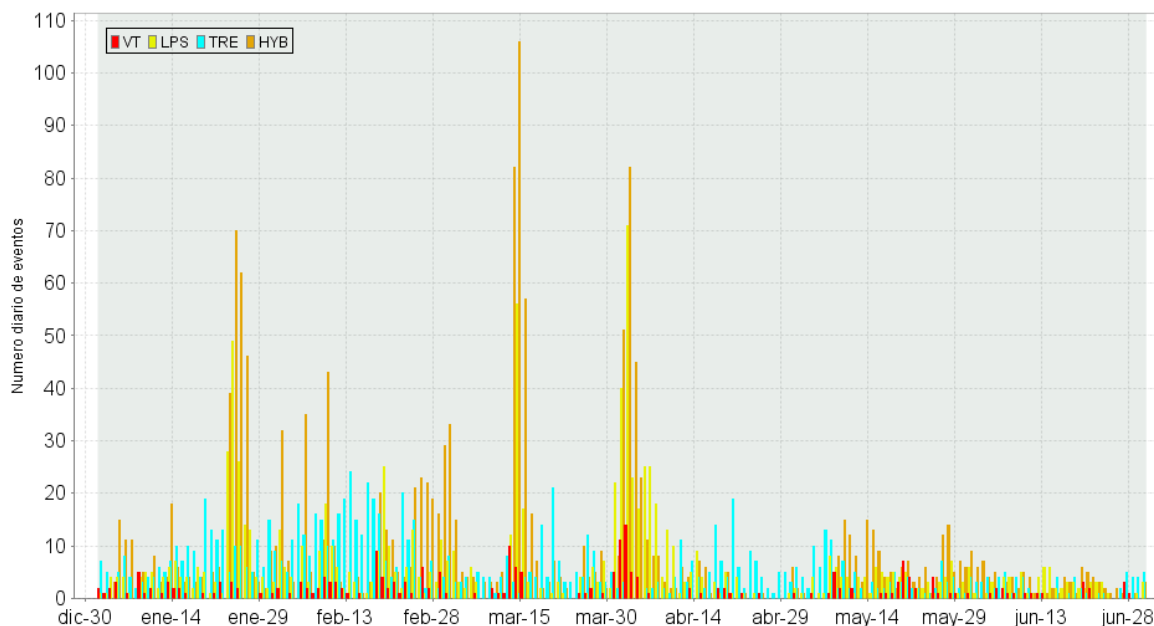


Figura 2.1.8. Número diario de eventos volcánicos por tipo, primer semestre de 2011.

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

TIPO DE SISMO	Semestre II de 2010	Semestre I de 2011
Largo Periodo (LPS)	1.870	1.028
Híbrido (HYB)	4.112	1.651
Volcano-Tectónico (VT)	2.069	240
Tremor (TRE)	1.085	1.052
TOTAL	9.136	3.971

Tabla 2.1.7. Número de sismos volcánicos por tipo, registrados en los meses indicados.

Mes	VT	LPS	TRE	HYB	Total
Enero 2011	38	217	233	362	850
Febrero 2011	56	177	334	320	887
Marzo 2011	42	182	160	430	814
Abril 2011	45	285	137	276	743
Mayo 2011	39	102	121	182	444
Junio 2011	20	65	67	81	233

El mayor aporte en la ocurrencia sísmica provino de los eventos de tipo híbrido – HYB con un 42% del total de sismos del semestre, seguido de un aporte de 26 % para los sismos asociados con tránsito de fluidos LPS y TRE, la menor ocurrencia fue para los sismos de fractura - VT con un 6%; en comparación con el anterior semestre, se nota que la mayor disminución en ocurrencia se dio para los eventos VT con un 88%, o sea se registró apenas un 12% del número de sismos VT registrados en el semestre anterior (Figura 2.1.9.). Teniendo en cuenta el total de sismos volcánicos, en el primer semestre de 2011 solamente se registra el 43% del número registrado en el semestre anterior.

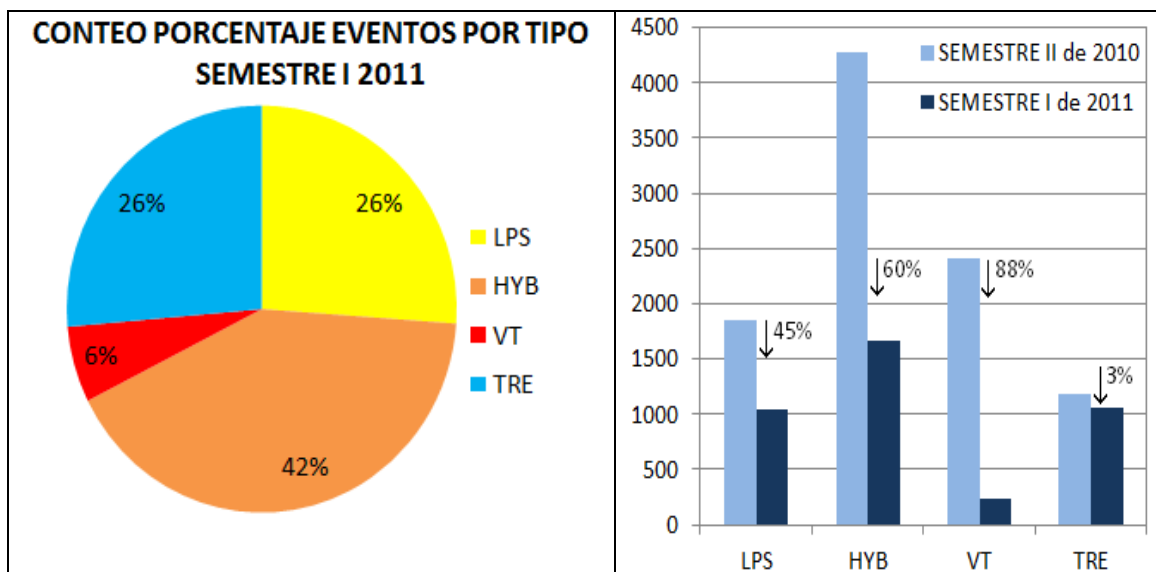


Figura 2.1.9. Relaciones porcentuales de ocurrencia sísmica para el primer semestre de 2011 y comparación de la ocurrencia sísmica con el semestre anterior, por tipo de sismos volcánicos.

En cuanto a la energía liberada, el descenso de los valores de la energía de los sismos volcánicos fue bastante grande, debido a los niveles energéticos alcanzados por la erupción del 25 de agosto de 2010, los cuales no se alcanzaron en este semestre, lo cual es especialmente notable para los sismos VT (Figuras 2.1.10. y 2.1.12, Tabla 2.1.8.).

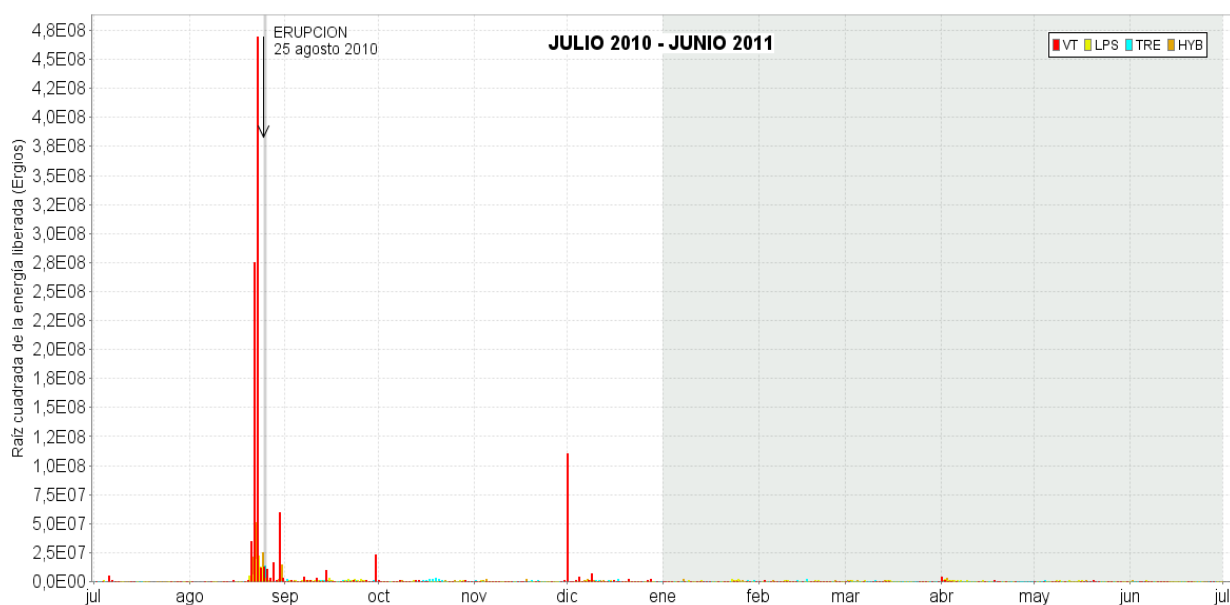


Figura 2.1.10. Energía liberada diaria, en términos de su raíz cuadrada, de sismos volcánicos por tipo, de julio de 2010 a junio de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

En el primer semestre de 2011 se tuvo niveles de energía bajos, habiéndose obtenido el pico energético en el mes de abril con un valor total de $3.44E+13$ erg, principalmente por la liberación

energética de los eventos VT de abril con un valor de energía de $1.53E+13$ erg (Figura 2.1.11, Tabla 2.1.9.).

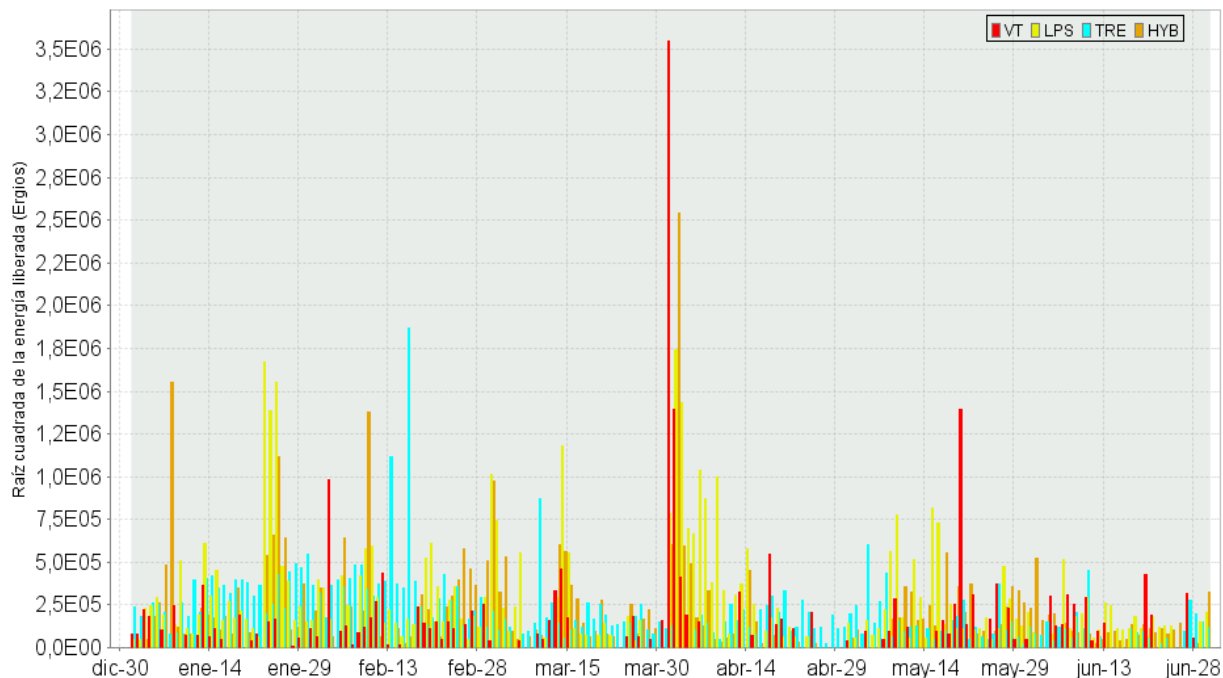


Figura 2.1.11. Energía liberada diaria, en términos de su raíz cuadrada, de sismos volcánicos por tipo, primer semestre de 2011.

El mayor aporte energético del semestre provino de los eventos de tipo LP con un 34% del total de la energía del semestre, seguido de un aporte de 25% y 24% para los sismos de tipo HYB y VT, el menor aporte energético fue de los sismos de tipo TRE con un 17%; en comparación con el anterior semestre, se nota que la mayor disminución energética se dio para los eventos VT pues solamente se registró apenas un 0.007% del número de sismos VT registrados en el semestre anterior (Figura 2.1.12.). En cuanto a la energía total del semestre, se registro solamente el 0.03% del valor registrado en el semestre anterior.

Tabla 2.1.8. Energía liberada de sismos volcánicos por tipo, registrada en los semestres indicados.

TIPO DE SISMO	Semestre II de 2010	Semestre I de 2011
Largo Periodo (LPS)	$1.10E+15$	$3.03E+13$
Híbrido (HYB)	$4.06E+15$	$2.23E+13$
Volcano-Tectónico (VT)	$3.14E+17$	$2.10E+13$
Tremor (TRE)	$2.44E+14$	$1.50E+13$
TOTAL	$3.19E+17$	$8.86E+13$

Tabla 2.1.9. Energía de sismos volcánicos por tipo, registrada en los meses indicados.

Mes	VT	LPS	TRE	HYB	Total
Enero 2011	4.34E+11	9.06E+12	3.37E+12	5.68E+12	1.86E+13
Febrero 2011	1.52E+12	2.77E+12	7.56E+12	3.77E+12	1.56E+13
Marzo 2011	5.21E+11	3.99E+12	1.51E+12	2.81E+12	8.83E+12
Abril 2011	1.53E+13	1.05E+13	8.57E+11	7.85E+12	3.44E+13
Mayo 2011	2.51E+12	3.17E+12	1.20E+12	1.52E+12	8.41E+12
Junio 2011	7.28E+11	8.14E+11	5.28E+11	6.63E+11	2.73E+12

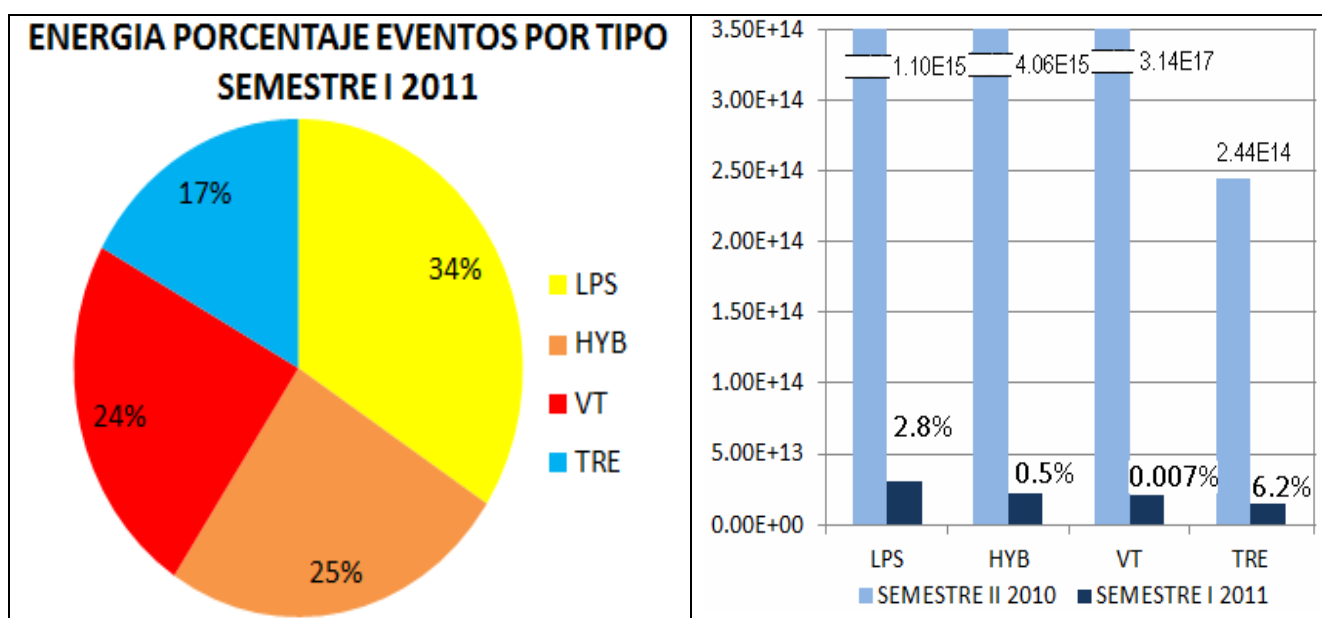


Figura 2.1.12. Relaciones porcentuales de energía sísmica para el primer semestre de 2011 y comparación de la energía sísmica con el semestre anterior, por tipo de sismos volcánicos.

En las figuras 2.1.13 a 2.1.44. se muestra la evolución temporal del comportamiento de la ocurrencia y la energía de los sismos volcánicos de Galeras por tipo de sismo, con sus respectivos acumulados, para el primer semestre de 2011 y en comparación con el semestre anterior.

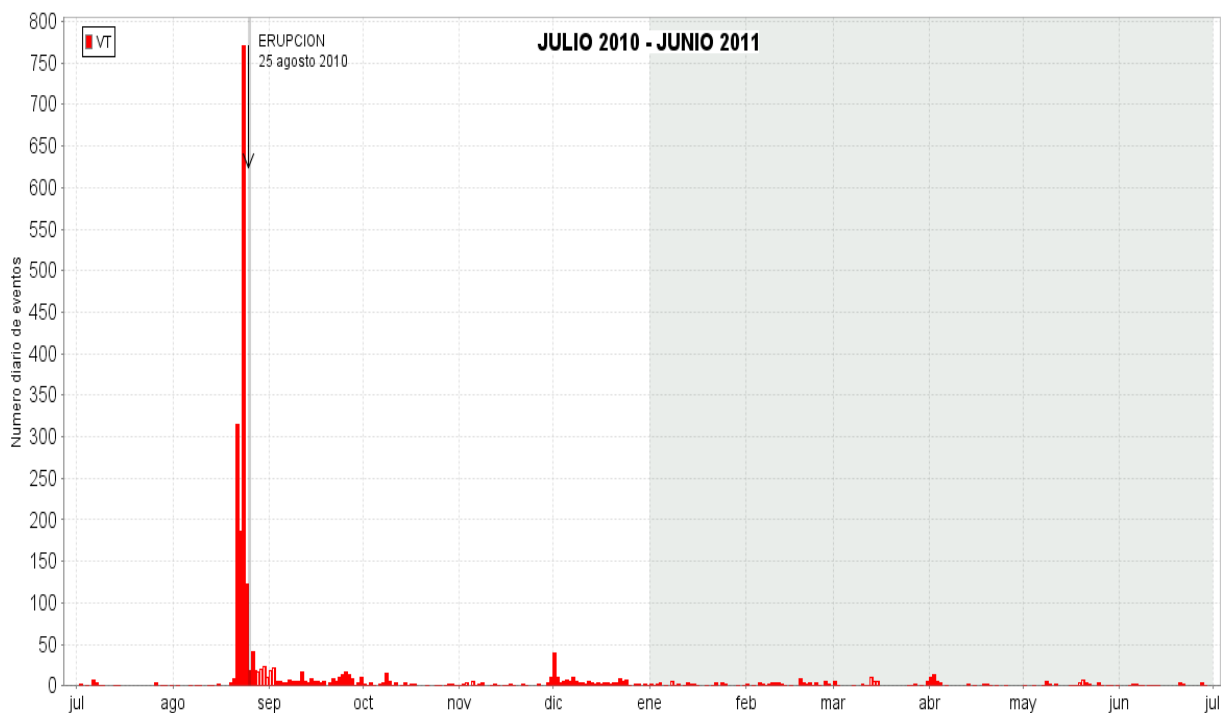


Figura 2.1.13. Número diario de sismos VT, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

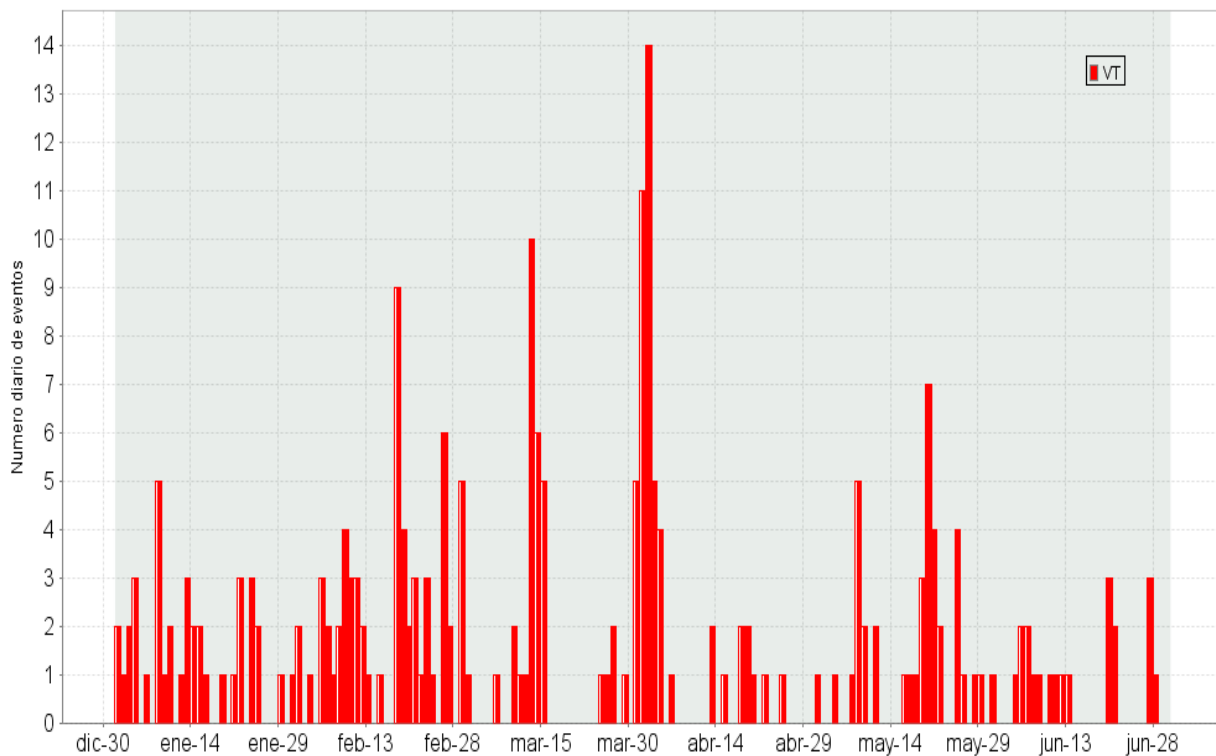


Figura 2.1.14. Número diario de sismos VT, primer semestre de 2011

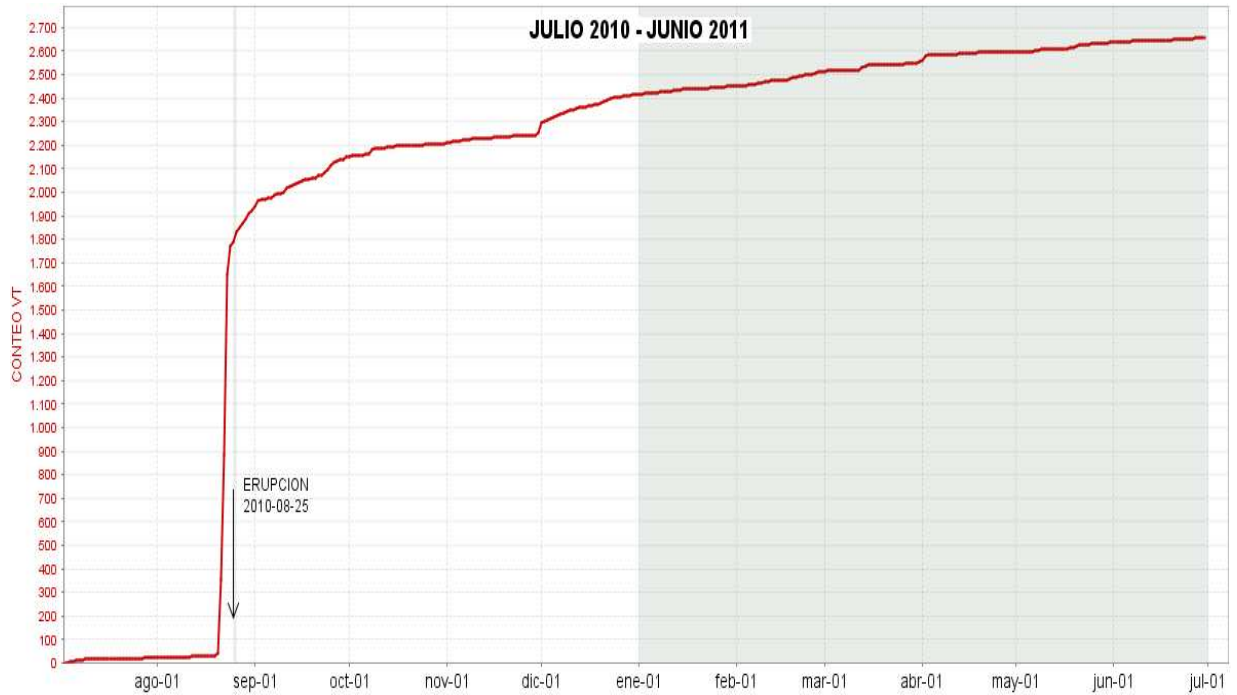


Figura 2.1.15. Conteo acumulado de sismos VT, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

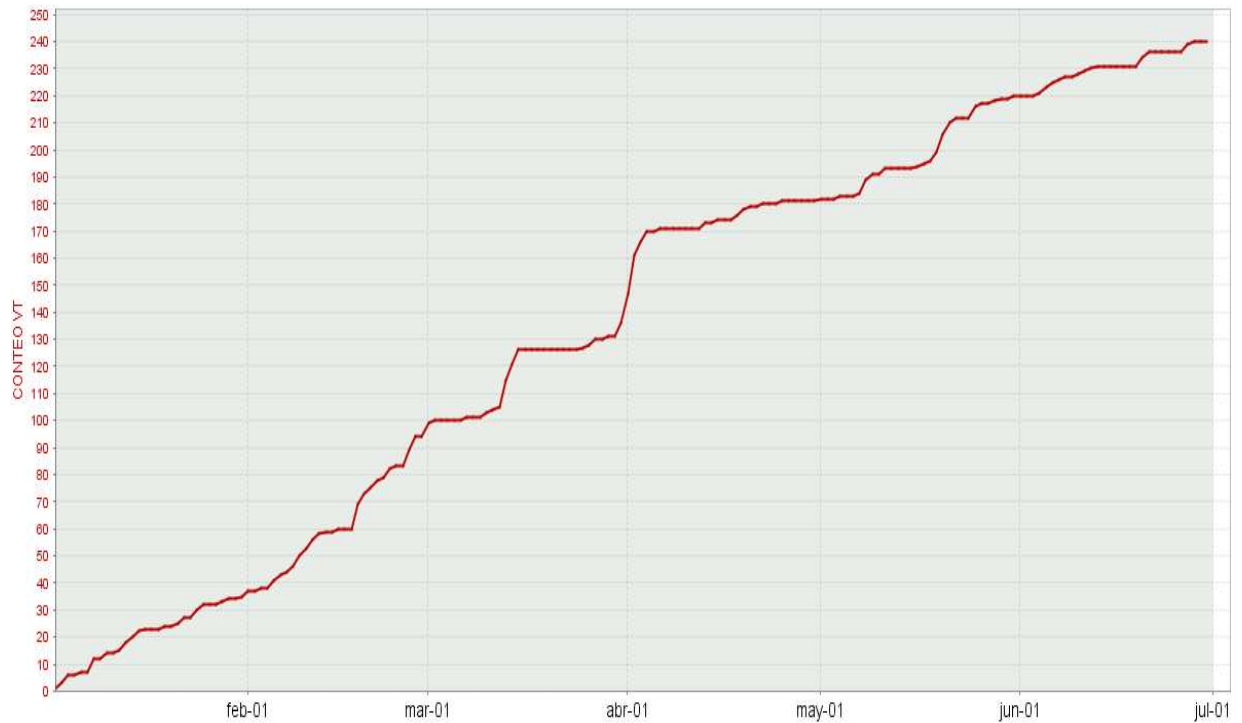


Figura 2.1.16. Conteo acumulado de sismos VT, primer semestre de 2011

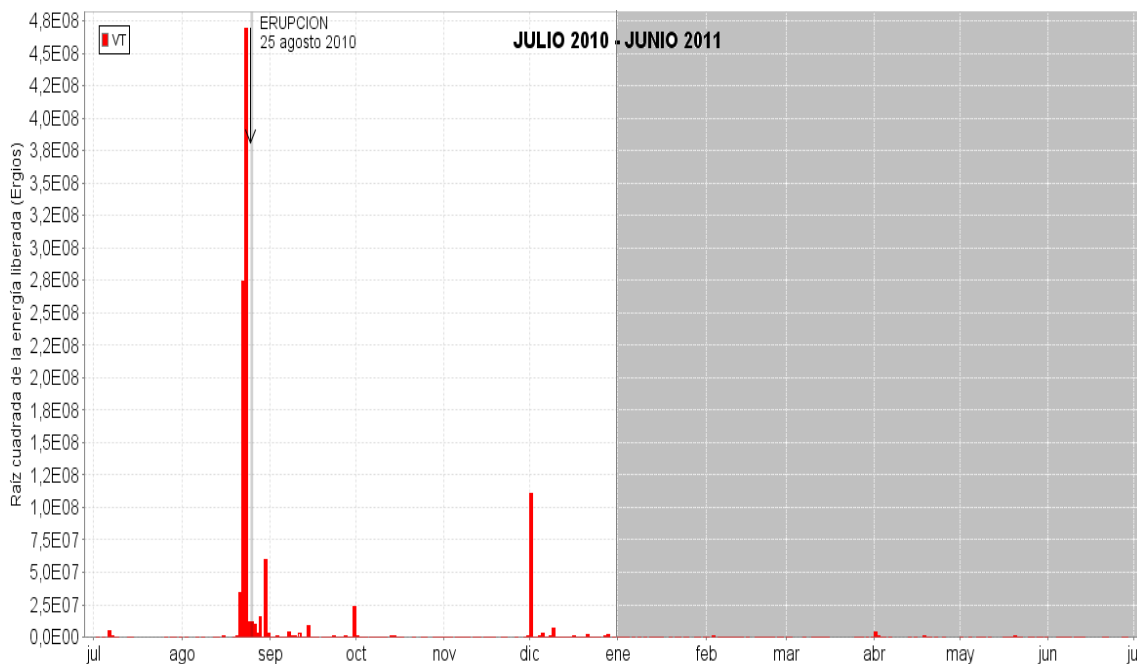


Figura 2.1.17. Energía diaria liberada de sismos VT, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

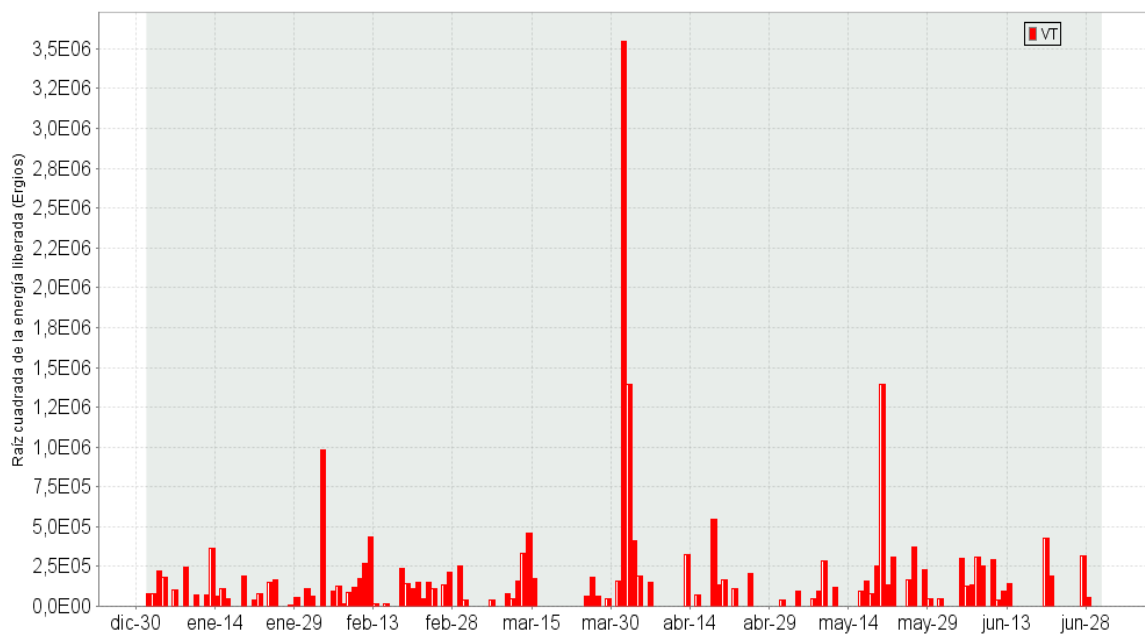


Figura 2.1.18. Energía diaria liberada de sismos VT, primer semestre de 2011

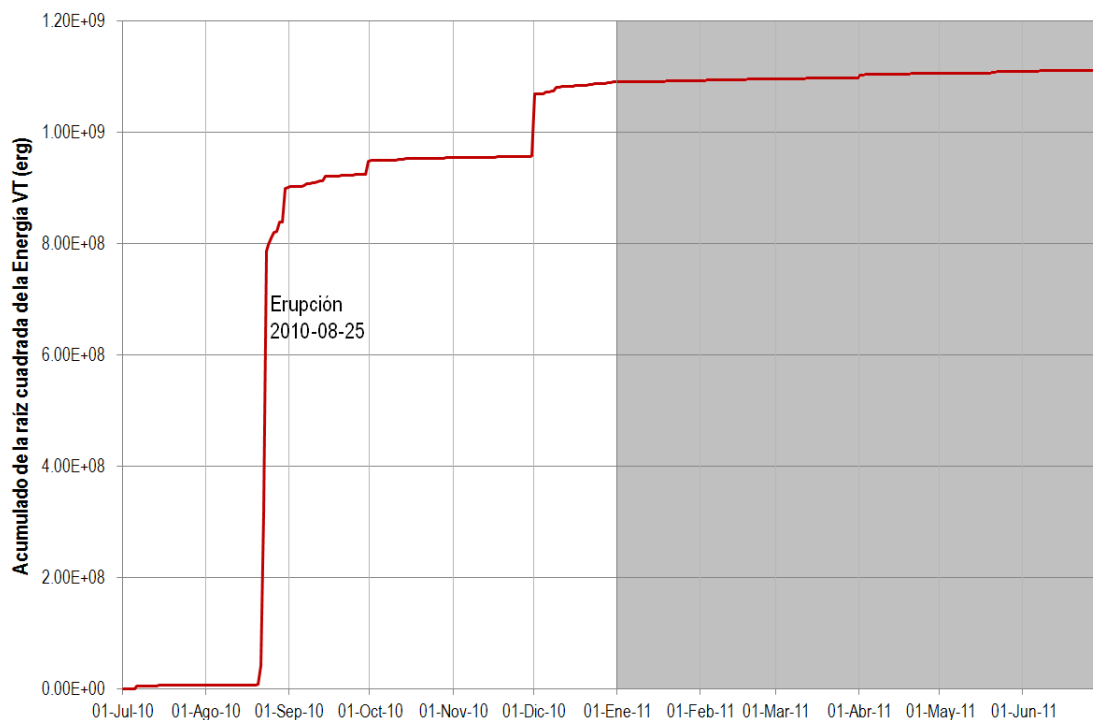


Figura 2.1.19. Energía acumulada de sismos VT, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

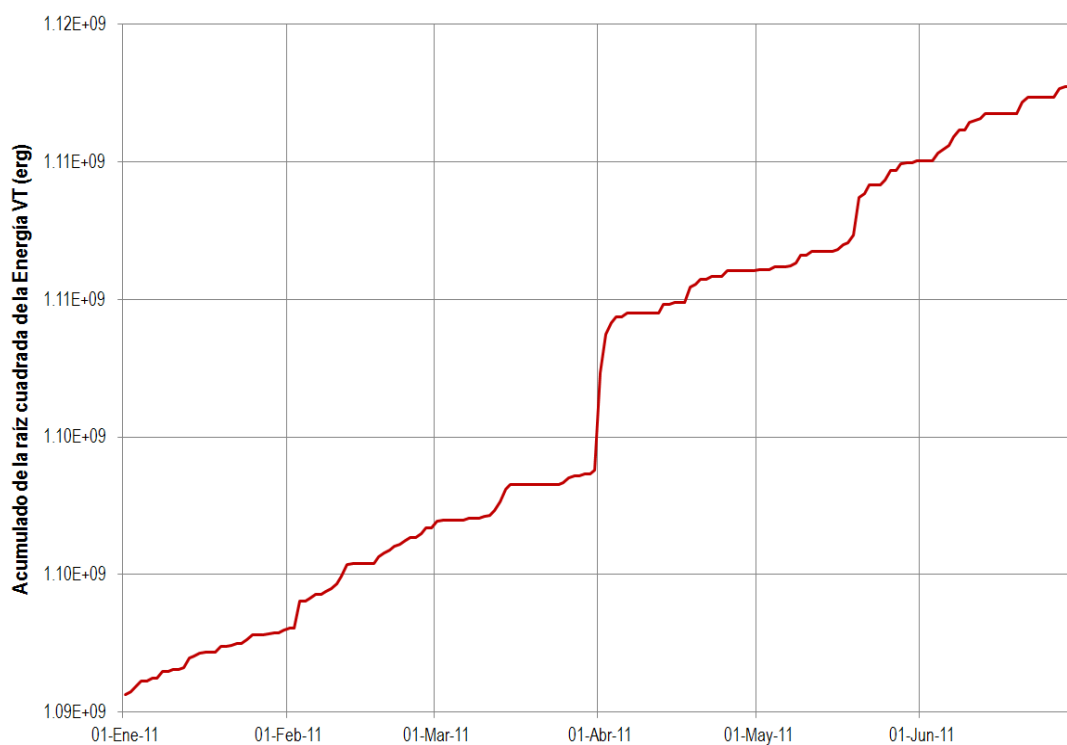


Figura 2.1.20. Energía acumulada de sismos VT, primer semestre de 2011

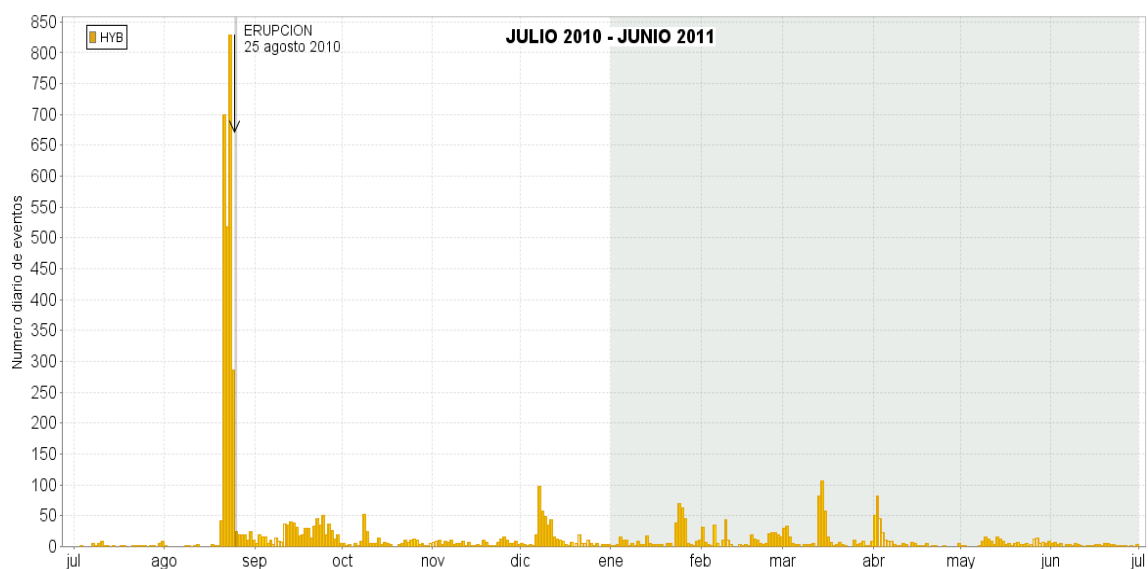


Figura 2.1.21. Número diario de sismos HYB, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

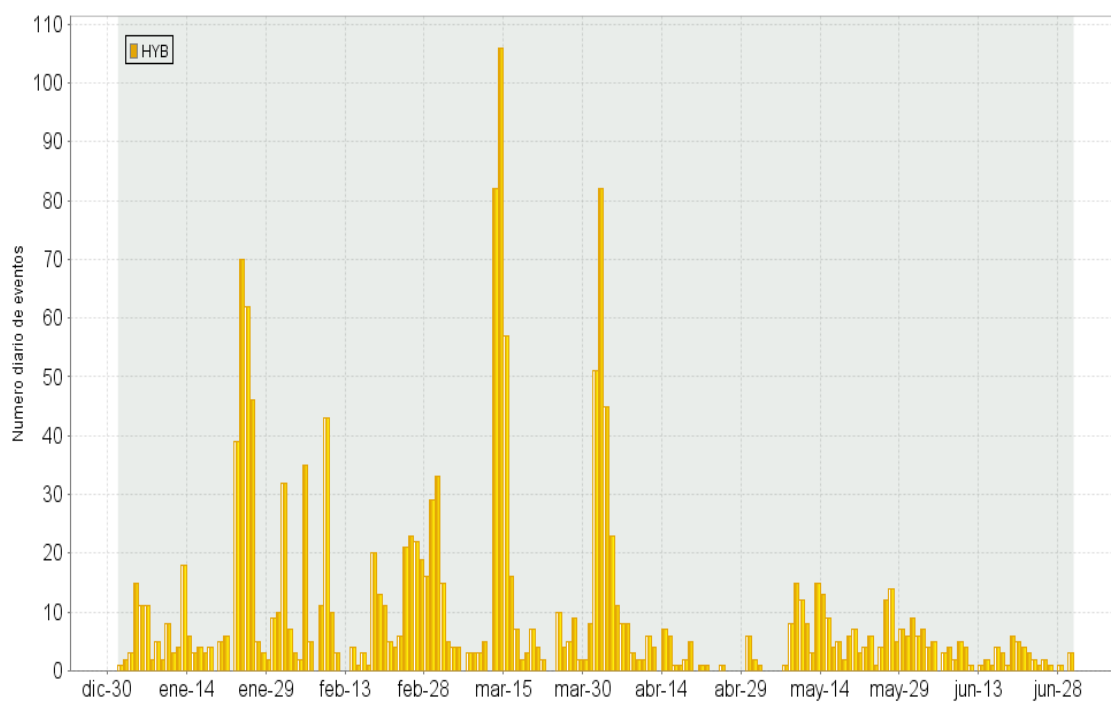


Figura 2.1.22. Número diario de sismos HYB, primer semestre de 2011

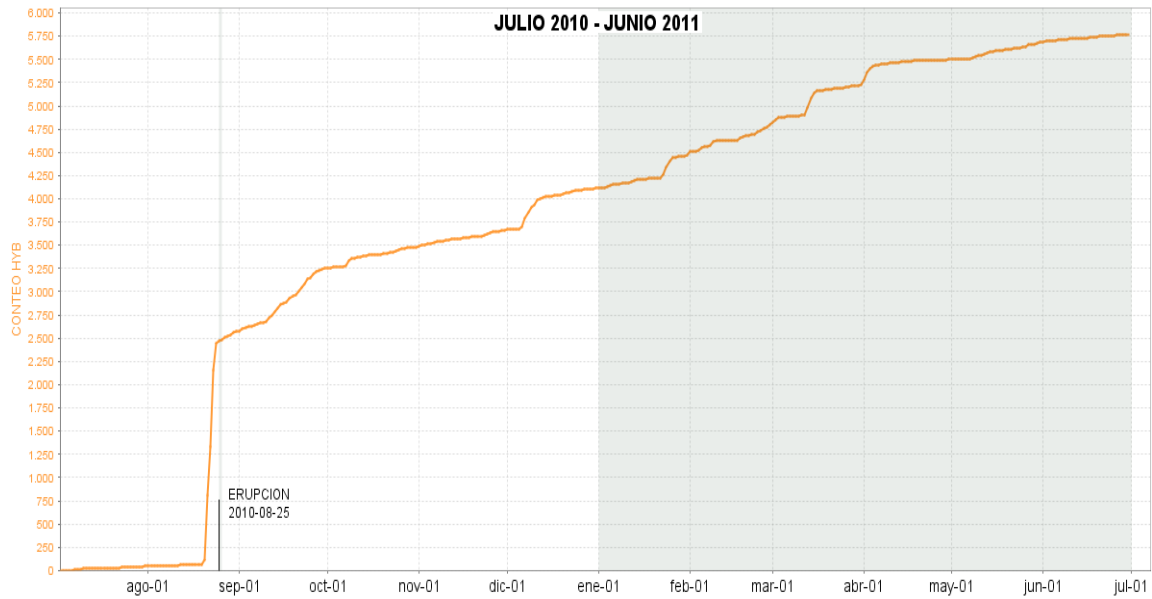


Figura 2.1.23. Conteo acumulado de sismos HYB, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

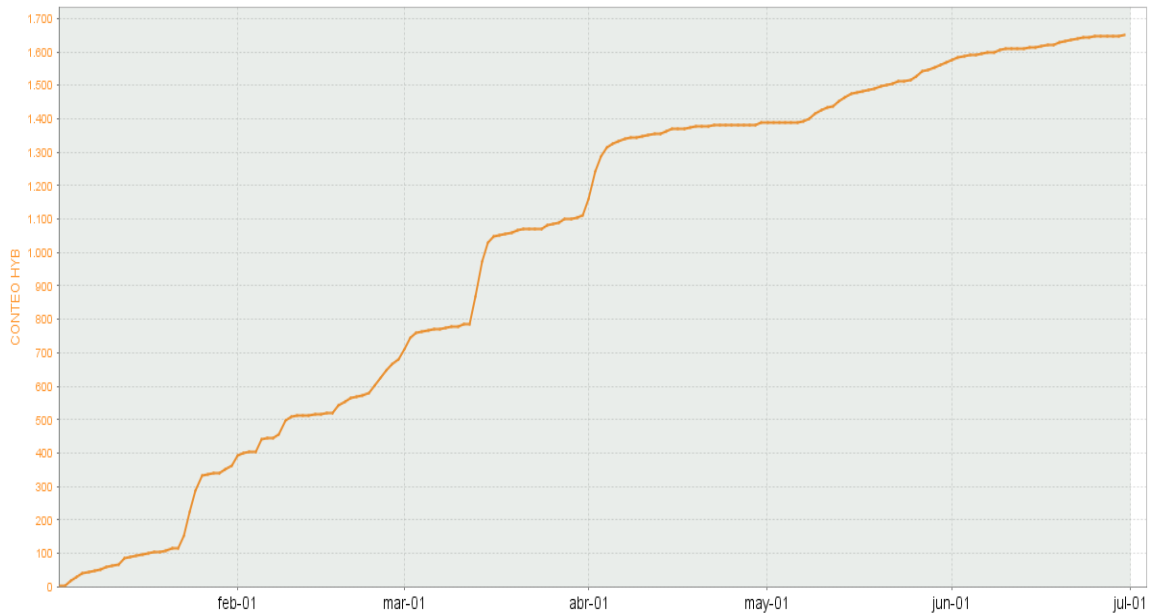


Figura 2.1.24. Conteo acumulado de sismos HYB, primer semestre de 2011

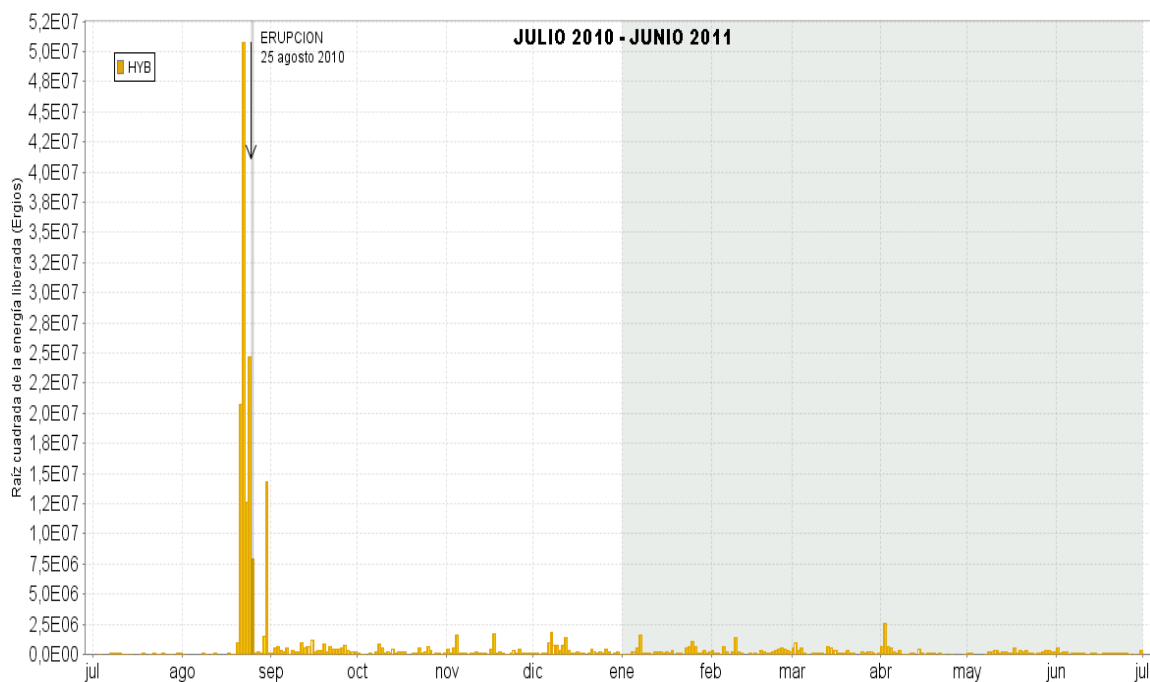


Figura 2.1.25. Energía diaria liberada de sismos HYB, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

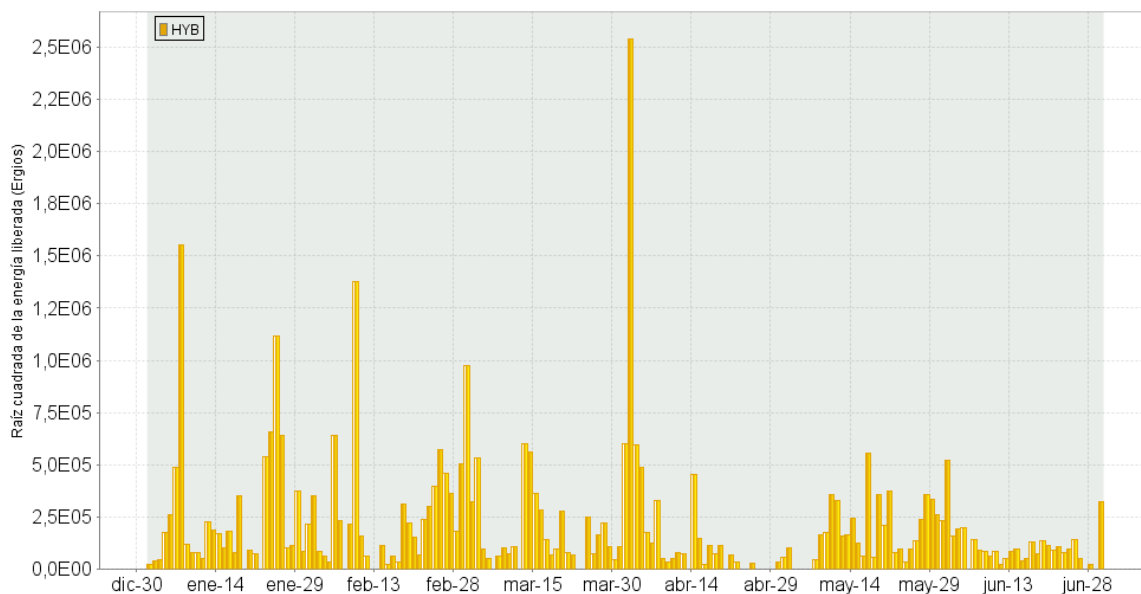


Figura 2.1.26. Energía diaria liberada de sismos HYB, primer semestre de 2011

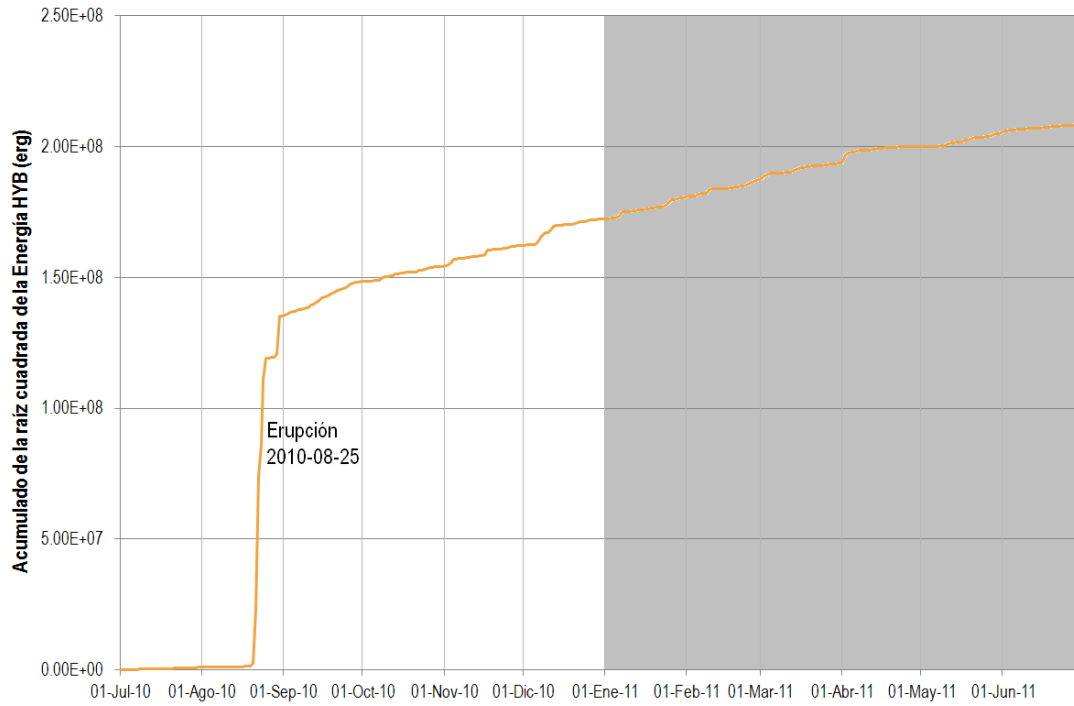


Figura 2.1.27. Energía acumulada de sismos HYB, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

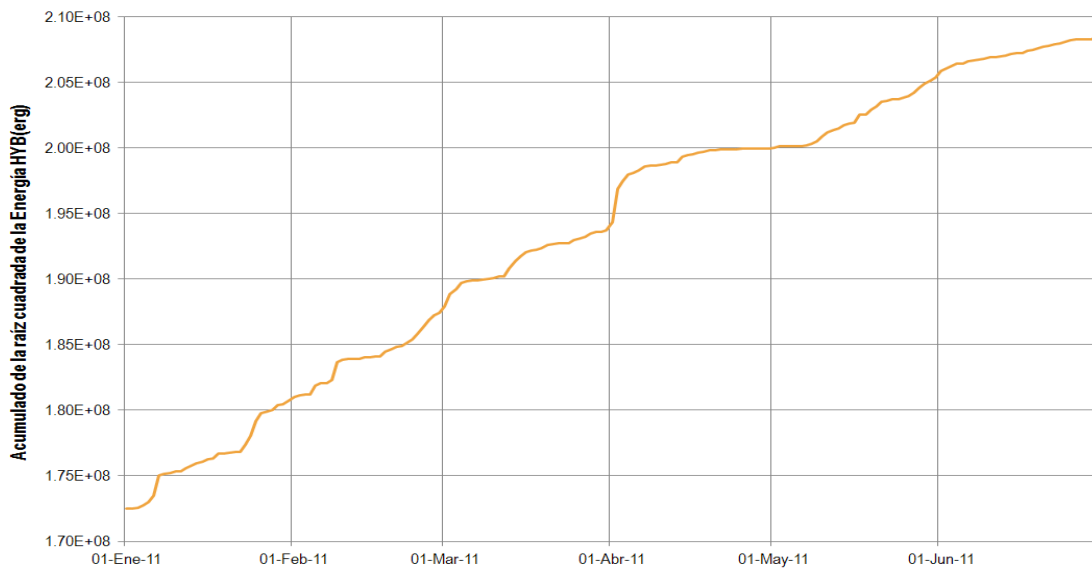


Figura 2.1.28. Energía acumulada de sismos HYB, primer semestre de 2011

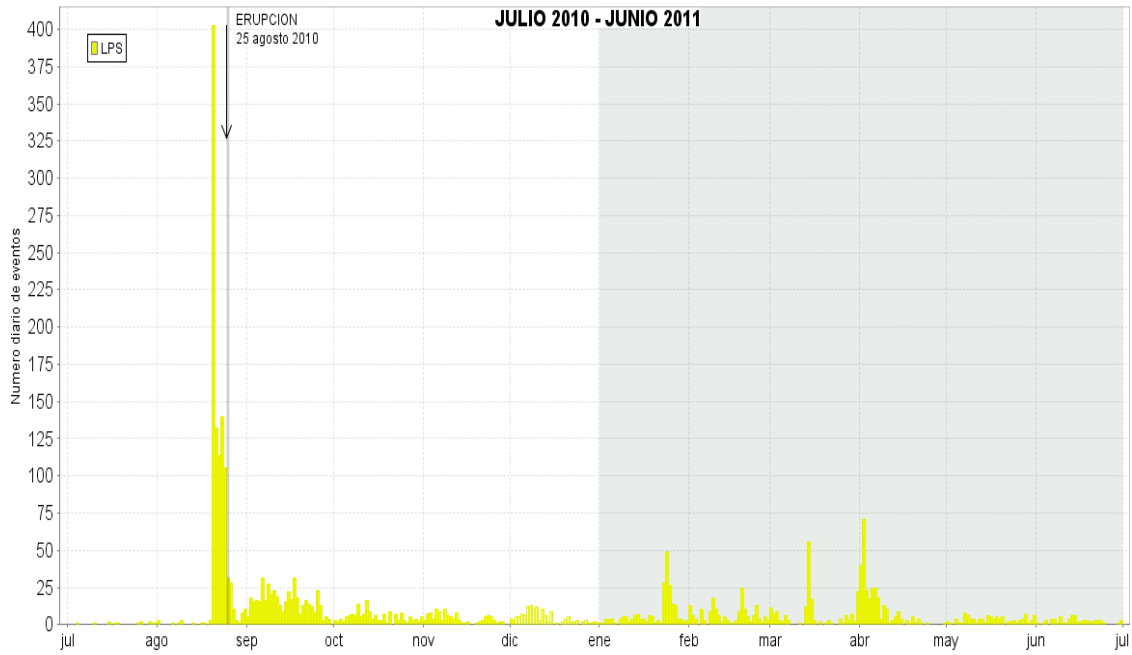


Figura 2.1.29. Número diario de sismos LPS, de julio de 2010 a junio de 2011.

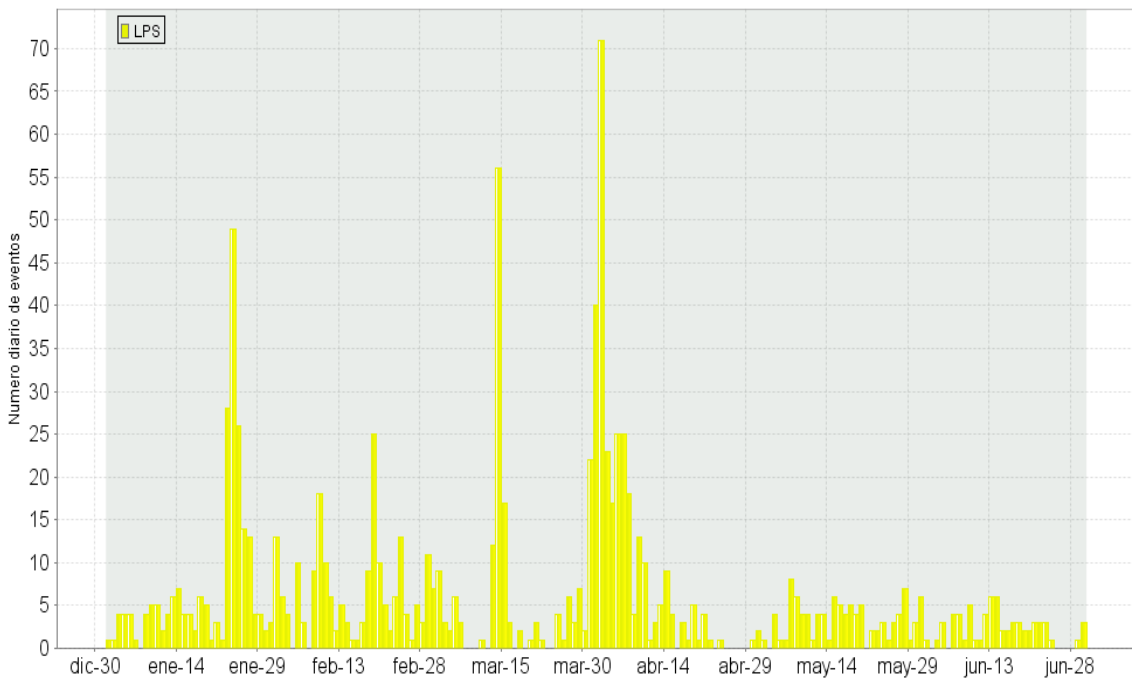


Figura 2.1.30. Número diario de sismos LPS, primer semestre de 2011

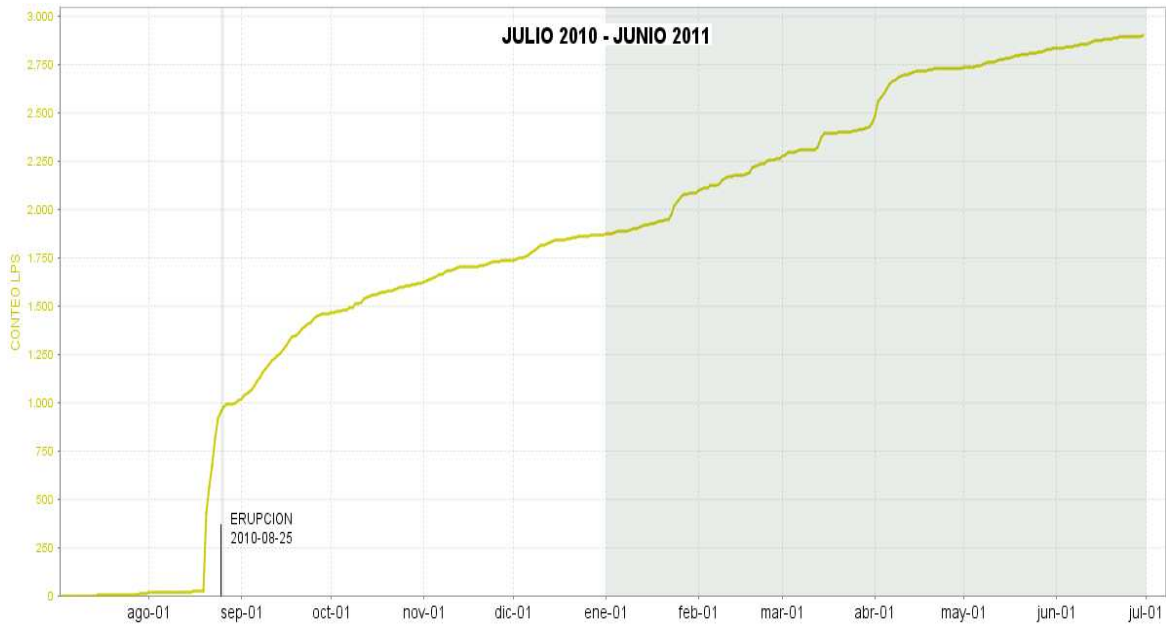


Figura 2.1.31. Conteo acumulado de sismos LPS, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

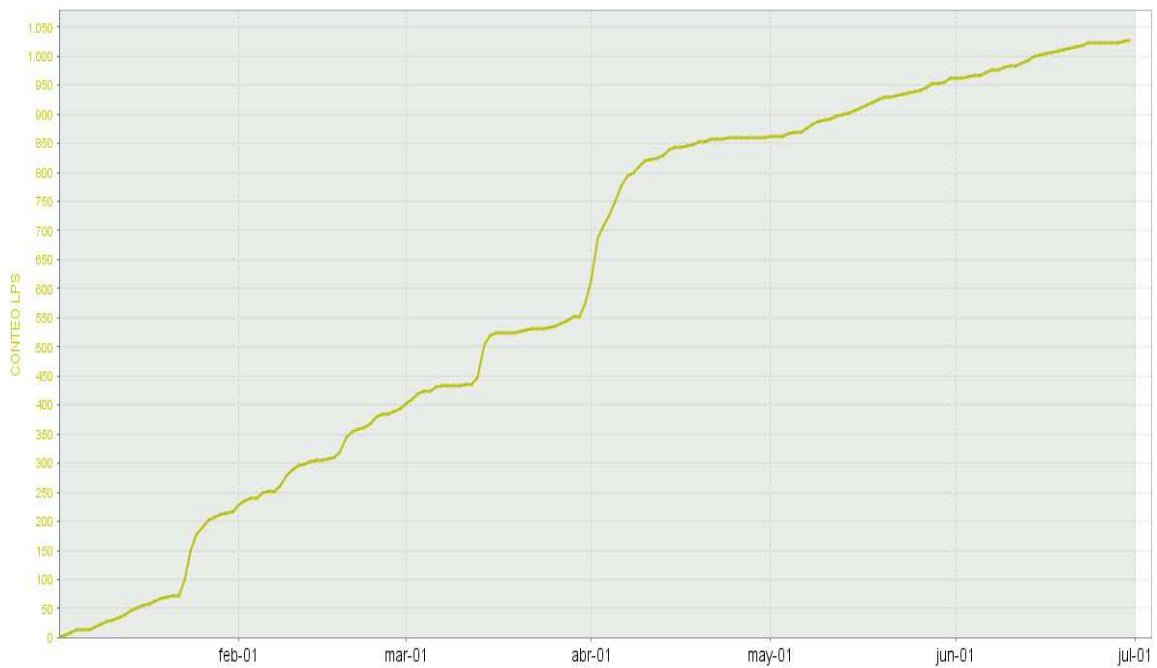


Figura 2.1.32. Conteo acumulado de sismos LPS, primer semestre de 2011

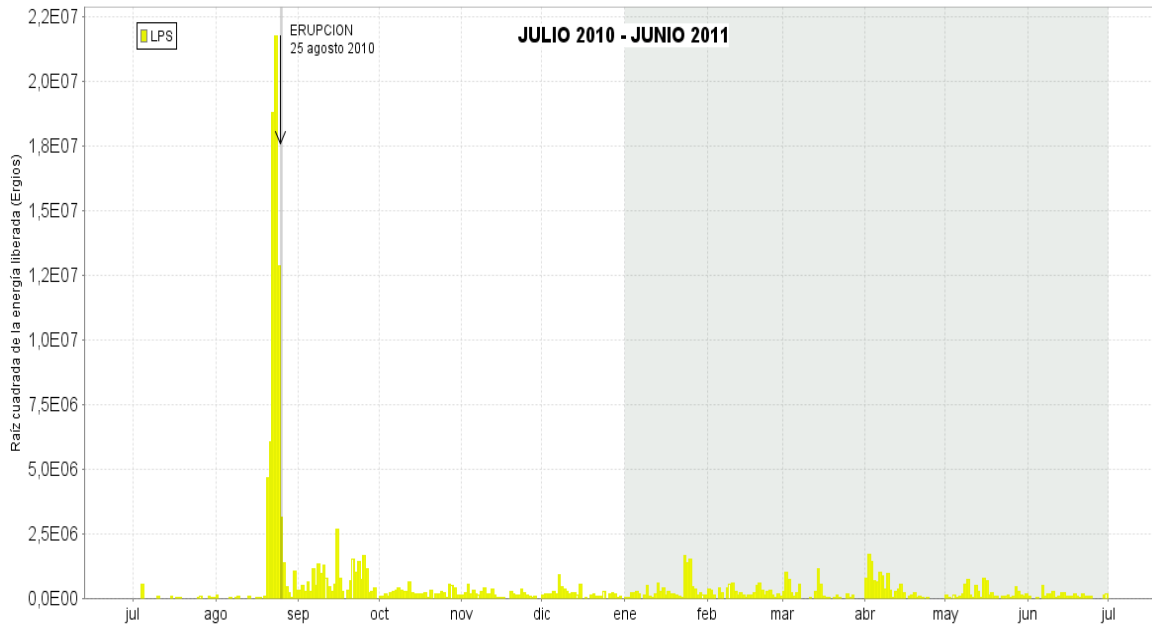


Figura 2.1.33. Energía diaria liberada de sismos LPS, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

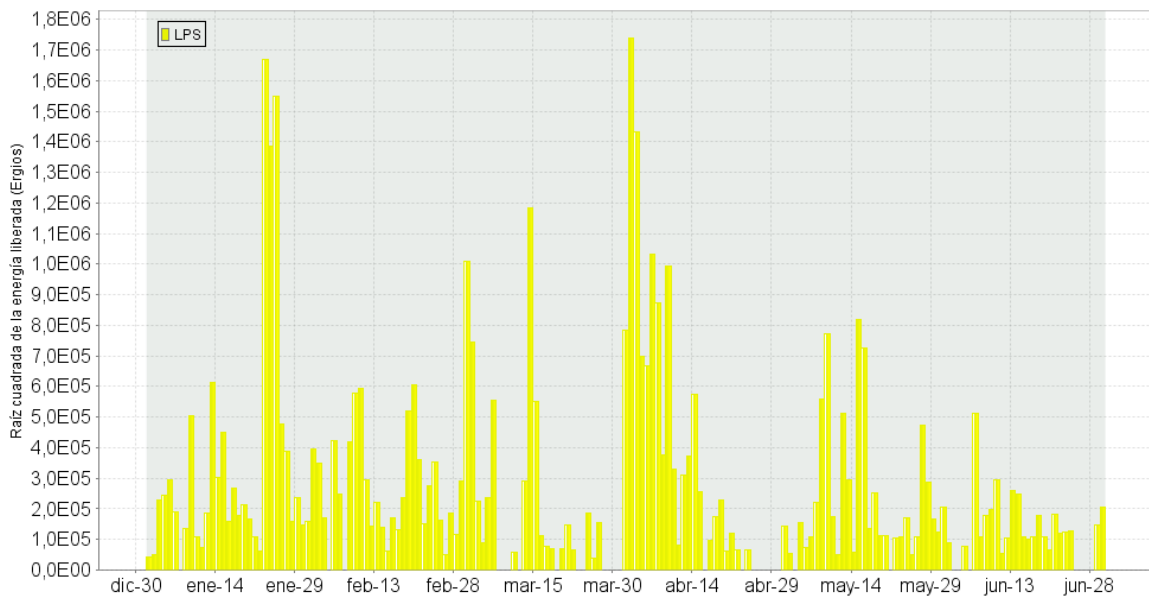


Figura 2.1.34. Energía diaria liberada de sismos LPS, primer semestre de 2011

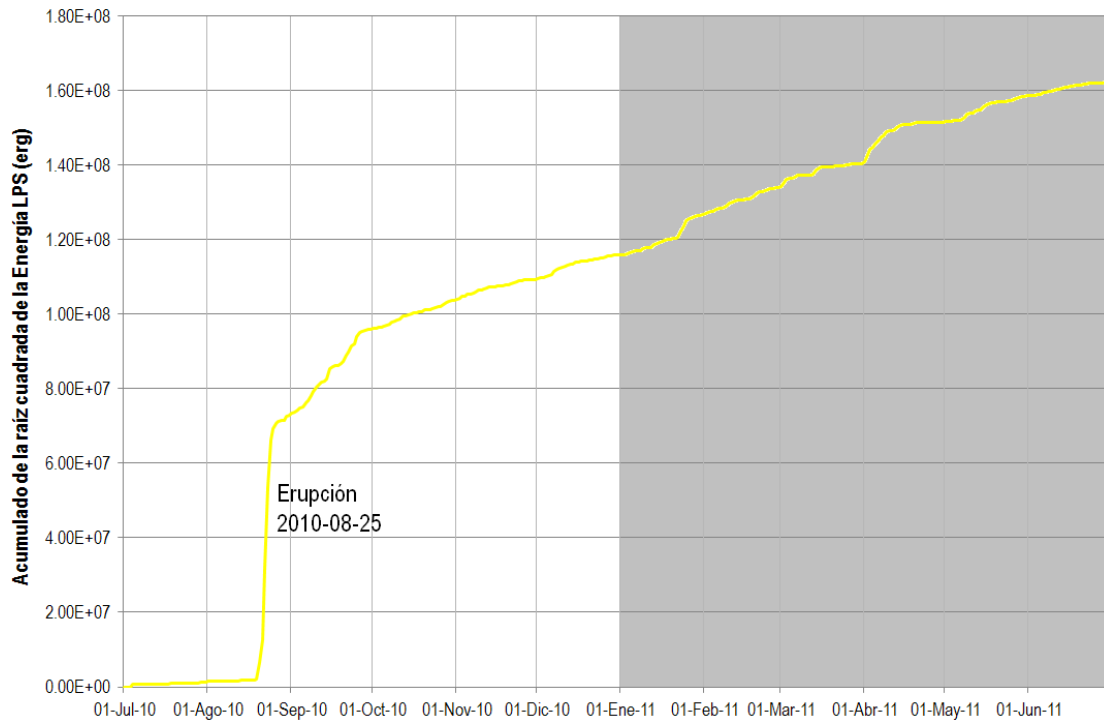


Figura 2.1.35. Energía acumulada de sismos LPS, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

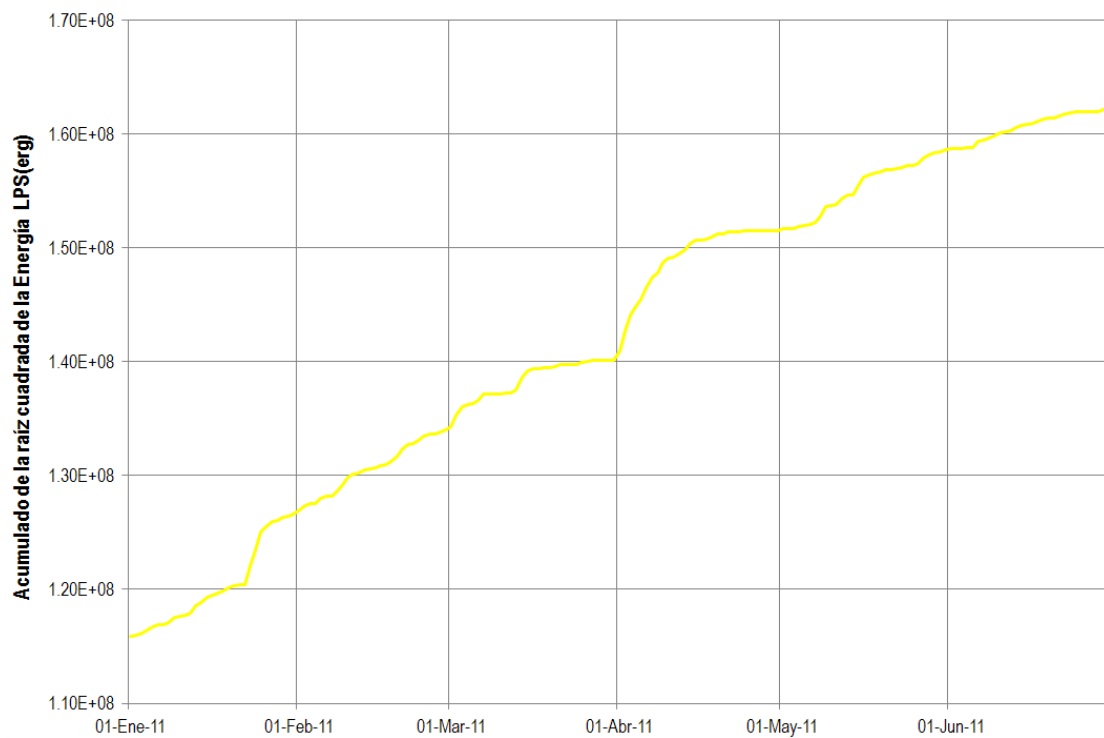


Figura 2.1.36. Energía acumulada de sismos LP, primer semestre de 2011

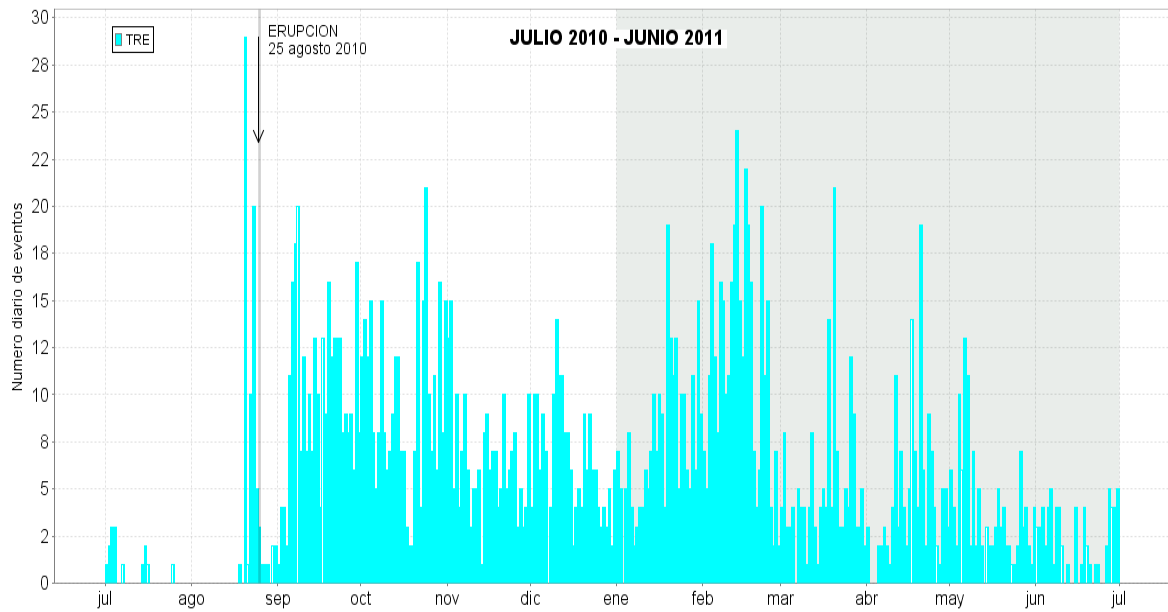


Figura 2.1.37. Número diario de sismos TRE, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

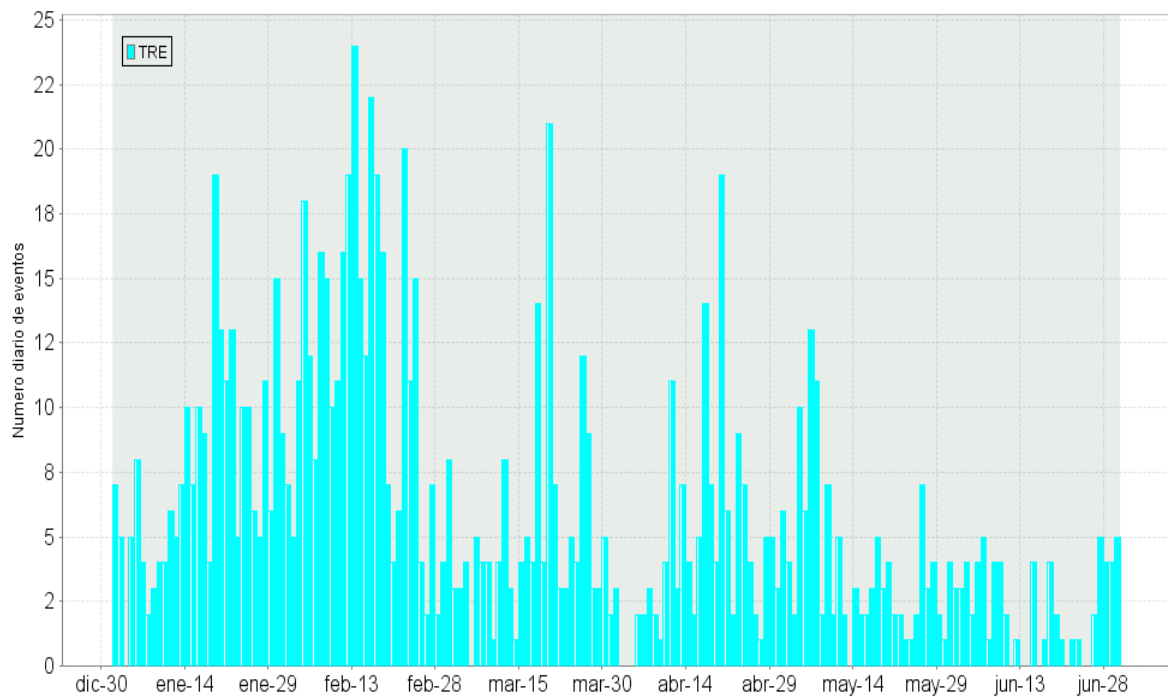


Figura 2.1.38. Número diario de sismos TRE, primer semestre de 2011

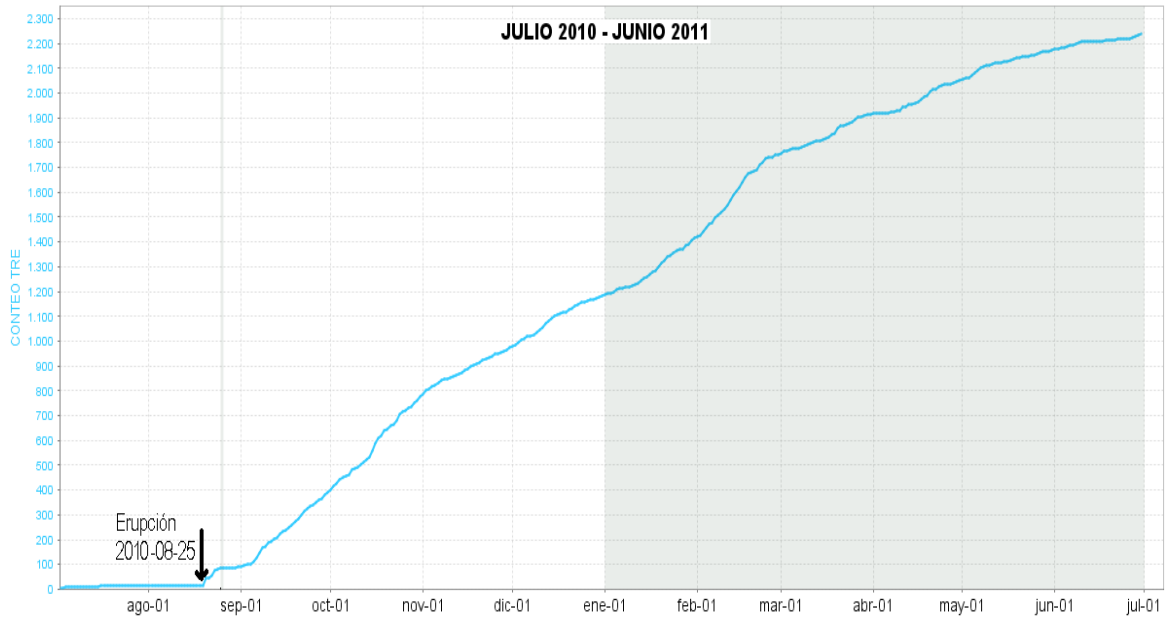


Figura 2.1.39. Conteo acumulado de sismos TRE, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado



Figura 2.1.40. Conteo acumulado de sismos TRE, primer semestre de 2011

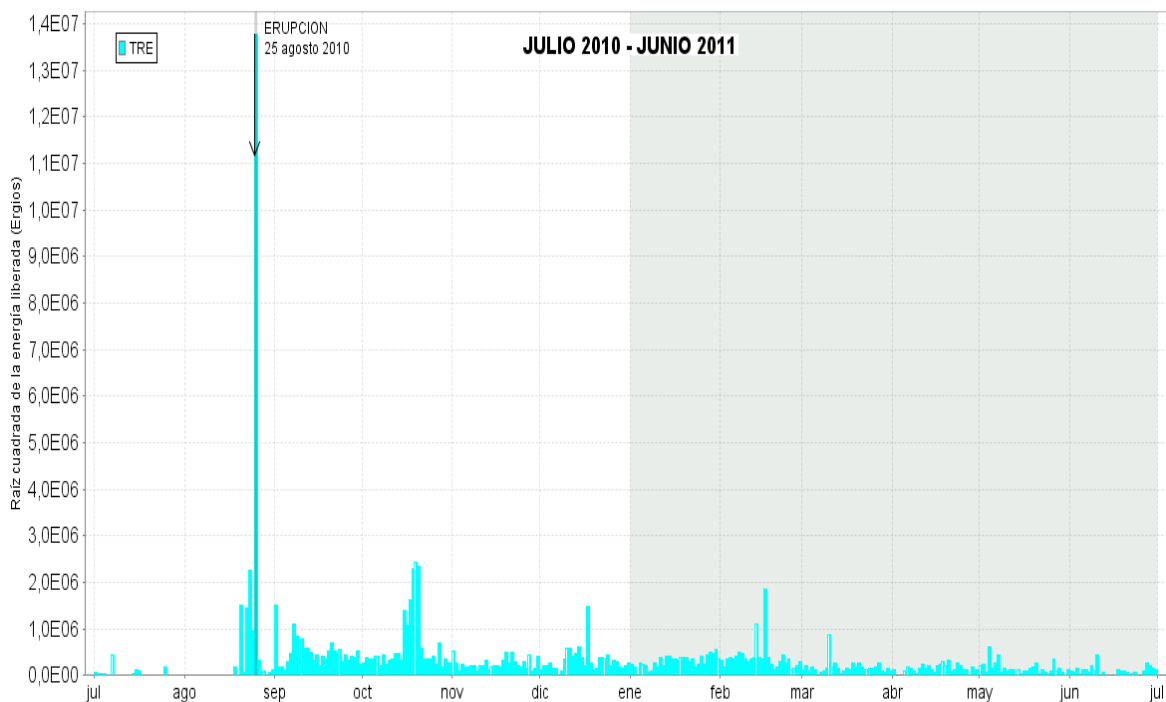


Figura 2.1.41. Energía diaria liberada de sismos TRE, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

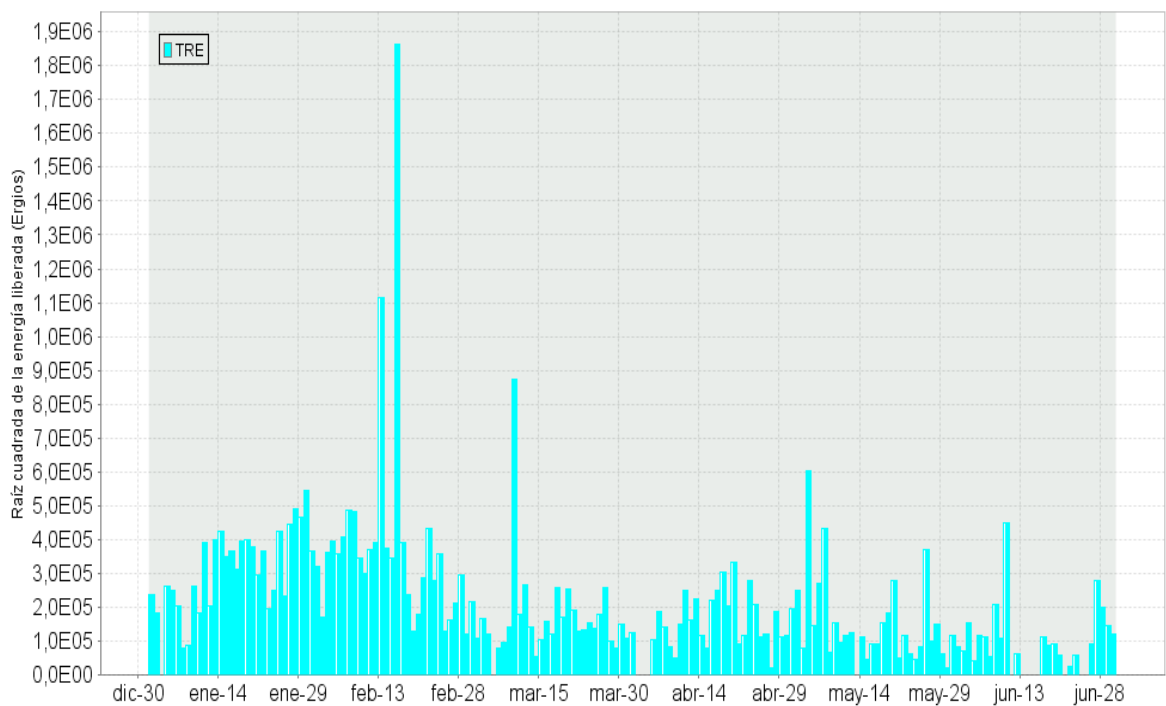


Figura 2.1.42. Energía diaria liberada de sismos TRE, primer semestre de 2011

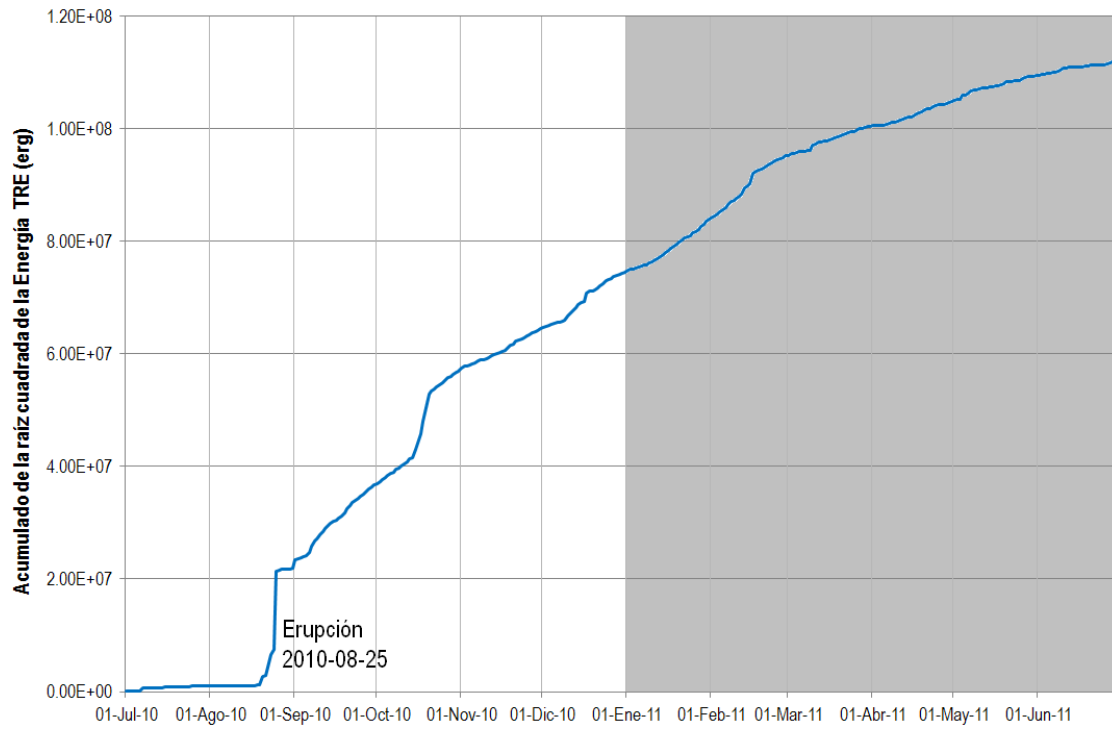


Figura 2.1.43. Energía acumulada de sismos TRE, de julio de 2010 a junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre evaluado

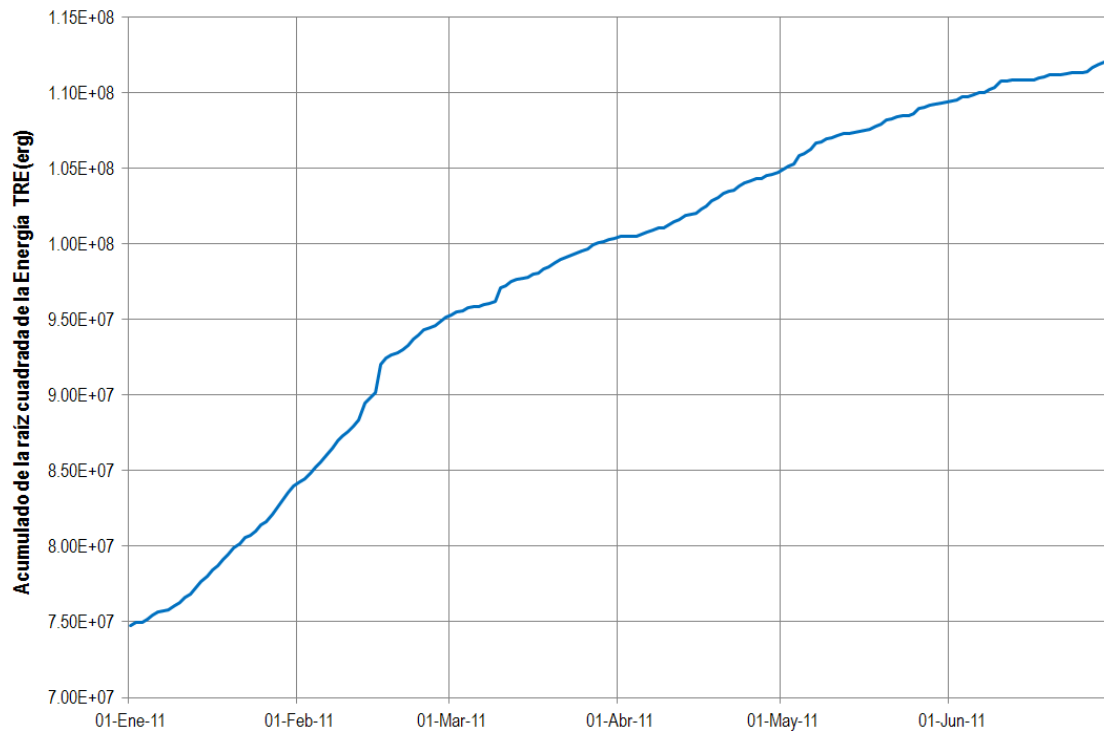


Figura 2.1.44. Energía acumulada de sismos TRE, primer semestre de 2011

Durante el primer semestre de 2011 se pudo localizar 1114 sismos entre aquellos generados por fractura de material cortical VT y aquellos generados por procesos tanto de fractura como de movimiento de fluidos, llamados híbridos – HYB. La gran mayoría se ubicó en profundidades menores de 2.5 km y siguiendo un alineamiento SE – NW. Una parte importante de los sismos se ubicaron en la parte NE del volcán, en profundidades entre 2.5 y 7.5 km con respecto a la cima. También se resalta un pequeño nido localizado al NNW localizado en profundidades alrededor de 7.5 km. Los demás sismos se localizaron dispersos en la zona de influencia de Galeras y a profundidades entre 2.5 y 15 km. En la figura 2.1.45. se muestra el mapa con las localizaciones del primer semestre de 2011 con sus respectivos cortes EW y NS.

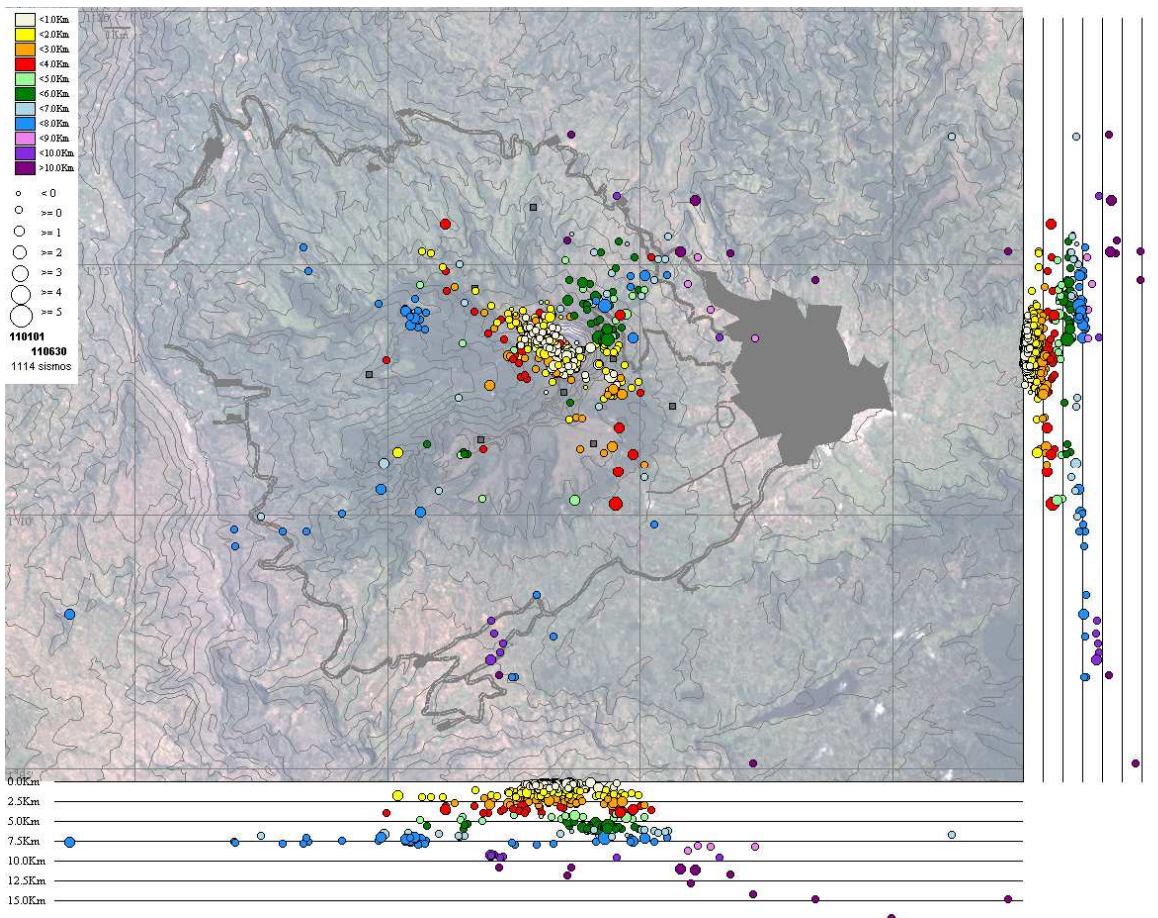


Figura 2.1.45. Mapa de sismos localizados VT e HYB en la zona de influencia de Galeras, con sus respectivos cortes EW y NS, primer semestre de 2011

De los eventos localizados solamente fue reportado como sentido en algunos sectores de Pasto el evento VT de magnitud 2,3 registrado el 1 de abril de 2011 a la 1:22 a.m. Este sismo se localizó en las coordenadas 1°13.56'N y 77°20.84'W a una profundidad de 5.8 km y a una distancia de 1.4 km al ENE del cono activo.

En la figura 2.1.46. se muestran relaciones porcentuales de magnitud y profundidad de los sismos localizados durante el primer semestre de 2011. Nótese que la gran mayoría de los sismos tuvo magnitudes menores de 0.6, solamente un 1% tuvo magnitudes entre 1.8 y 2.4 y ninguno superó la

magnitud de 2.4. En cuanto a la profundidad la gran mayoría tiene son superficiales y se localizan a menos de 2 km de profundidad con respecto a la cima de Galeras, el 18% se ubicó entre 2 y 10 km de profundidad y solamente el 1% mostró profundidades mayores de 10 km.

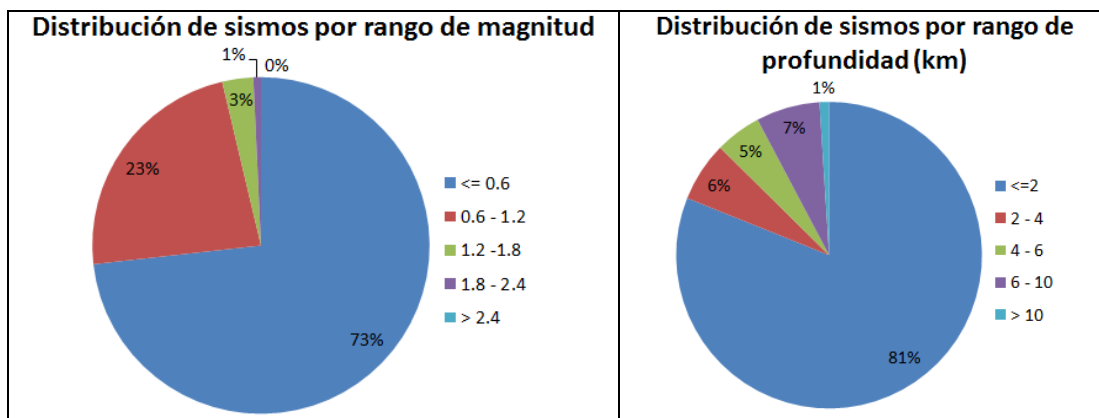


Figura 2.1.46. Relaciones porcentuales por rangos de magnitud y profundidad para los sismos localizados en el primer semestre de 2011.

En las gráficas 2.1.47. y 2.1.48. se muestra la evolución espacio temporal de las Latitudes y Longitudes de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011, nótese que en el semestre evaluado disminuye el ancho de la franja de latitudes, pues es menor la cantidad de sismos, pero sigue conservando la tendencia de los sismos a ubicarse preferencialmente en latitudes entre $1^{\circ}12'$ y $1^{\circ}15'$. La misma situación se aprecia para la variación de la Longitud, en este caso, la tendencia de los sismos es a ubicarse en longitudes entre $77^{\circ}20'$ y $77^{\circ}23'$.

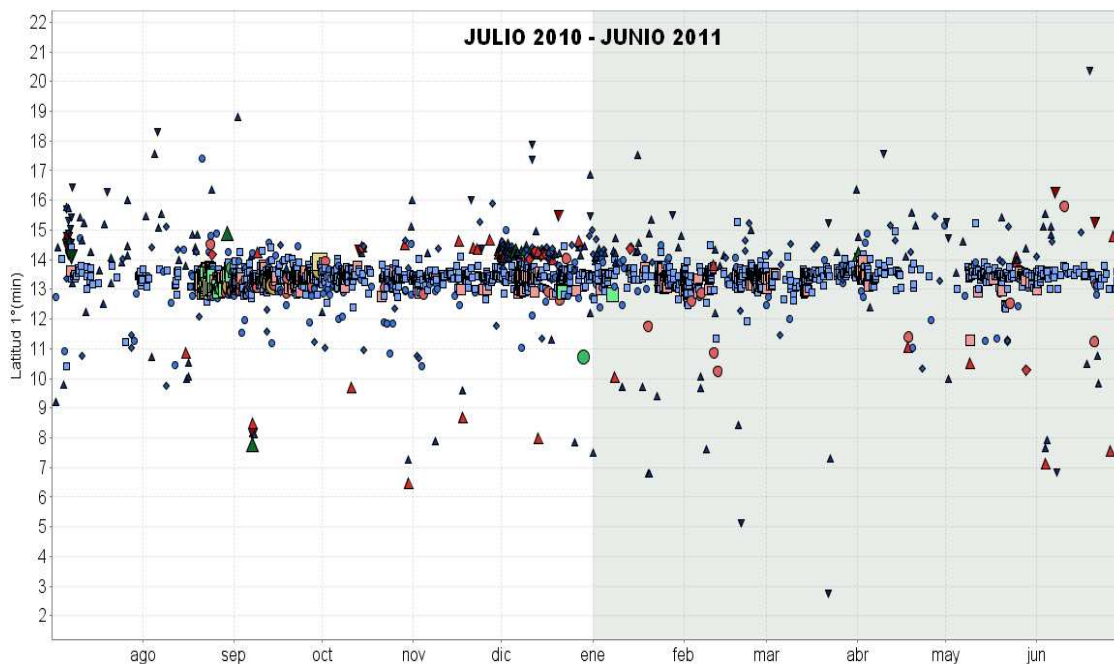


Figura 2.1.47. Evolución espacio temporal de la Latitud de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre en evaluación

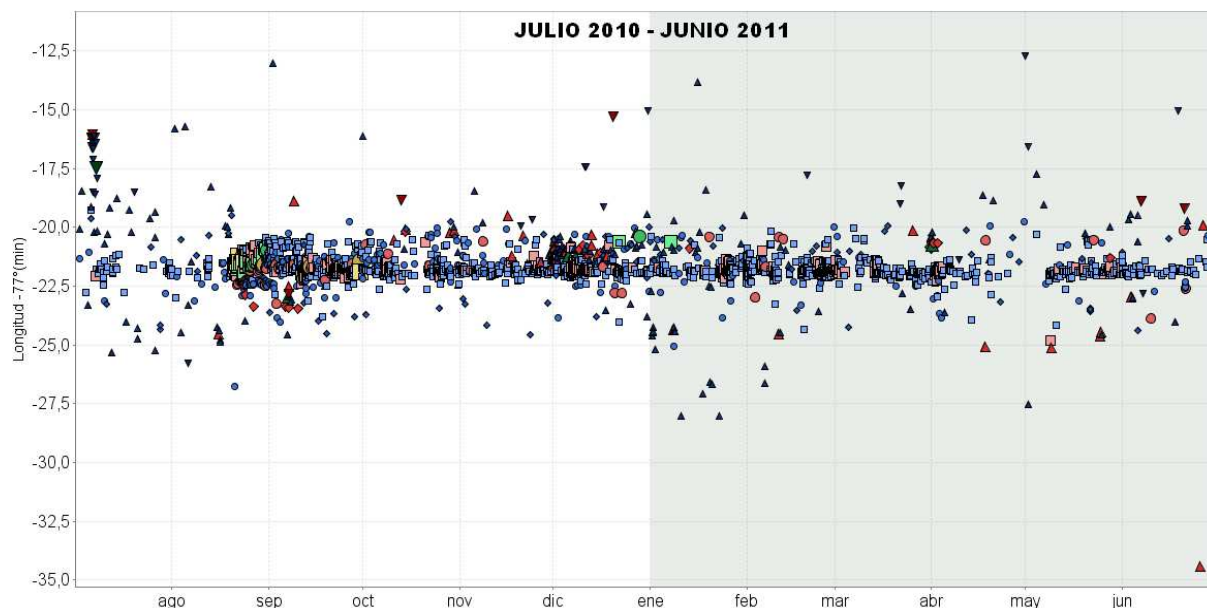


Figura 2.1.48. Evolución espacio temporal de la Longitud de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre en evaluación

En las figuras 2.1.49. y 2.1.50. se muestra la variación espacio temporal de la profundidad y la variación temporal de la magnitud de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011. La gran mayoría de los sismos durante todo el periodo evaluado se ubican en profundidades menores de 2 km, se aprecian algunos racimos de sismos que muy probablemente estén relacionados con pequeños enjambres. En cuanto a la magnitud, la gran mayoría de sismos mostró magnitudes menores de 1 grado, también se aprecian algunas agrupaciones temporales que pueden estar relacionadas con pequeños enjambres.

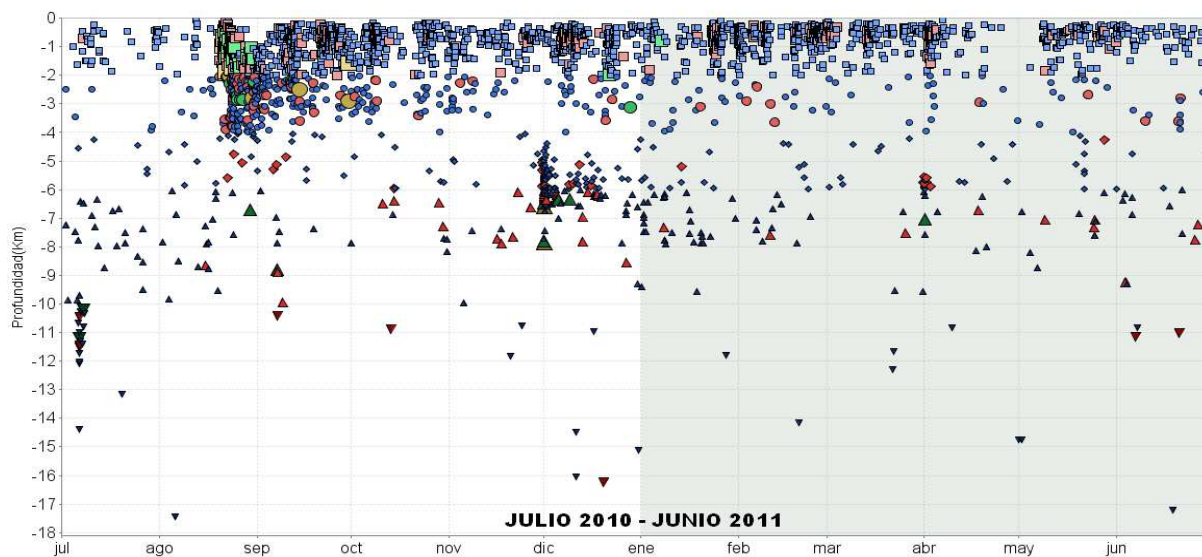


Figura 2.1.49. Evolución espacio temporal de la Profundidad de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre en evaluación

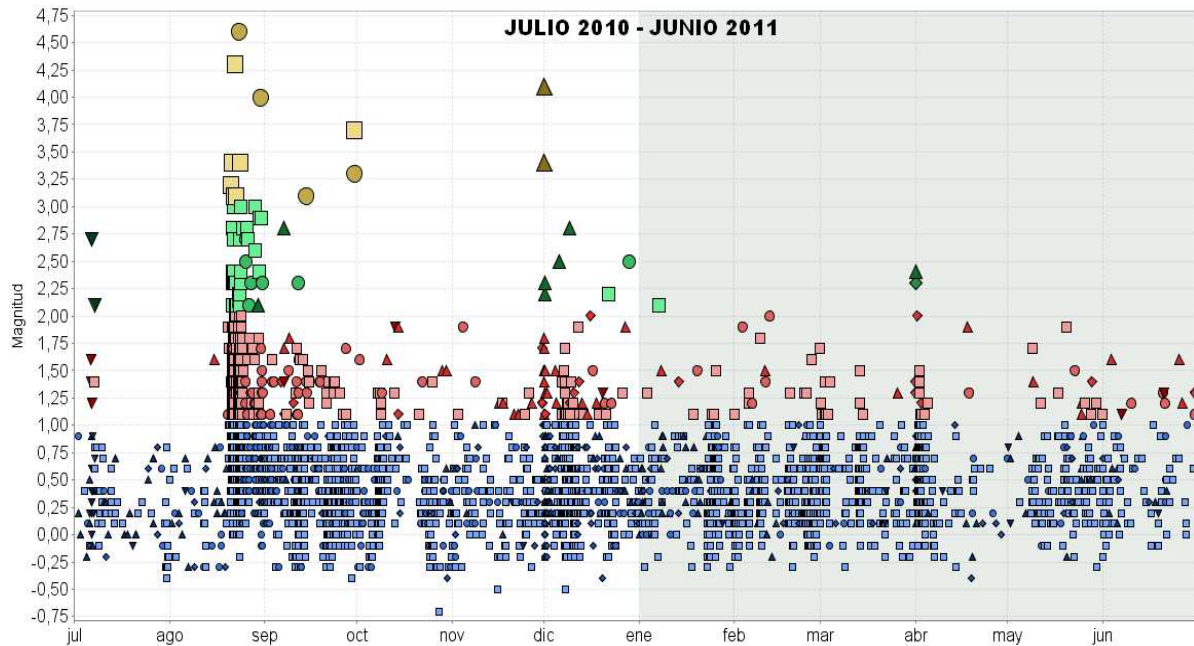


Figura 2.1.50. Evolución temporal de la Magnitud de los sismos localizados entre julio de 2010 y junio de 2011. El cuadro gris indica el semestre en evaluación

En cuanto a la sismicidad que involucra dinámica de fluidos, lo más destacado del primer semestre fue el registro de sismos tipo tornillo – TOR durante los meses de enero a abril y en junio. En total se registraron 38 sismos tipo TOR, la mayoría de ellos se registraron entre el 26 de enero y el 5 de febrero, sumando un total de 23 TOR, (Figura 2.1.51.). La energía total de los sismos TOR fue de $3.56E+11$ erg (Figura 2.1.52.), que es equivalente al 0.4% de la energía total del semestre y al 1.2% de la energía total de los eventos LP.

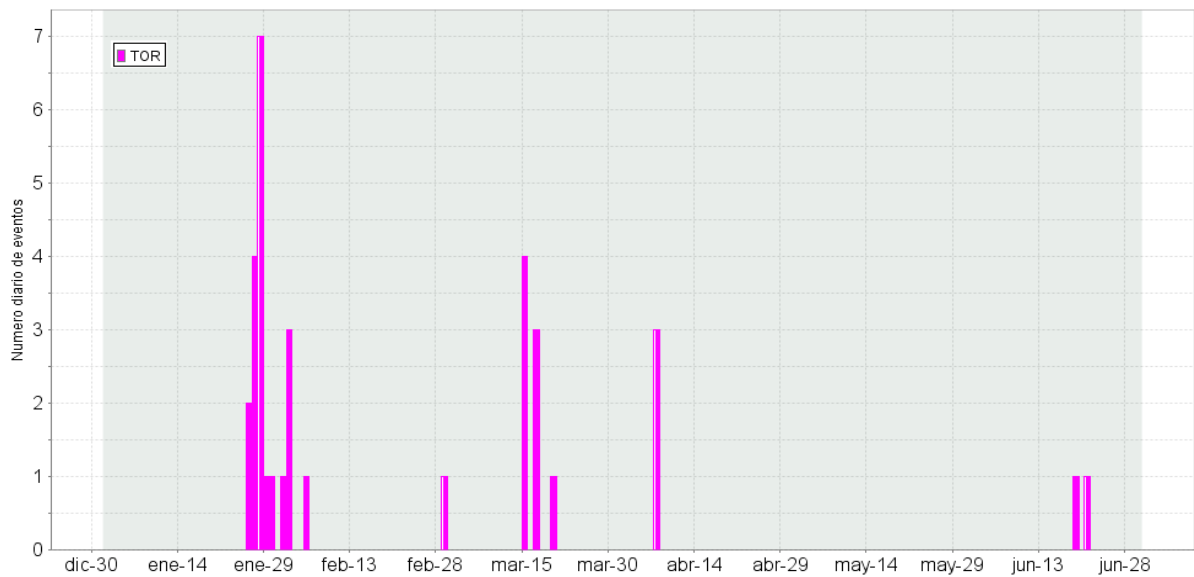


Figura 2.1.51. Número diario de sismos tipo TOR, primer semestre de 2011.

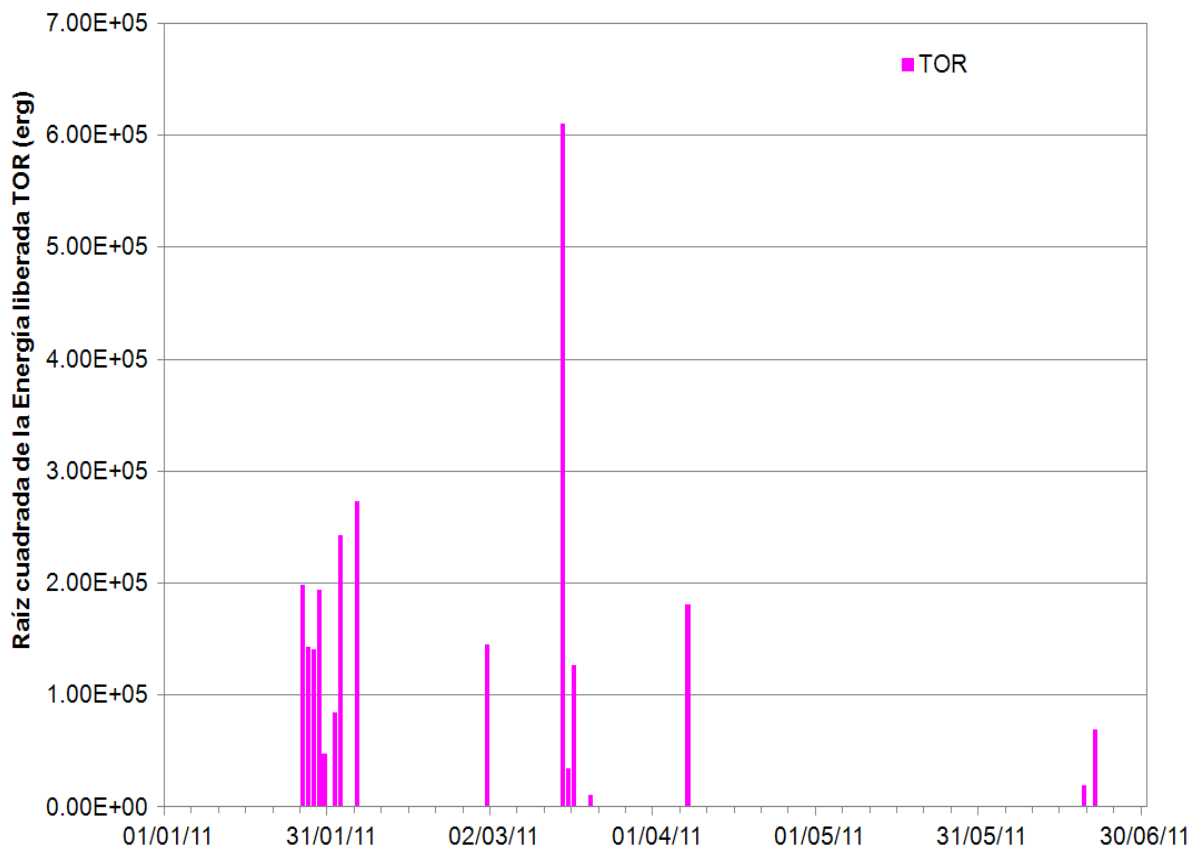


Figura 2.1.52. Energía diaria liberada por sismos TOR, primer semestre de 2011.

El evento tipo TOR más energético del semestre fue registrado en marzo 15 a las 10:42 p.m. con una energía de $1.13E+11$ erg, su coda fue de 52 seg y su frecuencia dominante fue de 11.48 Hz en la estación base de clasificación Anganoy (1.0 km al E del cráter activo).

Estos episodios de eventos de tipo TOR no se relacionaron con actividad eruptiva. Las frecuencias dominantes en la estación base de clasificación Anganoy no mostraron el comportamiento descendente característico de los TOR que preceden a los eventos eruptivos de Galeras. Las duraciones de los eventos tampoco mostraron el comportamiento ascendente característico de los TOR que preceden las erupciones. En las figuras 2.1.53. y 2.1.54. se puede apreciar el comportamiento de la frecuencia dominante, de la frecuencia subdominante y de las codas o duraciones de los TOR del primer semestre de 2011 en la estación base de clasificación Anganoy.

En las figuras 2.1.55. a 2.1.60. se puede apreciar las formas de onda y sus respectivos espectros de Fourier de los eventos TOR registrados en el primer semestre de 2011 por mes.

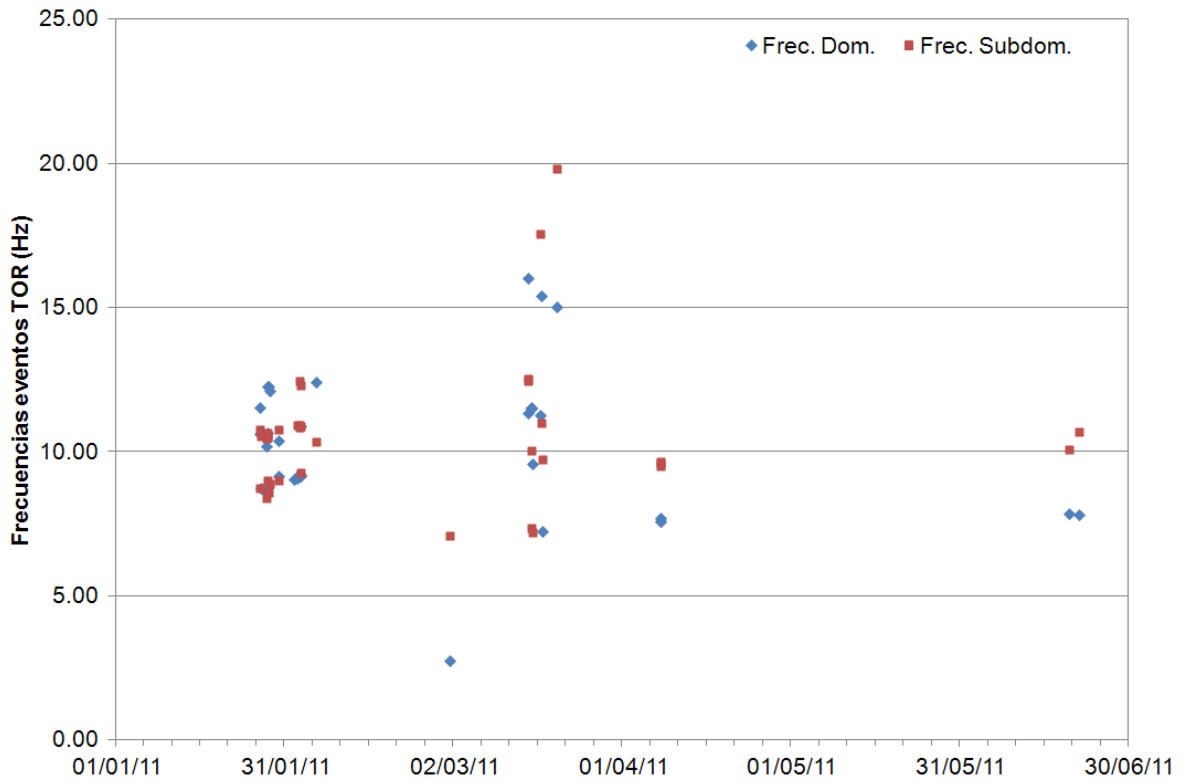


Figura 2.1.53. Comportamiento de las frecuencias dominantes y subdominantes de los TOR registrados en el primer semestre de 2011.

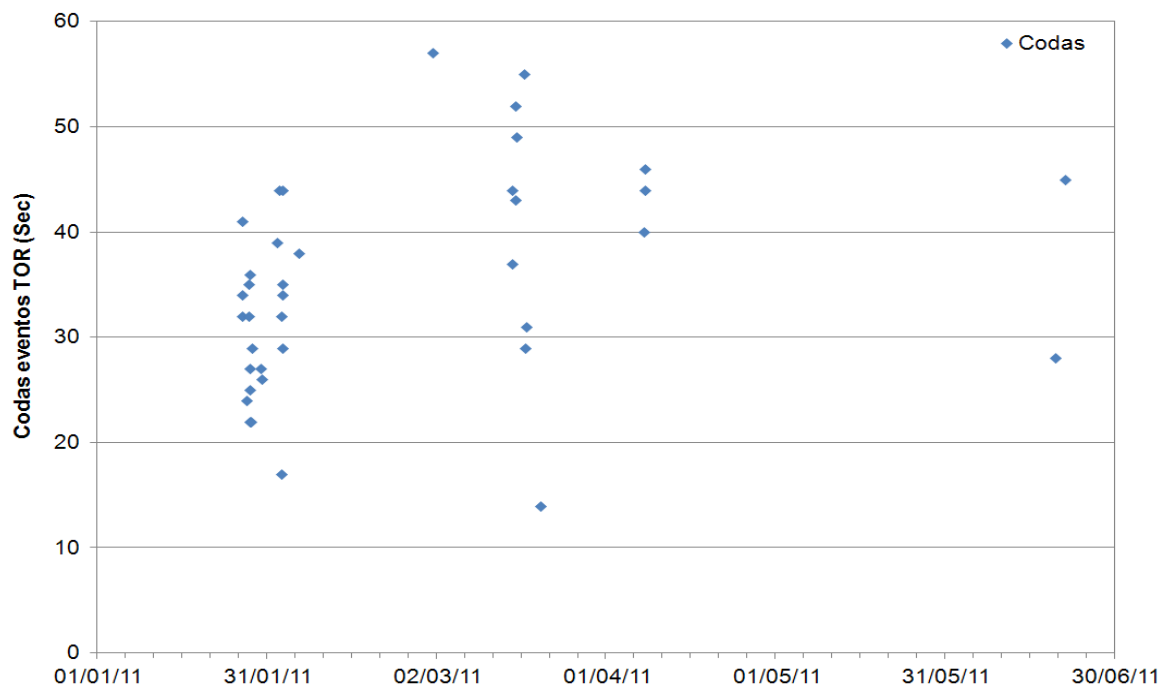


Figura 2.1.54. Comportamiento de las duraciones de los TOR registrados en el primer semestre de 2011.



**SERVICIO GEOLOGICO
COLOMBIANO**
República de Colombia

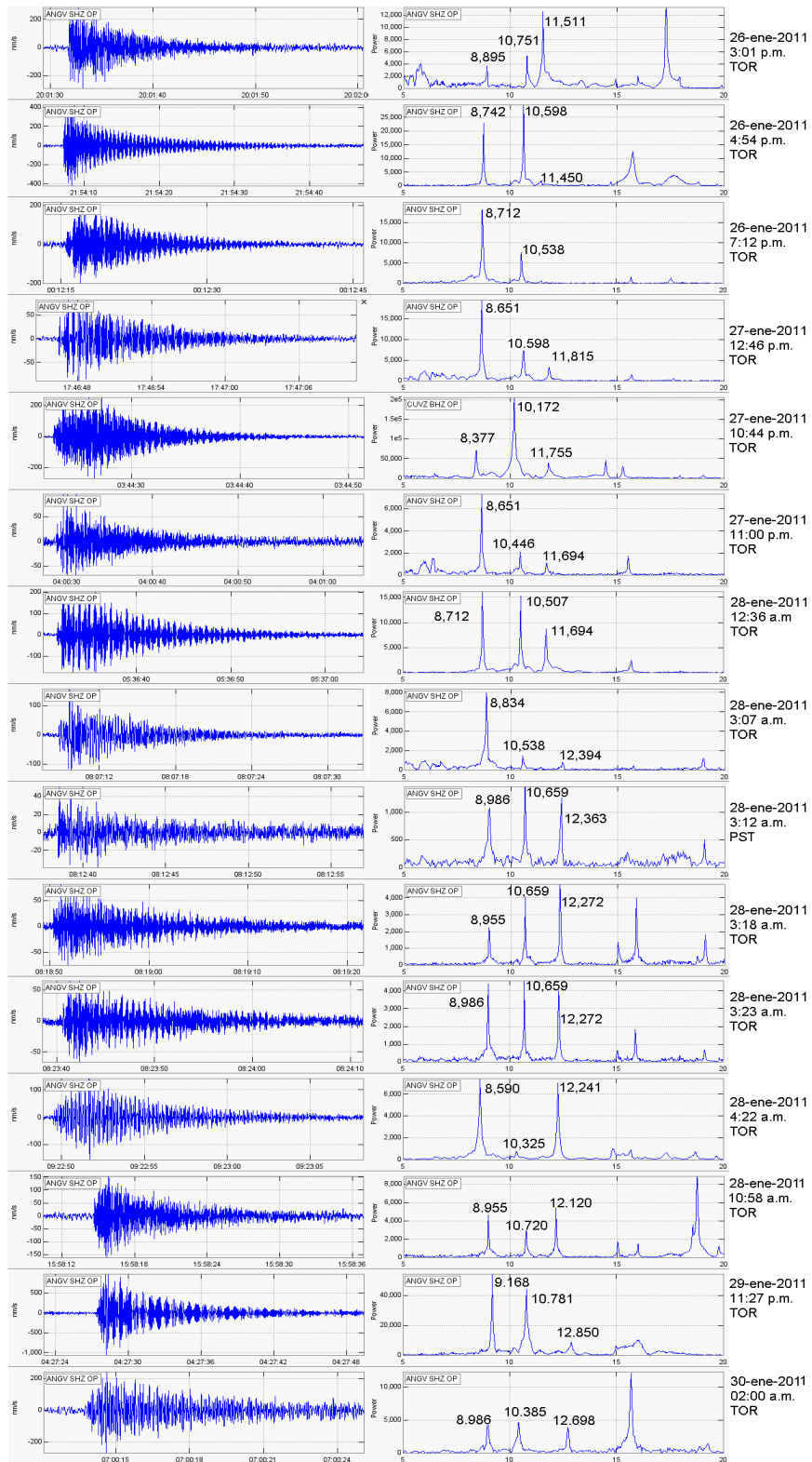


Figura 2.155. Eventos TOR de enero de 2011.

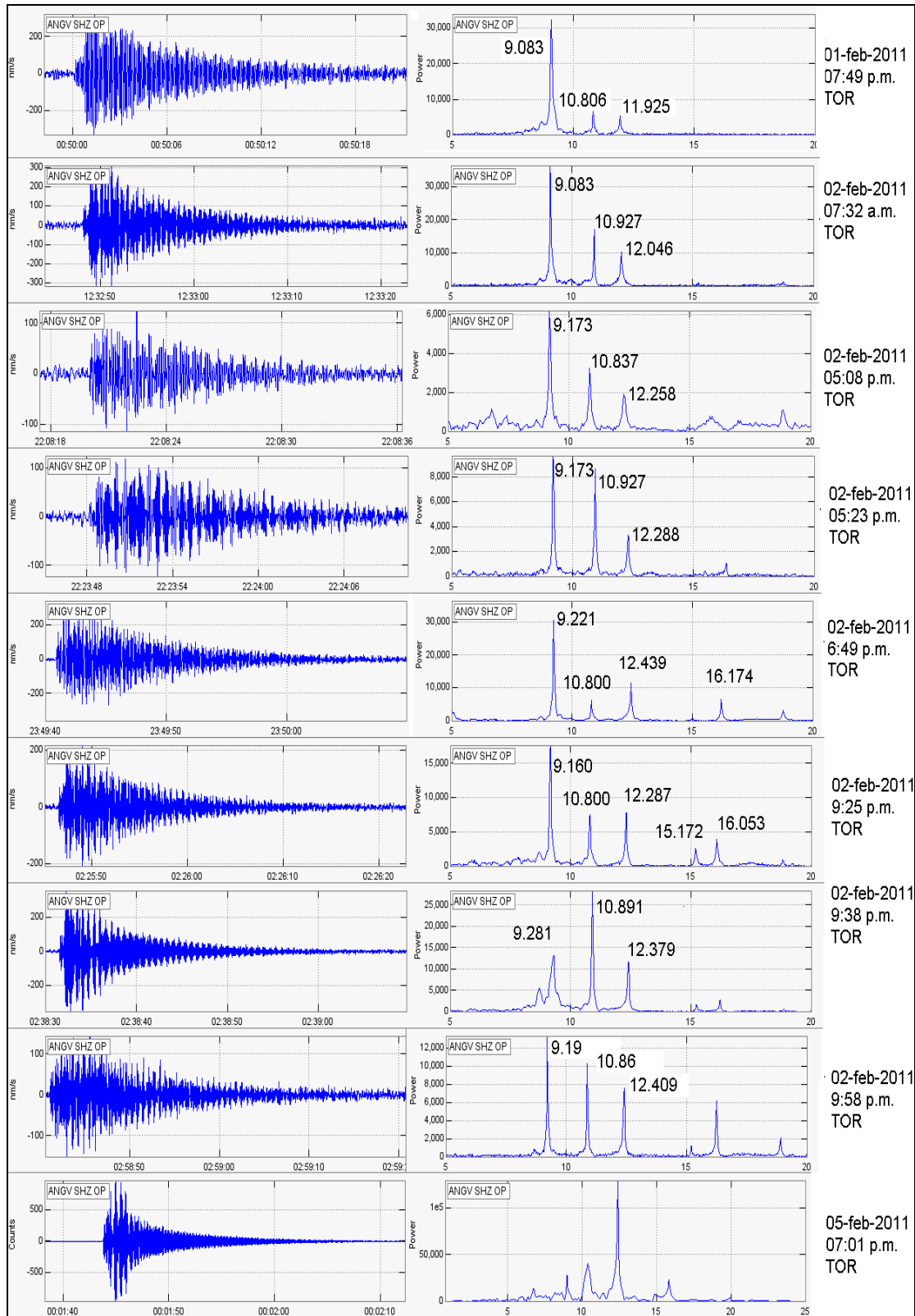


Figura 2.1.56. Eventos TOR de febrero de 2011.

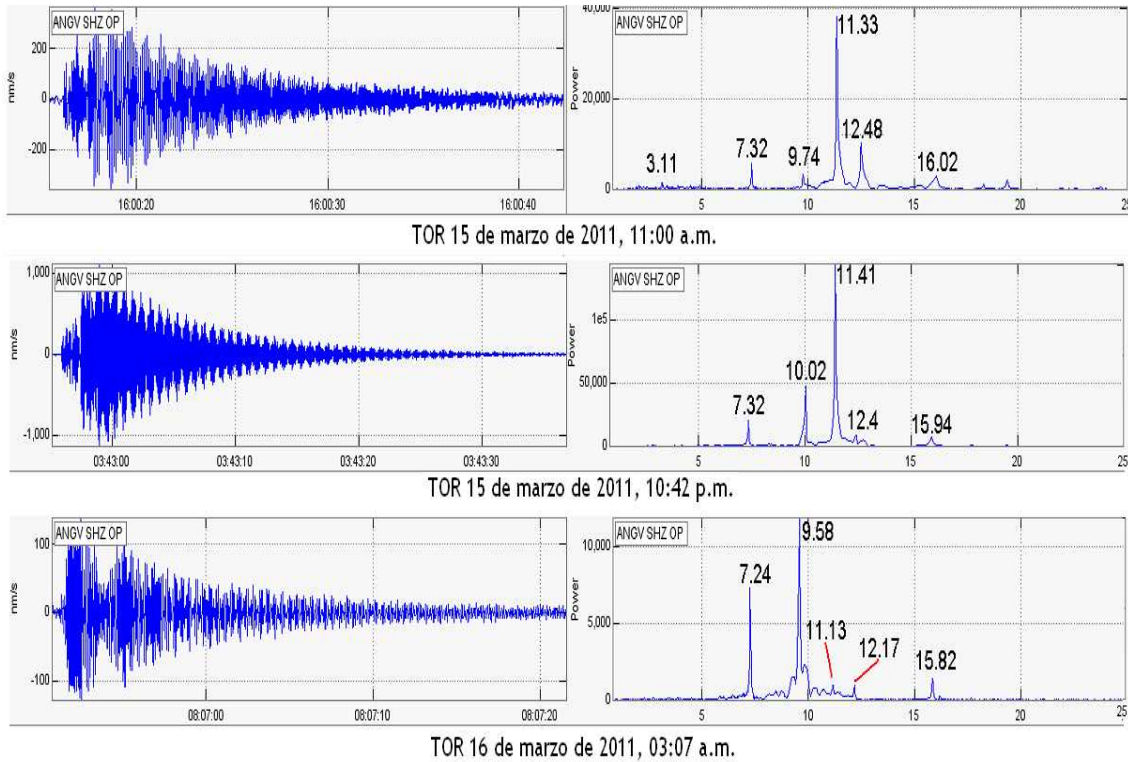


Figura 2.1.57. Eventos TOR de marzo de 2011.

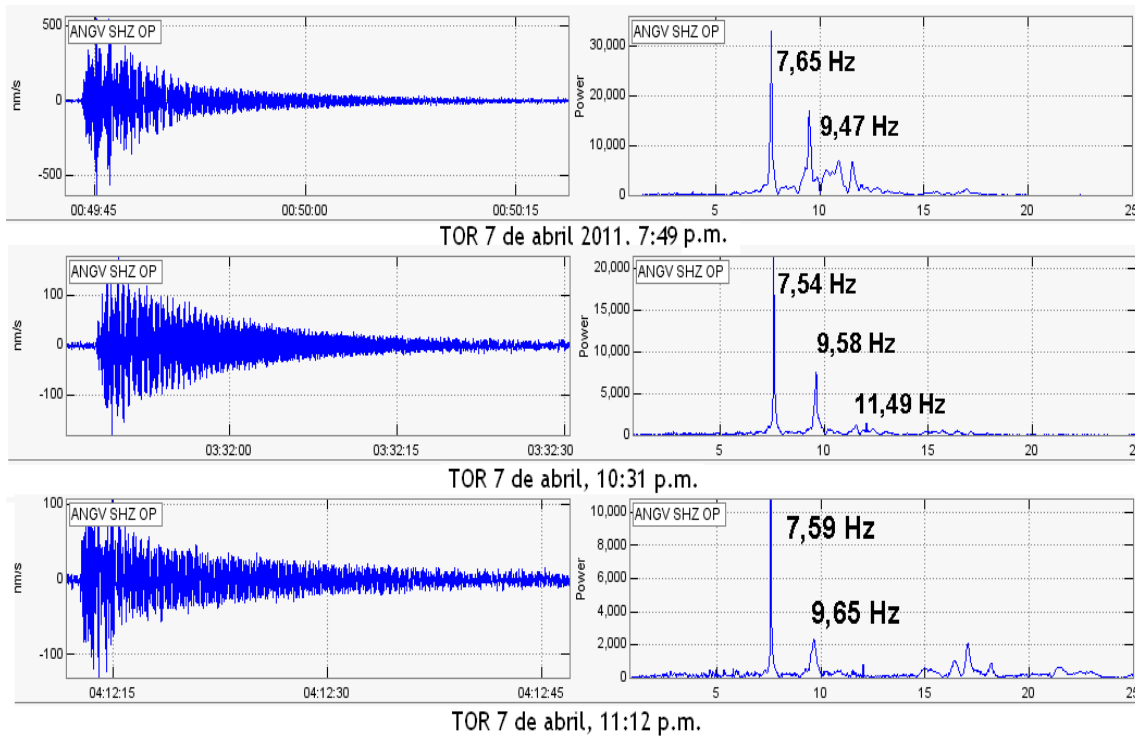


Figura 2.1.58. Eventos TOR de abril de 2011.

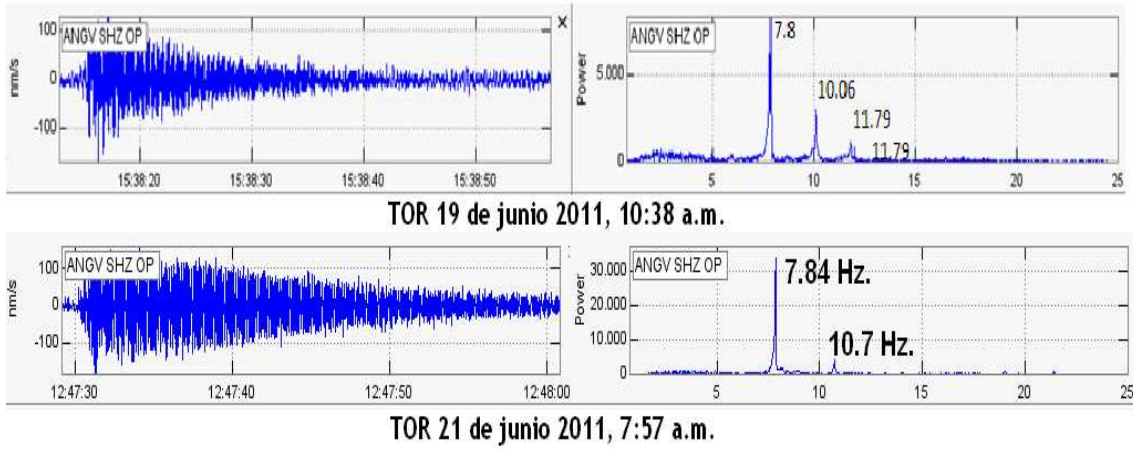


Figura 2.1.59. Eventos TOR de junio de 2011.

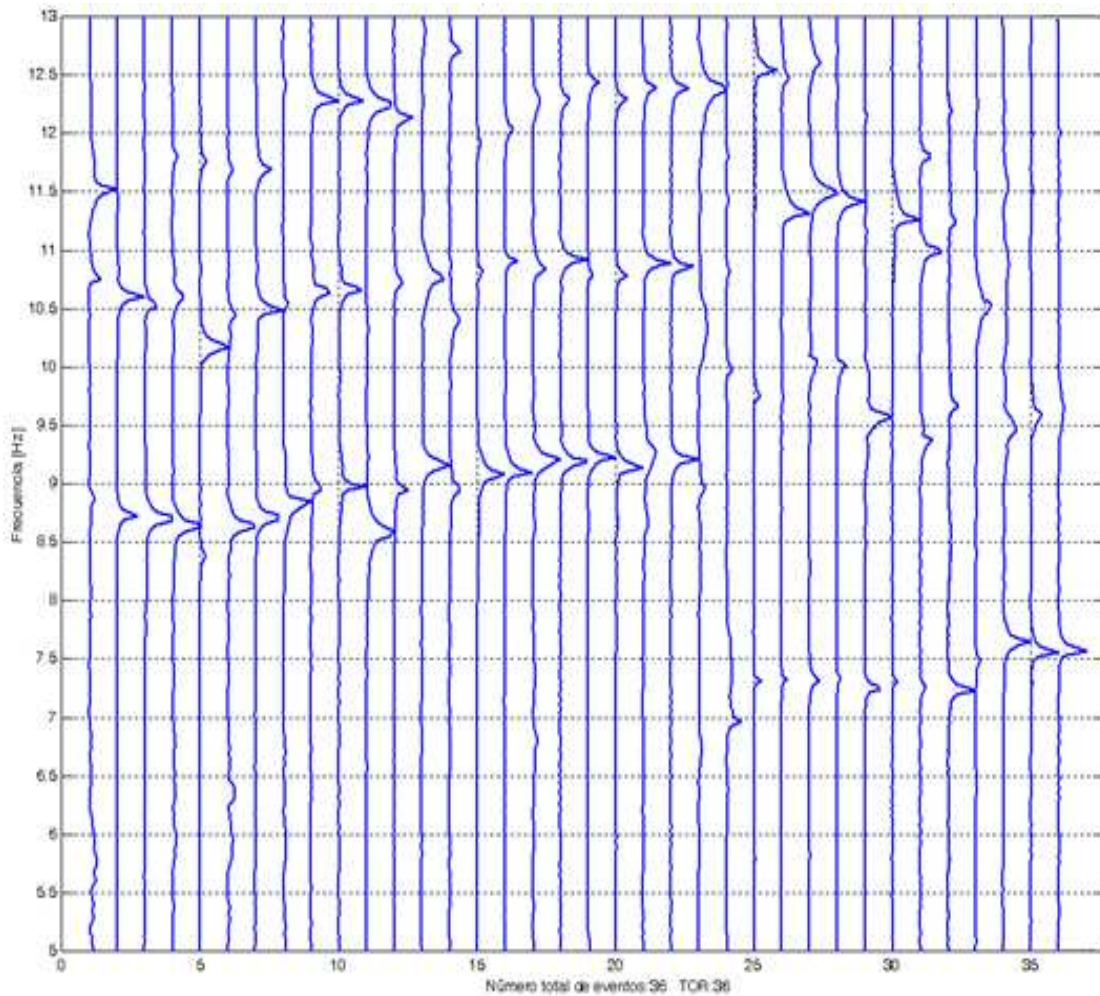


Figura 2.1.60. Evolución temporal de los picos de frecuencia de los eventos TOR registrados en el primer semestre de 2011.



2.1.3. Deformación

El monitoreo de la deformación del suelo consiste en detectar cambios en la morfología del edificio volcánico (inflación o deflación) los cuales pueden ser provocados, 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 primer semestre de 2011, el volcán Galeras contó con una red compuesta por 5 inclinómetros electrónicos telemétricos y una primera línea de control EDM la cual está formada por 11 prismas reflectores y dos Bases.

2.1.3.1. Inclinometría Electrónica

Durante el primer semestre de 2011 se contó con los datos de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola, Cobanegra y Calabozo, cuya localización se puede apreciar en la Figura 2.1.2.

En cuanto a la información suministrada por los inclinómetros electrónicos, sobre los procesos de deformación 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, tal como se describen en la Tabla 2.1.10. y Figura 2.1.61.

Tabla 2.1.10. Comportamientos de las componentes Tangencial y Radial para el inclinómetro Cráter, instalado en Galeras, para diferentes periodos de tiempo, comprendidos entre los meses de Agosto de 2010 y el 30 de junio de 2011.

Componente Tangencial				Componente Radial			
Fecha Inicial	Fecha Final	Variación (μ rad)	Tendencia	Fecha Inicial	Fecha Final	Variación (μ rad)	Tendencia
Ago23/2010	Sep09/2010	58	Descendente	Ago24/2010	Sep09/2010	164	Ascendente
Sep09/2010	Nov05/2010	1675	Descendente	Sep09/2010	Nov05/2010	5437	Ascendente
Nov05/2010	Mar23/2011	1100	Ascendente	Nov05/2010	Mar23/2011	3310	Descendente
Mar29/2011	May13/2011	12	Ascendente	Mar23/2011	May13/2011	327	Ascendente
May13/2011	Jun13/2011	162	Ascendente	May13/2011	Jun15/2011	564	Descendente
Jun13/2011	Jun30/2011	93	Descendente	Jun15/2011	Jun30/2011	364	Ascendente

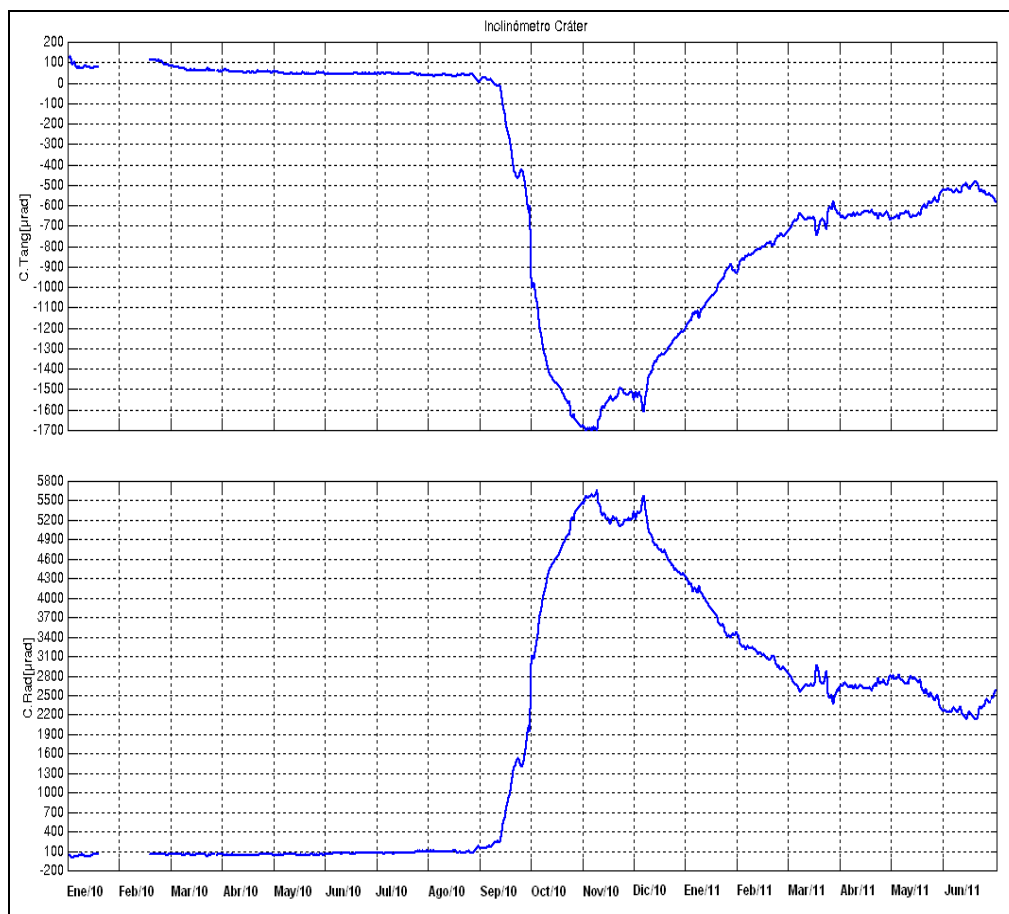


Figura 2.1.61. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Cráter, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011.

- El inclinómetro Peladitos (ubicado a 1.4 km., al sureste del cráter principal, 3850 msnm), para el periodo evaluado, mostró en la componente Tangencial un comportamiento ascendente entre el 9 de septiembre de 2010 y el 18 de marzo de 2011, alcanzando cerca de 133 μrad , pese a que continuo la tendencia ascendente, se observó un cambio en la pendiente del registro entre el 18 de marzo y el 7 de abril de 2011, variación que se reflejo en 128 μrad , es decir entre el 9 de septiembre de 2010 y el 7 de abril de 2011, se observó un comportamiento ascendente que alcanzó cerca de 260 μrad , posteriormente, las variaciones son menores de 5 μrad (Figura 2.1.62). De igual forma, para el primer semestre de 2011, en la componente Radial, las variaciones son menores a 5 μrad .
- En el inclinómetro Huairatola (ubicado a 1.7 km., al norte del cráter principal, 3745 msnm), en la componente Radial se observó hasta el 13 de enero de 2011, el comportamiento descendente mostrado desde el 2 de abril de 2010, registrando 108 μrad , luego se observaron variaciones menores a los 3 μrad , mientras que en la componente Tangencial debido a las fluctuaciones en el registro, para el periodo evaluado no es posible definir una tendencia (Figura 2.1.63).

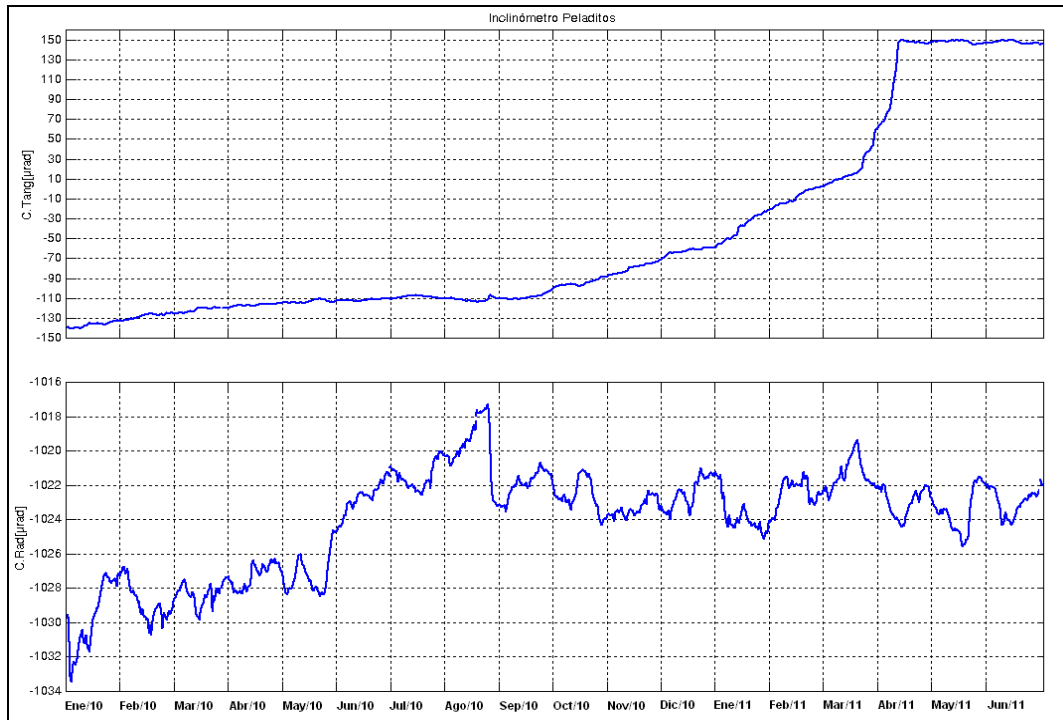


Figura 2.1.62. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Peladitos, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011.

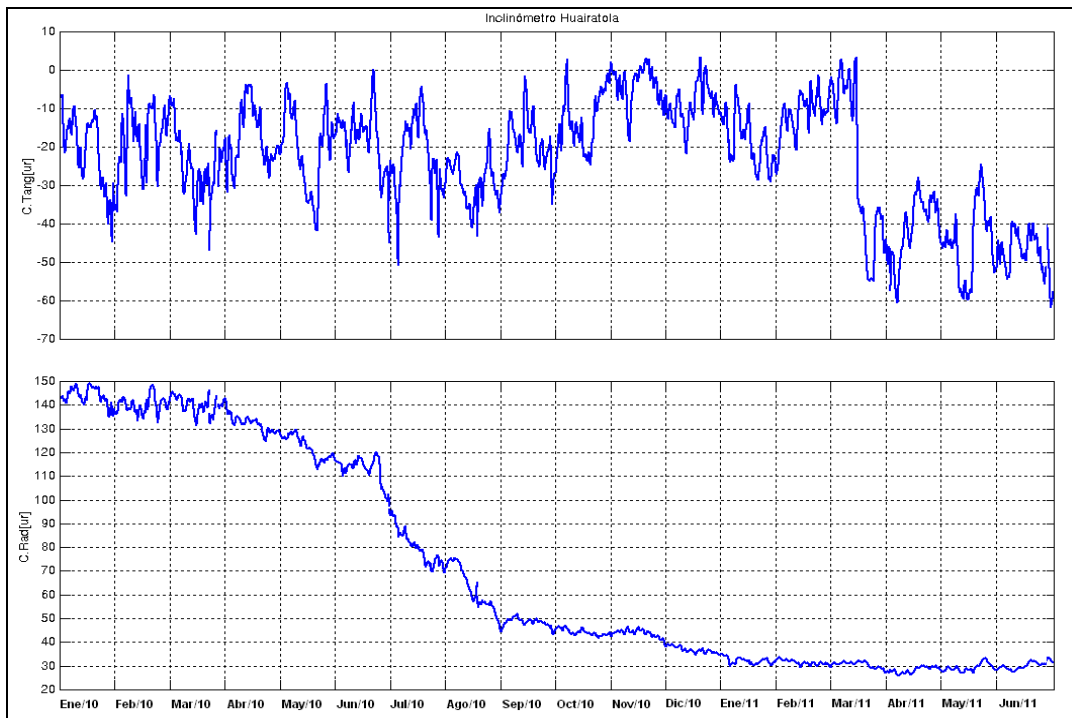


Figura 2.1.63. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Huairatola, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011.

- Para el inclinómetro Cobanegra (ubicado a 3.9 km., al sur-sureste del cráter principal, 3610 msnm), después del comportamiento descendente que traía desde el 14 de noviembre de 2010, se registró una inflexión, cambiando la tendencia a ascendente acumulando hasta el 27 de febrero de 2011 cerca de 125 μ rad, posteriormente se presentó una tendencia descendente, la cual hasta el 30 de junio alcanzó los 15 μ rad; en la componente Radial, para el primer semestre de 2011 se observó la mayor parte del periodo variaciones menores a 5 μ rad, hacia finales del mes de junio, se observó un leve descenso (Figura 2.1.64.).
- El inclinómetro Calabozo (ubicado a 6.8 km., al oeste-suroeste del cráter principal, 2350 msnm), desde su reincorporación a la red de monitoreo de Galeras el 10 de mayo de 2011, se observó tanto en la componente Tangencial, como Radial un comportamiento descendente, el cual es más pronunciado desde el mes de junio, y es así, como la variación en la Tangencial es de 20 μ rad y en la Radial, de 12 μ rad (Figura 2.1.65.).

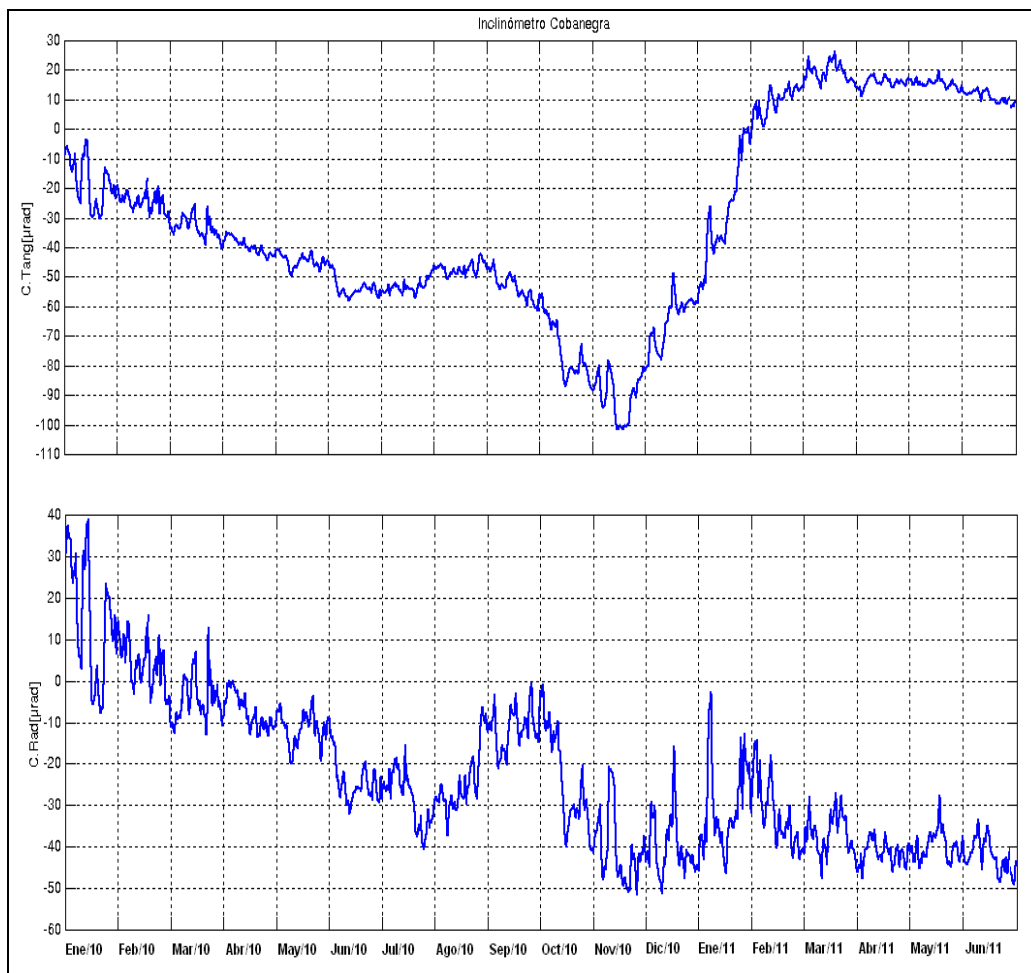


Figura 2.1.64. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Cobanegra, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011.

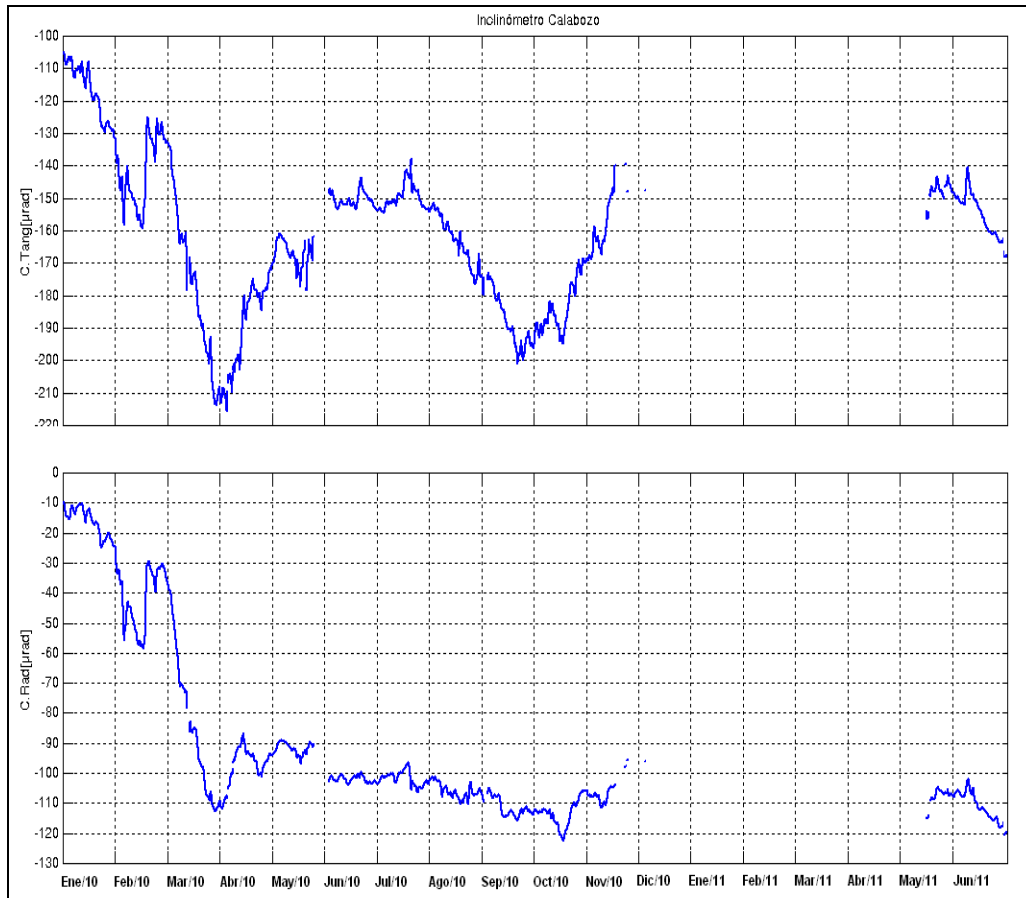


Figura 2.1.65. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, del inclinómetro Calabozo, instalado en Galeras, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011.

Es importante destacar que desde septiembre de 2010 y en el primer semestre del 2011, se observaron variaciones en las componentes de los inclinómetros Cráter, Cobanera y en la componente tangencial de Peladitos, que se pueden correlacionar (Figura 2.1.66.). De esta manera, se dividió en tres periodos, el primero desde el 8 de septiembre hasta el 15 de noviembre de 2010, el segundo entre el 15 de noviembre de 2010 al 8 de abril del 2011 y el tercero entre el 8 de abril y el 30 de junio de 2011. Al realizar el cálculo de vectores resultantes de estos inclinómetros, para el primer periodo, el mayor valor es del inclinómetro Cráter, dirigido hacia el cráter del volcán, indicando una posible inflación; el vector resultante del inclinómetro Peladitos, está dirigido hacia el sector sur-occidente, indicando una posible inflación del sector o una deflación hacia el sector contrario, es decir hacia el nor-oriente; al hacer una proyección de estos dos vectores, su coincidencia indica una posible deflación en el sector nor-oriental del volcán. Para el segundo periodo, continúa siendo la mayor variación la del inclinómetro Cráter, pero con tendencia contraria al periodo anterior; La dirección del vector resultante del inclinómetro Peladitos se mantiene; el inclinómetro Cobanera con un menor valor en magnitud, muestra una tendencia hacia el sur occidente del volcán. Realizando una proyección de los vectores de Peladitos y Cobanera, estos se cruzan, en el sector sur del cráter del volcán, indicando una posible inflación en el sector, mientras Cráter muestra una inflación en el sector oriental al volcán. (Figura 2.1.67.).

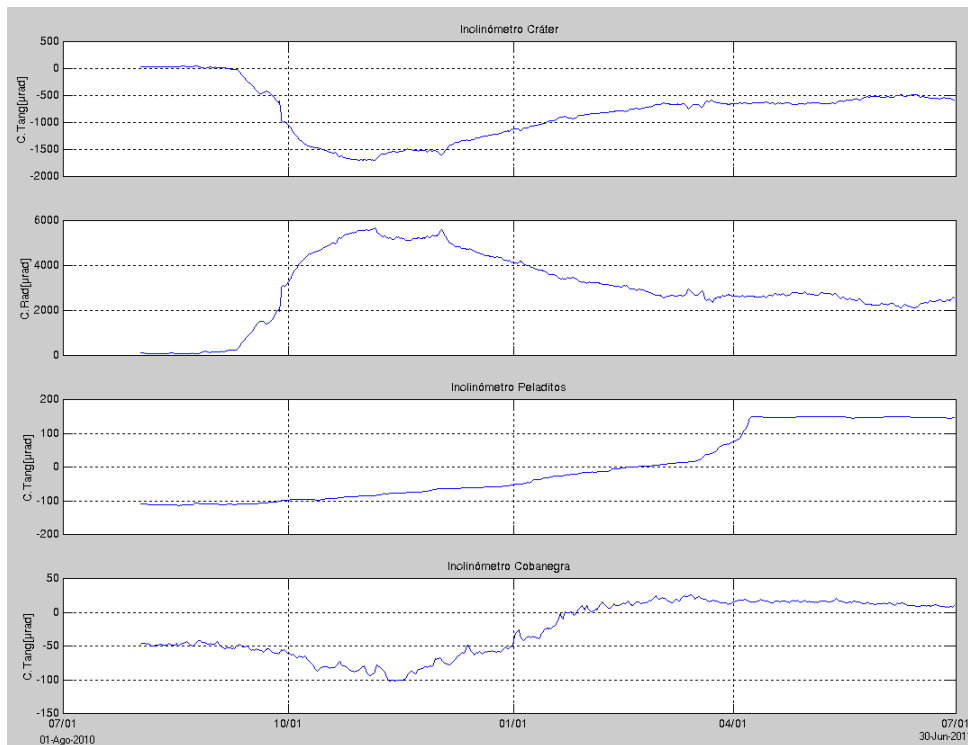


Figura 2.1.66. Componentes de inclinación Radial y Tangencial, de los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola y Cobanegra, instalados en Galeras, para el periodo comprendido entre abril de 2010 y el mes de junio de 2011.

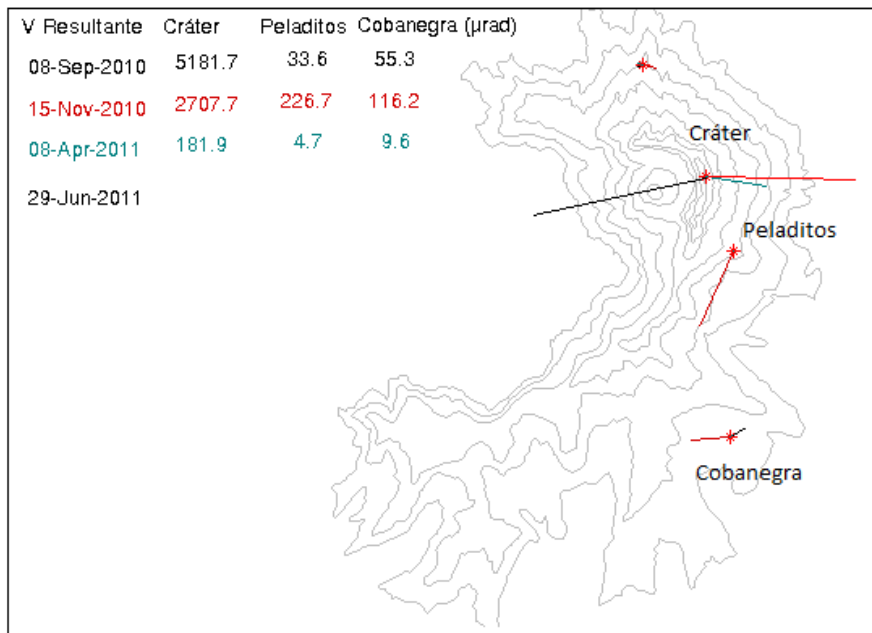


Figura 2.1.67. Vectores resultantes para los inclinómetros electrónicos Cráter, Peladitos, Huairatola y Cobanegra para el periodo comprendido entre el 9 de septiembre de 2010 y el 5 de febrero de 2011. El asterisco indica el lugar donde se encuentra cada.

2.1.3.2. Medición Electrónica de Distancias - EDM

En relación con EDM, para Galeras no fue posible realizar mediciones, debido a las condiciones climáticas adversas, entre ellas lluvia y nubosidad. En la Figura 2.1.68. se muestran los puntos materializados en Galeras.

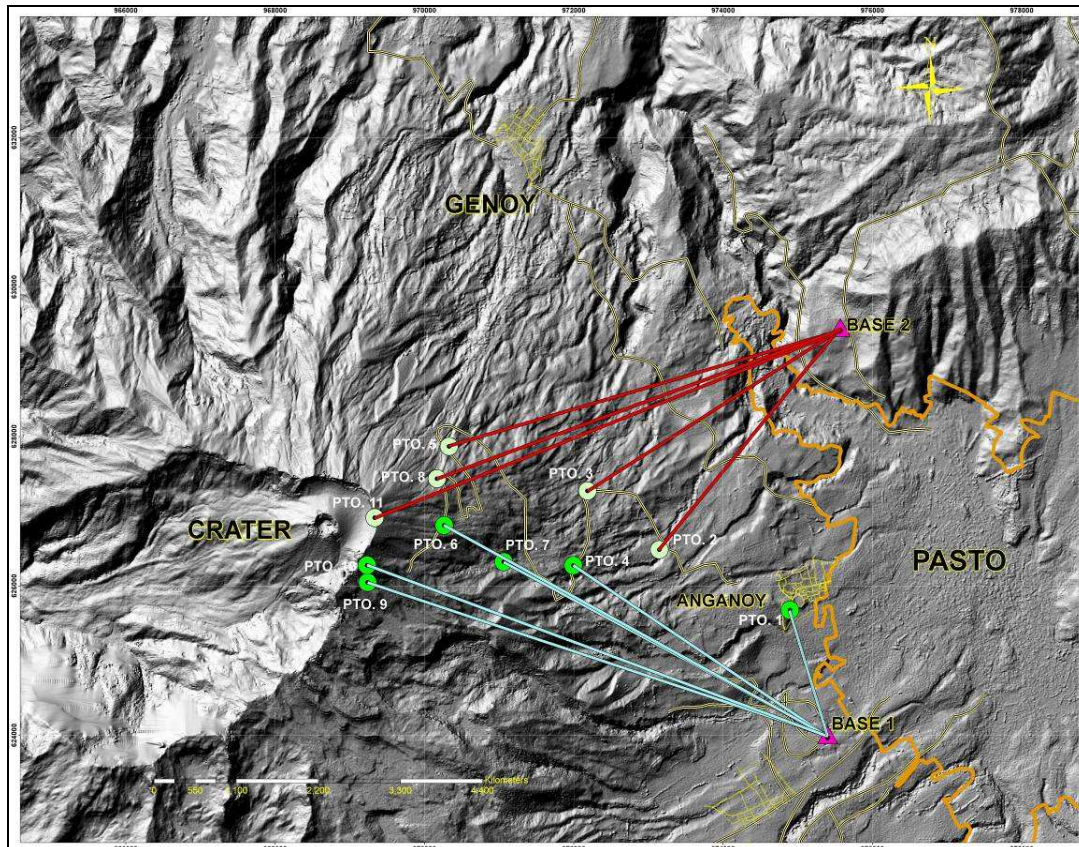


Figura 2.1.68. Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Galeras. Las figuras de color violeta indican la ubicación de la Base 1 y 2, las figuras de color verde (oscuro y claro) indican la ubicación de los prismas reflectores.

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 Primer 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 una red de estaciones localizadas a manera de perfil sobre el recorrido de la carretera de ascenso a la cima.

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 primer 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), como también por medio del 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 2.1.69. 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), mientras la estación climática está por fuera de operación.

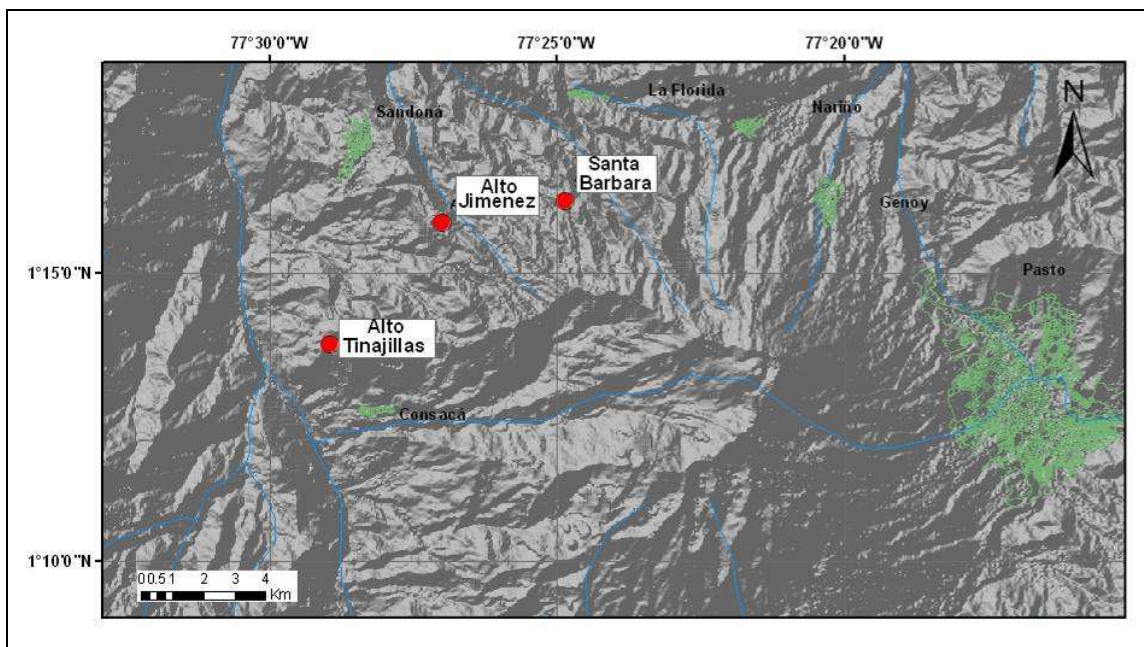


Figura 2.1.69. Localización de las estaciones telemétricas, empleadas en ScanDOAS.

En general, los valores calculados de las emisiones en el mes de enero son considerados como bajos para Galeras, con 26 valores de escaneos, tanto ScanDOAS y MovilDOAS, el valor máximo registrado corresponde al día 31 de enero con un valor de 438 Ton/día. Para el mes de febrero de 15 escaneos con valores, el máximo registrado fue de 492 Ton/día, considerado como Bajo para Galeras. Para el mes de marzo de un total de 28 escaneos con valor se registra un valor máximo de 1995 Ton/día, considerado Alto para Galeras, además en este mes también se obtienen graficas de OMI con un valor máximo de 57 mg/m². Para el mes de Abril, los valores calculados son considerados como Alto para Galeras, con un máximo valor de 1594 Ton/día, de un total de 29 escaneos con valores. El mes de mayo se aprecia una disminución en los valores calculados registrados, con un máximo de 914 Ton/día, de 17 escaneos con valores.

En la Figura 2.1.70., se presenta la relación del Flujo de emisión de SO₂ registrado entre el 1 de julio de 2010 y el 30 de junio de 2011, por los instrumentos ScanDOAS y MovilDOAS de la red de vigilancia del Volcán Galeras.

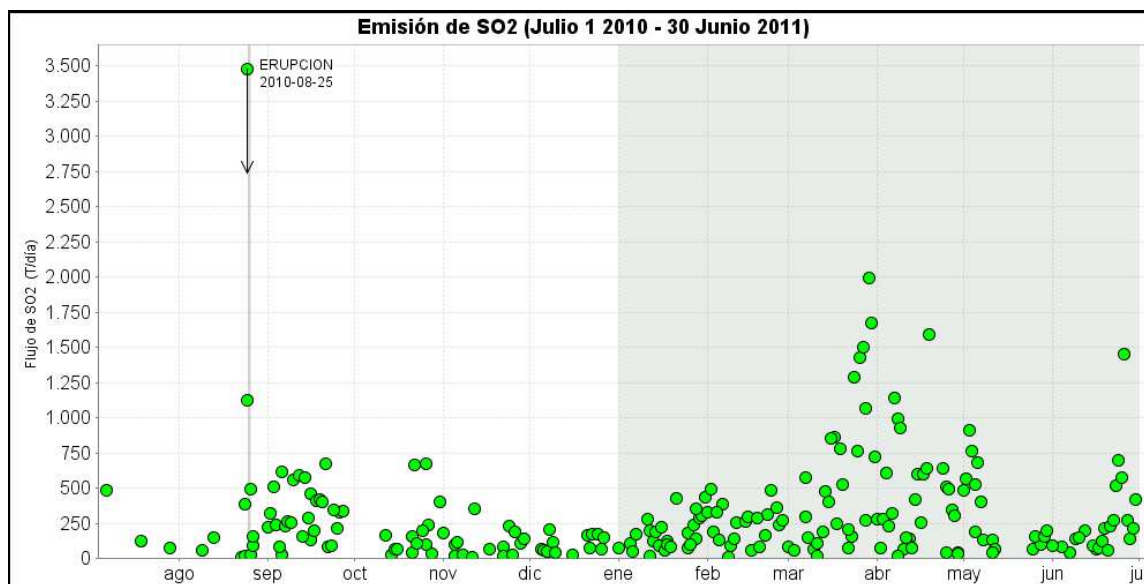


Figura 2.1.70. Flujo de emisión de SO₂ registrado entre el 1 de julio de 2010 y el 30 de junio de 2011, se resalta en gris el periodo evaluado. Flujo de emisión de SO₂ [Toneladas/día]. *Bajo:* < 500; *moderado:* > 500 y < 1000; *alto:* > 1000 y < 3000; *muy alto:* > 3000.

En el periodo evaluado (Enero 1 de 2011 – Junio 30 de 2011), se observa un incremento en el valor de emisión del flujo de SO₂ partir de marzo, el cual se prolonga hasta mayo, teniendo como valor máximo de SO₂ 1995 Ton/día, registrado el 29 de marzo. El mes de junio se evidencia un descenso en los valores de emisión, hasta finales del mismo mes, cuando se observa un incremento de hasta 1455 Ton/día, registrado el 26 de junio de 2011. Los valores registrados en los meses de Marzo y Junio, son considerados Altos para el caso del Volcán Galeras.

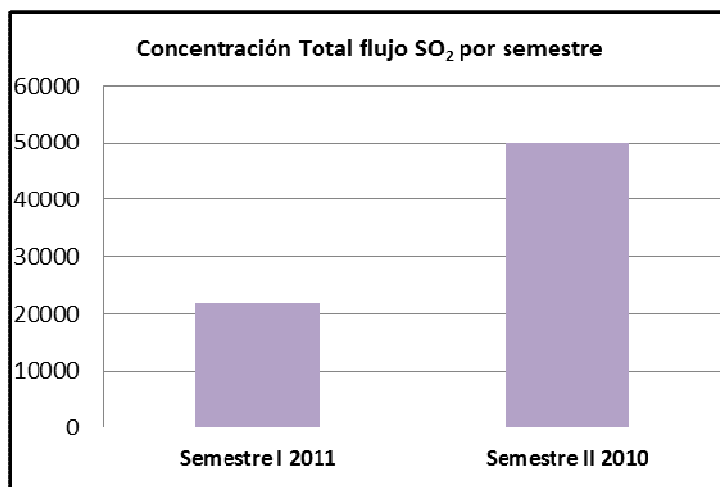


Figura 2.1.71. Total Flujo de SO₂, por semestre

En la Figura 2.1.71, se puede apreciar el comportamiento de los datos, resaltando, con respecto al semestre inmediatamente anterior un marcado incremento tanto en concentración como en escaneos de SO₂. Para el II semestre de 2010 se tiene una concentración de 21745 Ton/día, mientras que en el periodo evaluado se tiene una concentración de 50025.1 Ton/día.

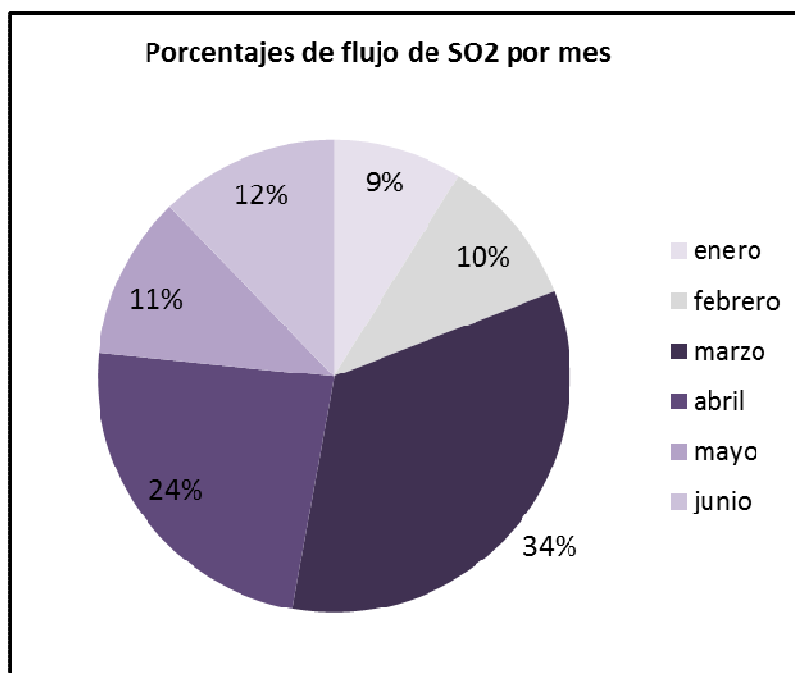


Figura 2.1.72. Porcentajes de emisión de Flujo de SO₂ por mes I semestre 2011.

En la Figura 2.1.72, se presenta el comportamiento de los datos durante el I semestre de 2011 mes a mes, resaltando las mayores concentraciones de emisión de flujo de SO₂ para los meses de Marzo y Abril, 16836 Ton/día y 11914 Ton/día respectivamente.

Durante el I semestre de 2011 también se utilizó la información de las imágenes satelitales capturadas por el sensor OMI (Ozone Monitoring Instrument), acoplado al satélite Aura, el cual monitorea la presencia de algunos gases en la atmósfera, entre ellos el SO₂; se tiene registro de concentraciones de SO₂ emitido por Galeras para los meses de Febrero, con un valor máximo registrado de 5 DU equivalente a 142.5 mg/m²; para Marzo con un valor registrado de 2 DU, equivalente a 57 mg/m²; para el mes de Abril con un valor máximo registrado de 1 DU equivalente a 28,5 mg/m² y Mayo con un valor máximo registrado de 17.1 mg/m². En la Figura 2.1.73. y 2.1.74, se presentan algunas de las imágenes obtenidas por medio del OMI.

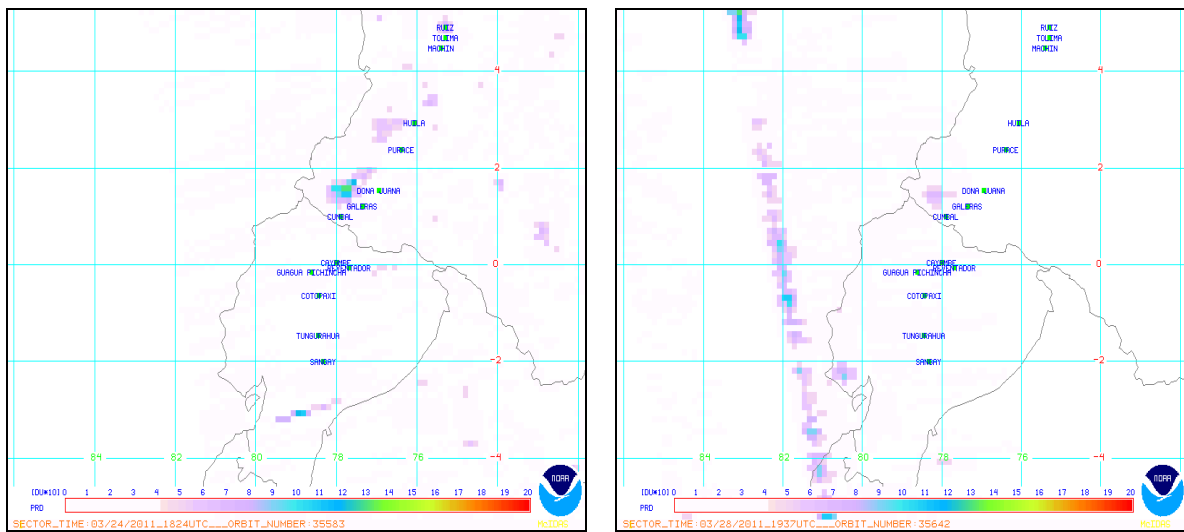


Figura 2.1.73. Imágenes capturadas por el sensor satelital OMI, en las cuales se observa concentración de SO₂ emitido a la atmósfera por Galeras durante los días 24 (izquierda) y 28 (derecha) de marzo de 2011.

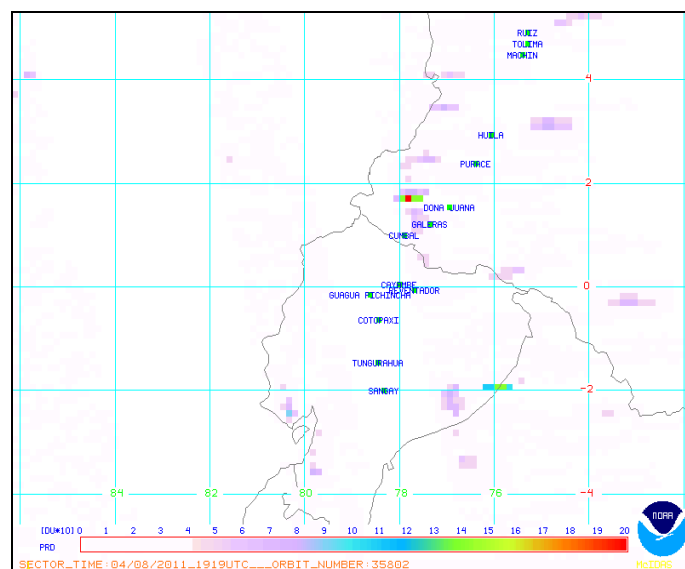


Figura 2.1.74. Concentración de SO₂ del volcán Galeras detectado el 8 de abril de 2011, por el sensor OMI.

2.1.4.2. Mediciones de gas radón Rn_{222} 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 CO_2 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 del gas radón en suelo y buscar la correlación del comportamiento de estas emisiones con los diversos eventos geodinámicos que se investigan y monitorean en los Observatorios Vulcanológicos y Sismológicos. Es así como otra de las herramientas que se ha implementado en la vigilancia de Galeras es el monitoreo del isótopo de gas Radón-222 en la Línea Galeras, formada por 10 estaciones de muestreo ubicadas en la vía a la cima del volcán. Durante el periodo evaluado se realizaron mediciones de radón en los meses de Abril, Mayo y Junio, en las estaciones Caldera, Telecom, Peladitos, Cufiño, Frailejón, Piedras, Mirador, Parques, Lava 2 y Lava 1 cada 7 días. 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 2.1.75. Se observa la relación de la concentración del isótopo Radioactivo RN – 222, registrado entre el 1 de enero de 2011 al 30 de junio de 2011.

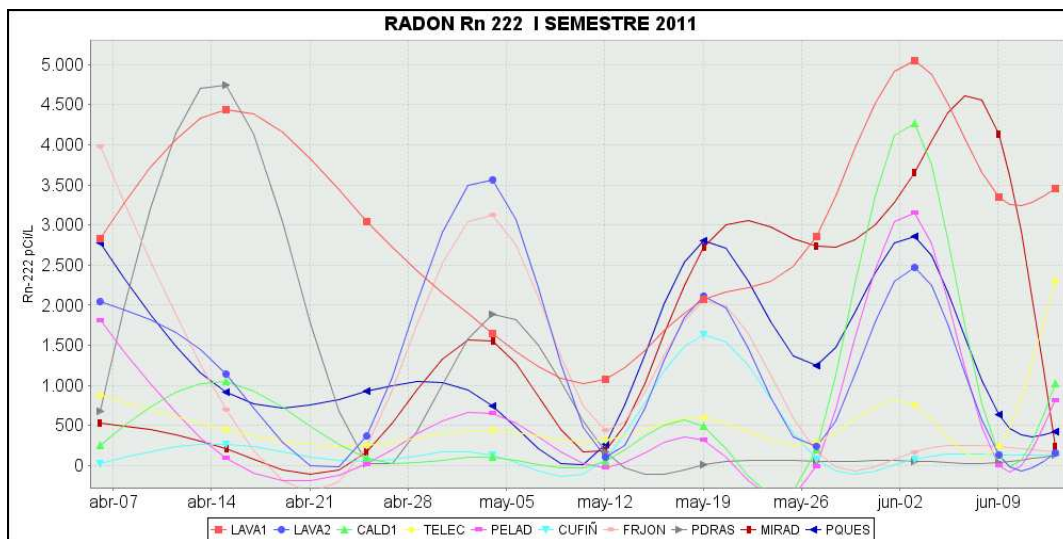


Figura 2.1.75. Concentración del isótopo Radioactivo Rn-222, registrado entre el 1 de julio de 2010 y el 30 de junio de 2011, se resalta en gris el periodo evaluado.

Para el periodo evaluado se tienen datos de concentración del isotopo Radioactivo Rn- 222 a partir del 6 de abril, en las estaciones Lavas 1, Frailejones, Parques, Lavas 2, Peladitos y Telecom; con concentraciones de 876 pCi/L a 3986 pCi/L. Además se observan dos picos de alta concentración a lo largo del periodo evaluado. El primer pico corresponde a valores de concentración de 4440.51 pCi/L y 4748.12 pCi/L en las estaciones Lavas 1 y Piedras respectivamente. La actividad del gas radón para las estaciones anteriormente mencionadas podría asociarse a la actividad sísmica presentada a inicios de abril, donde se registraron 10 eventos tipo VT de los cuales el mayor de ellos se presento el 1 de abril, con una magnitud de 2.4 a una distancia del cráter de 2.3 km y una profundidad de 7.7 km, 125 eventos tipo Lp, 100 eventos tipo hibrido y 1692 eventos no clasificables. En la Figura 2.1.76. se observa la ocurrencia en número de eventos tipo Vt, Lp y Hyb en el mes de Abril.

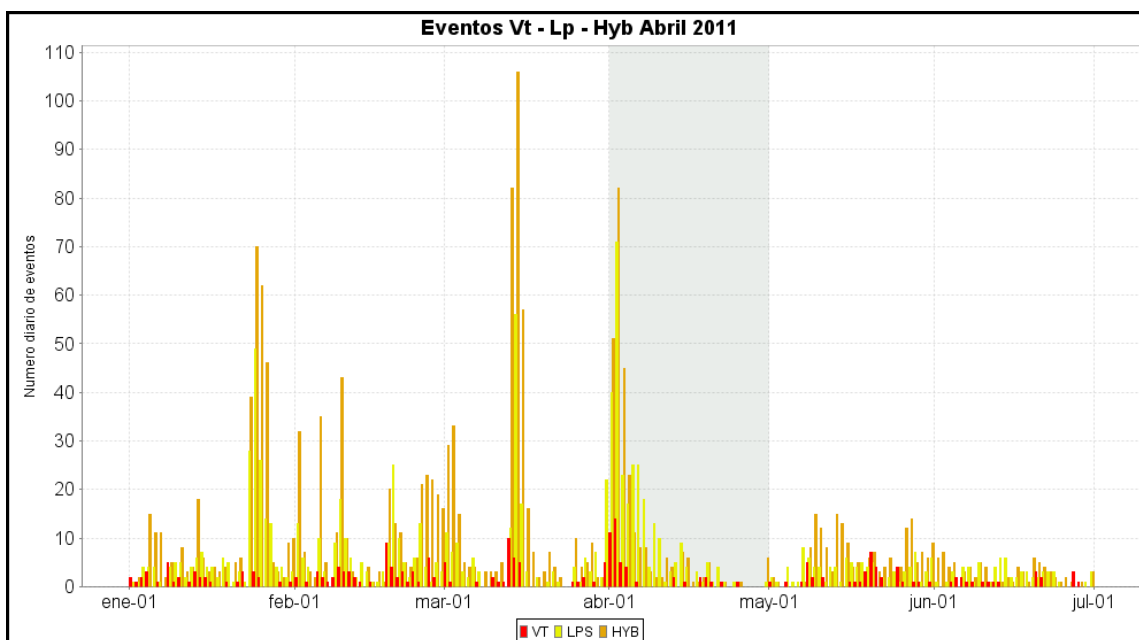


Figura 2.1.76. Conteo de eventos tipo VT, LP y HYB, registrados entre el 1 de enero de 2011 y el 30 de junio de 2011, se resalta en gris el mes de abril de 2011.

El segundo pico corresponde al día 3 de junio, donde se presentan valores de concentración de 5046,37 pCi/L y 4259 pCi/L en las estaciones Lavas 1 y Caldera 1 respectivamente. La actividad del gas radón para las estaciones anteriormente mencionadas podría asociarse a la actividad sísmica presentada a inicios de junio, donde se registraron 7 eventos tipo VT de los cuales el mayor de ellos tuvo una magnitud de 1.6 a una distancia del cráter de 19.29 m y una profundidad de 9.25 km, 18 eventos tipo Lp, 23 eventos tipo hibrido y 523 eventos no clasificables.

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 el registro de imágenes de cámaras web, 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://www.ingominas.gov.co/Nosotros/Políticas-de-Privacidad-y-Terminos-de-Uso.aspx>

En la mayoría de visitas de reconocimiento, orientadas a realizar labores de mantenimiento de la red de monitoreo, adicionalmente se hizo seguimiento de la información de la actividad superficial, se observó la columna de gases de color blanco, tendida hacia el costado sur y sur occidental (Figuras 2.1.77 y 2.1.78) y reportaron fuertes olores a gases azufrados. El 26 de marzo, a partir de las 5:55 a.m. se presentó una emisión de gases, de color blanco, la cual se logra evidenciar más claramente gracias a las imágenes capturadas por la cámara ubicada en Consacá (Figura 2.1.80.), la altura de la columna alcanzó aproximadamente 2000m sobre la cima de Galeras, con tendencia de dispersión hacia el norte, esta emisión se prolongó hasta las 8:30 a.m. y fue el registro mayor durante todo el semestre que en promedio no supero los 700 m de altura sobre la cima volcánica (Figuras 2.1.80, 2.1.81. y 2.1.82, 2.1.83, 2.1.84.). Adicionalmente se tiene reportes de olores a gases azufrados e imágenes de la cima volcánica por parte del señor Mario Caicedo, funcionario de Radio y Televisión de Colombia (RTVC) (Figura 2.1.85.).



Figura 2.1.77. Imágenes de la cima volcánica de Galeras, capturadas por el Personal de Observatorio en reconocimiento realizado el 26 de enero de 2011. En las fotografías se observa salida de gas desde varios sectores de cono activo.



Figura 2.1.78. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la estación CRATER2 ubicada en la cima de Galeras el 18 de abril de 2011 hacia las 12:30 p.m.



Figura 2.1.79. Imágenes del volcán Galeras, en las cuales se observa la emisión de gases registrada en horas de la mañana del 16 de marzo de 2011. La fotografía de la parte izquierda fue tomada desde el Observatorio y a la derecha desde la Población de Consacá.



Figura 2.1.80. Imágenes del volcán Galeras, capturadas desde la sede del Observatorio, el 27 de enero de 2011 en horas de la tarde, a las 6:12 p.m. (izquierda) y 6:14 p.m. (derecha), en las cuales se observa emisión de gases.



Figura 2.1.81. Imágenes del volcán Galeras, del 7 de marzo de 2011. La imagen superior izquierda tomada desde el Observatorio a las 6:29 a.m., la fotografía superior derecha, desde la Población de Consacá, a las 8:27 a.m. y las imágenes de la parte inferior, fueron capturadas desde el Observatorio cerca de las 9:30 de la mañana.



Figura 2.1.82. Imágenes del volcán Galeras, en las cuales se observa la emisión de gases registrada en horas de la mañana del 21 de marzo de 2011. La fotografía la izquierda fue tomada desde el Observatorio y de la parte derecha desde la Población de Consacá.



Figura 2.1.83. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde el municipio de Consacá el 22 de abril de 2011 a las 4:48 p.m. y 6:08 p.m. (Arriba) y vista desde la sede del OVSP a las 6:11 p.m. y 6:36 p.m. (Abajo).



Figura 2.1.84. Registro fotográfico de la emisión de gases observada desde la sede del OVSP el 24 de abril de 2011 a las 6:37 a.m. (Izquierda) y desde la Web ubicada en el municipio de Consacá a las 7:28 a.m. (Derecha).



Figura 2.1.85. Imágenes de la cima volcánica de Galeras, capturadas por el Sr. Mario Caicedo, funcionario de Radio y Televisión de Colombia (RATVC) el 24 de enero de 2011. En las fotografías se observa poca salida de gas desde varios sectores de cono activo.

En el primer semestre de 2011 se realizaron 8 sobrevuelos efectivos, los días 7, 13 y 27 de enero, 6 de febrero, 21 de marzo, 18, 20 y 22 de mayo (Figuras 2.1.86, 2.1.87, 2.1.88 y 2.1.89.); en tres de ellos (7 y 27 de enero y 18 de mayo) se tomaron imágenes térmicas que permitieron observar la variación de las condiciones de temperatura del material rocoso en el cono volcánico, registrándose temperaturas de hasta 300 °C aproximadamente (Figuras 2.1.90, 2.1.91, 2.1.92 y 2.1.93 y Tabla 20).

Los principales focos de emisión identificados 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.

Durante el periodo del presente informe y de acuerdo con el seguimiento aéreo y terrestre, no se evidenciaron cambios significativos en la geomorfología del volcán. De manera general, se mantienen los puntos de emisión, correspondientes a los cráteres y campos fumarólicos, ya identificados en Galeras.

En reconocimiento aéreo realizado el 7 de enero de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana FAC (Helicóptero Huey II), fue posible capturar fotografías e imágenes térmicas del cono volcánico de Galeras. En las imágenes se evidenció emisión de gases desde varios sectores alrededor del cono activo, incluyendo los campos fumarólicos localizados en el costado norte, alineados a manera de una posible fisura, los cuales fueron reportados en el sobrevuelo realizado el 27 de diciembre de 2010 (Figura 2.1.86.).

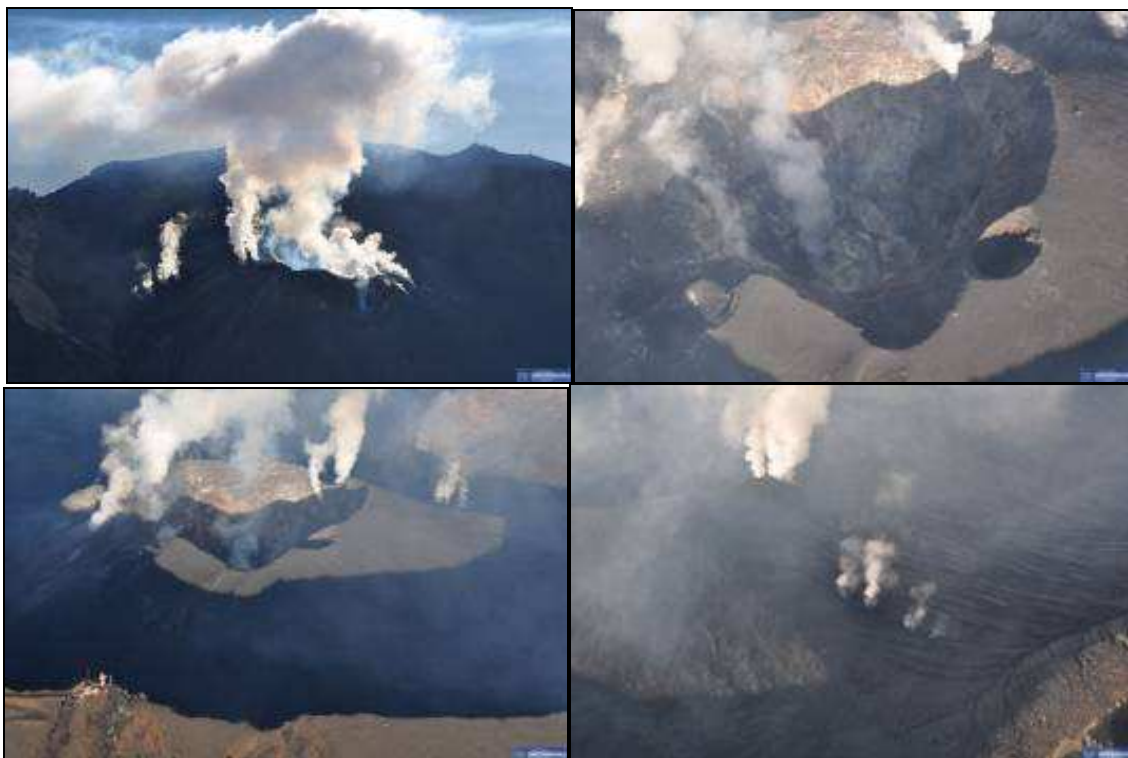


Figura 2.1.86. Registro fotográfico tomado durante el sobrevuelo a la zona de influencia de Galeras, el cual se realizó en horas de la mañana del 7 de enero de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. En las fotografías se observa la salida de gas de varios de los cráteres secundarios de Galeras y desde los focos alineados a manera de una fisura radial en el flanco norte del cono.

En reconocimiento aéreo realizado el 27 de enero de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana FAC (Helicóptero Huey II), fue posible capturar fotografías e imágenes térmicas del cono volcánico de Galeras. En las imágenes se evidenció salida de gases desde varios sectores del cráter, con dispersión hacia el Noroccidente y en comparación con anteriores imágenes, se observó un leve incremento en la cantidad de gases emitida (Figura 2.1.87.).

Tabla 2.1.11. Sobrevuelos realizados con las temperaturas máximas obtenidas en varias zonas del volcán Galeras durante el segundo semestre de 2011.

Fecha sobrevuelo	Zona anomalía térmica en °C				
	Fondo cráter	El Paisita	El Paisita interno	Las Chavas	Las Deformes
7 de enero	290	138	70	62	31
27 de enero	293	82	37	23	13
6 de febrero	236	45	26	23	13
18 de mayo	171	205	54	26	18



Figura 2.1.87. Registro fotográfico tomado durante el sobrevuelo a la zona de influencia de Galeras, el cual se realizó en horas de la mañana del 27 de enero de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. En las fotografías se observa la salida de gas de varios de los cráteres secundarios de Galeras y desde los focos alineados a manera de una fisura radial en el flanco norte del cono.



Figura 2.1.88. Registro Fotográfico de la emisión de gases observada durante el sobrevuelo efectuado el día 6 de febrero de 2011 en horas de la mañana con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. El óvalo rojo en la imagen superior derecha, resalta los focos de emisión de gases alineados a manera de una fisura radial en el flanco norte del cono.



Figura 2.1.89. Registro fotográfico tomado durante el sobrevuelo a la zona de influencia de Galeras, el cual se realizó en horas de la mañana del 21 de marzo de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana. En las fotografías se observa la salida de gas desde varios de los cráteres secundarios de Galeras y desde los focos alineados a manera de una fisura radial en el flanco norte del cono.

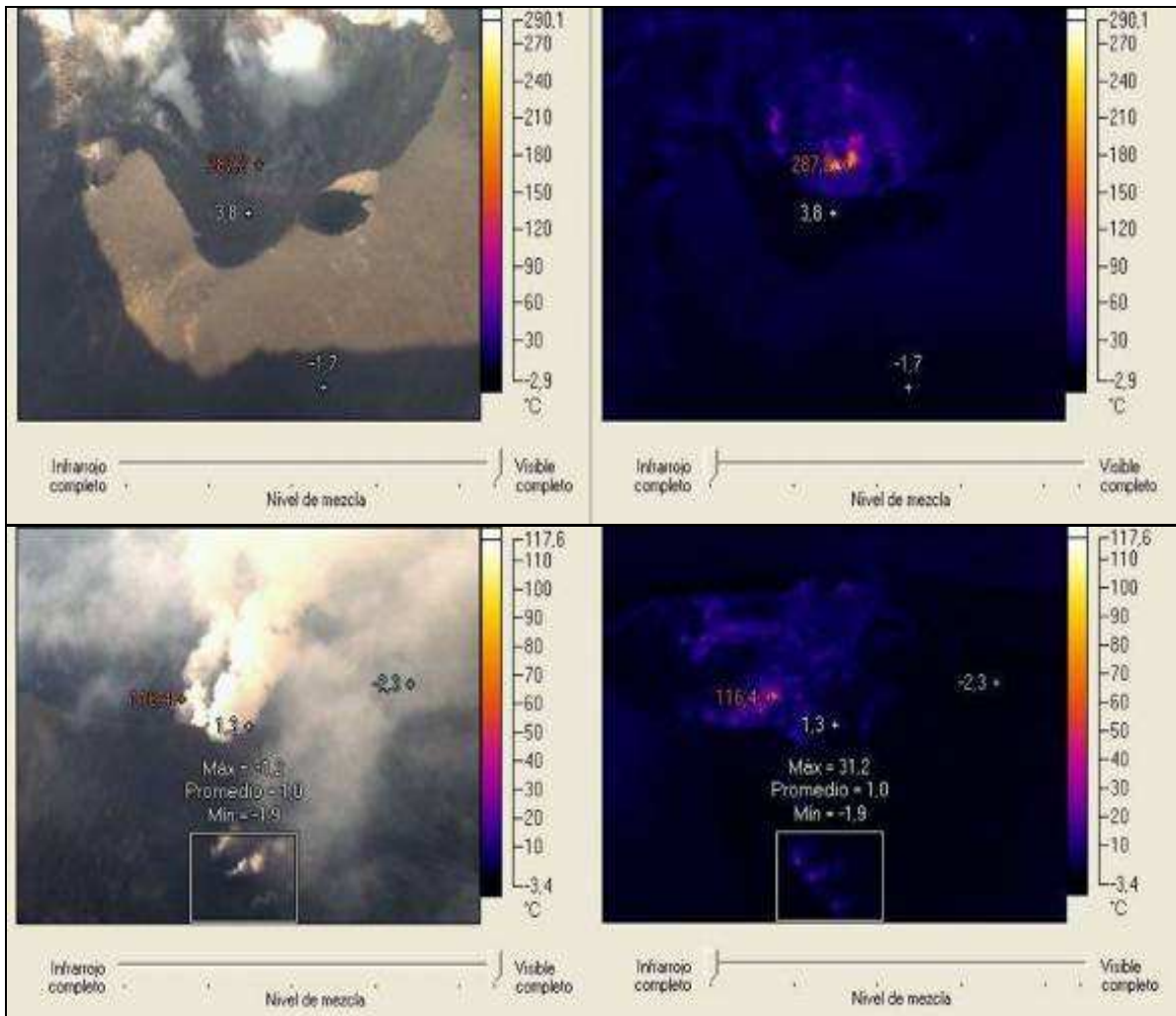


Figura 2.1.90. Imágenes térmicas capturadas el 7 de enero de 2011 del cono activo de Galeras. El recuadro en la fotografía resalta los campos fumarólicos localizados en el costado norte, alineados a manera de una posible fisura.

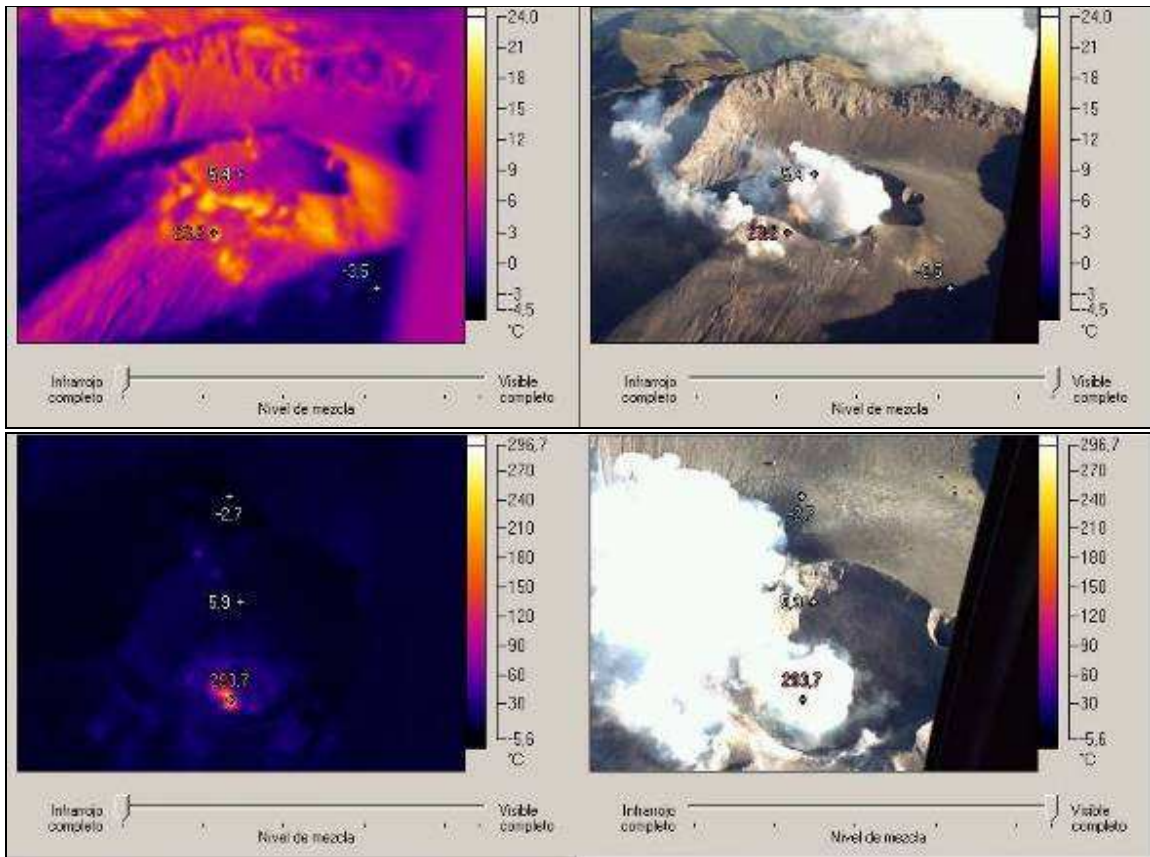


Figura 2.1.91. Imágenes térmicas capturadas el 27 de enero de 2011 del cono activo de Galeras, en sobrevuelo efectuado en horas de la mañana con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana.

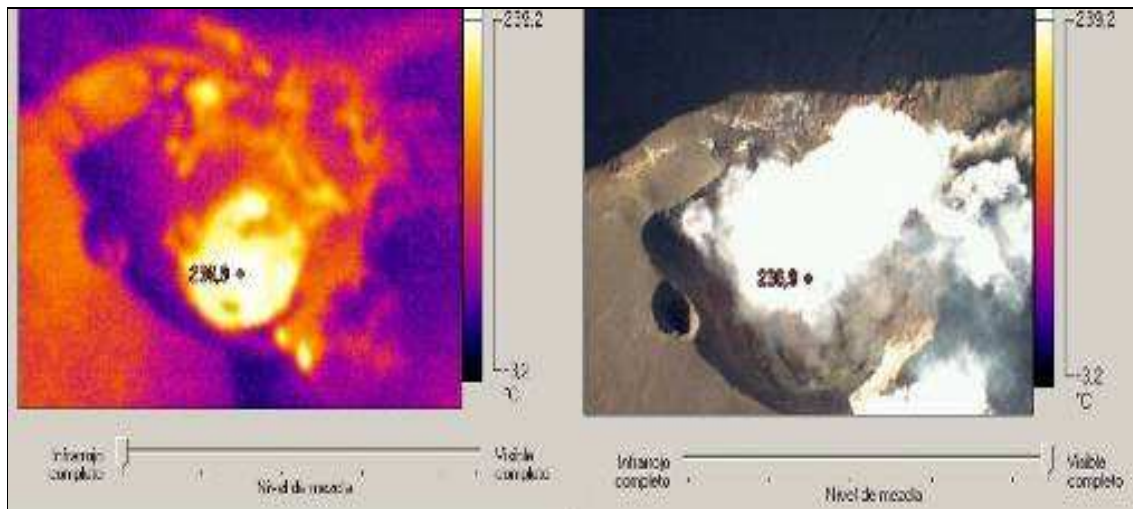


Figura 2.1.92. Imágenes térmicas capturadas el 6 de febrero de 2011 del cono activo de Galeras. El recuadro en la fotografía, resalta los campos fumarólicos localizados en el costado norte, alineados a manera de una posible fisura.

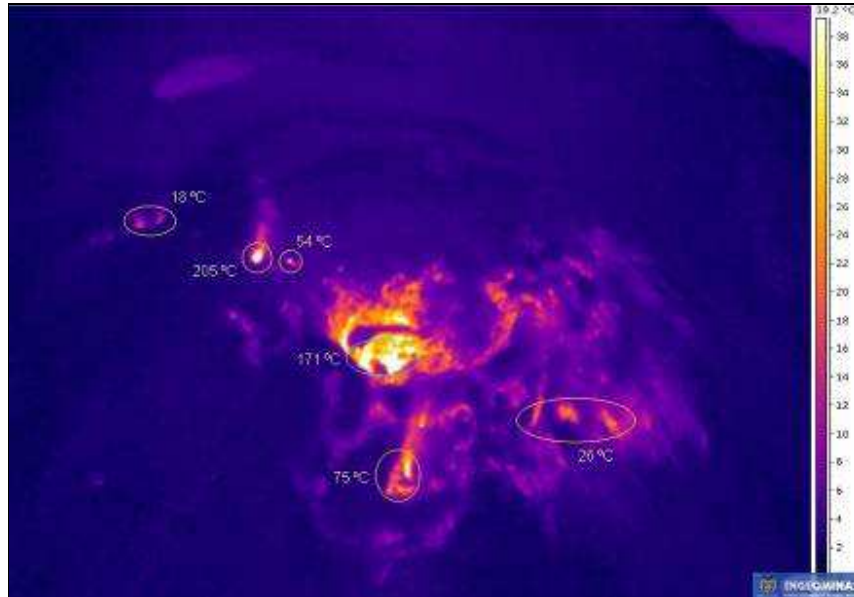


Figura 2.1.93. Imagen térmica del cono activo del volcán Galeras, capturada durante el sobrevuelo efectuado en horas de la mañana del 18 de mayo de 2011, en la cual se observan varias anomalías térmicas.

2.1.6. Conclusiones

- Durante el primer semestre del 2011, en un periodo que en general se puede considerar de bajos niveles de ocurrencia y energía en la actividad volcánica de Galeras, se generaron condiciones interpretadas como de sobrepresión, que se evidenciaron tanto con la ocurrencia de enjambres de eventos tipo HYB, como con el incremento en la ocurrencia de eventos no clasificables y con el registro de eventos tipo TOR. Esto motivó el cambio de nivel de actividad de Galeras a un estado de mayor atención, o Nivel II entre el 26 de enero y el 8 de febrero de 2011. Sin embargo, la evaluación de los diferentes parámetros de monitoreo permitieron retomar el Nivel III, al analizar que, posteriormente a estos periodos de sobrepresión se comenzaron a manifestar condiciones de liberación de dichas presiones, con un ligero incremento tanto en el registro de sismicidad de tránsito de fluidos, así como también en las concentraciones de dióxido de azufre a la atmósfera, algunas de las cuales fue posible observar desde los diferentes focos de emisión del cono volcánico obtenidos por medio de los registros filmicos y fotográficos, durante sobrevuelos al volcán o por medio de las cámaras web instaladas para el monitoreo del Galeras.
- En la sismicidad relacionada con fracturamiento del material rocoso se identifica una fuente localizada epicentralmente en inmediaciones del cráter volcánico, a distancias menores a 1 km., y profundidades menores a 1 km., que es consistente con la sismicidad predominante, pues está relacionada con el rompimiento a niveles superficiales y el posterior transito de fluido a la atmosfera que se corrobora con las emisiones de gas a la atmósfera. La segunda fuente se ubicó mas dispersa, a profundidades entre 1 y 3 km., y con una distribución epicentral SE a NW. El tercer grupo de localizaciones se distribuyo de manera mucho mas dispersa, con profundidades entre 3 y 12 km., cubriendo una mayor extensión epicentral del área de estudio. Las magnitudes registradas estuvieron entre -0.4 y 2.4 en la escala de Richter.



- Consistente con los registros sismológicos, las emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2) a la atmósfera, provenientes de los procesos de actividad del volcán Galeras, mostraron sus valores máximos en épocas de mayor recurrencia sísmica, con valores de alrededor de 2000 Tn/día, evaluados a mediados del mes de marzo, evidenciando una posible correlación entre los procesos de emisión y la sismicidad registrada.
- Por medio de los registros de las cámaras web, de las imágenes obtenidas por personal en trabajos en campo y durante sobrevuelos de reconocimiento a la cima del volcán, se evidenciaron procesos de emisión desde los diferentes focos del cono volcánico, como la parte interna del cono, los cráteres secundarios Las Deformes, Las Chavas y El Paisita, y desde la grieta, formada por una alineación de campos fumarólicos, localizados en el costado Norte el cono. Generalmente las emisiones presentaron tonalidad blanca. Estos focos de salida de gases corresponden a los que normalmente se han identificado en Galeras en los últimos años. Adicionalmente, las imágenes térmicas de mayo muestran valores promedio de 170°C en el fondo del cráter principal y de 205°C en el cráter secundario "El Paisita", ubicado al norte del cono activo.

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, donde sus depósitos se asocian con flujos de lava, flujos piroclásticos y cenizas. La amenaza que la actividad de este volcán puede generar se relaciona con la ocurrencia de flujos piroclásticos, flujos de lodo o lahares y caídas de ceniza.

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).

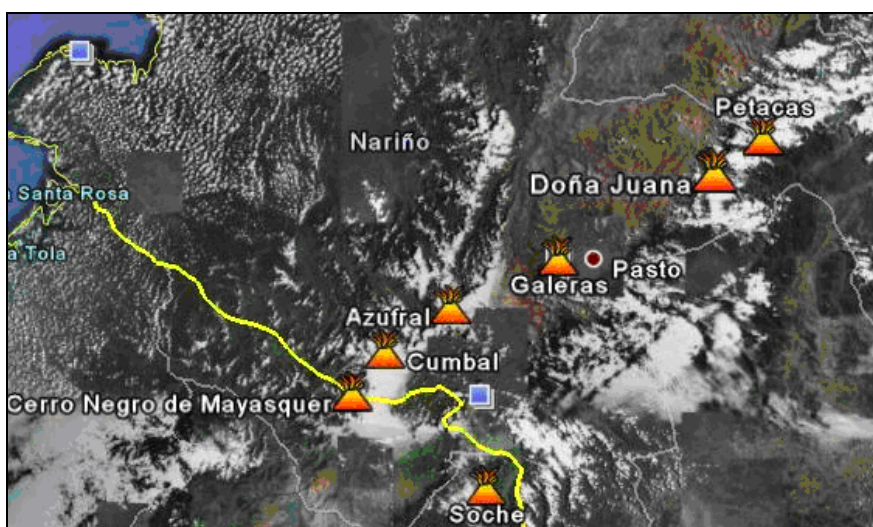


Figura 2.2.1. Imagen tomada de Google Earth en donde se observan algunos volcanes del sur de Colombia y del norte del Ecuador, entre ellos están Doña Juana, Galeras, Azufral y Cumbal, monitoreados por el OVSP - INGEOMINAS.



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

2.2.1. Red de vigilancia

Durante el primer 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 2.1.1.). La recepción de la información que detectan estas estaciones en la sede del OVSP, se realiza a través de una red telemétrica tipo punto a punto con dos repetidoras instaladas en el cerro Morasurco y en la estación Cufiño del volcán Galeras.

Adicionalmente, para el procesamiento de la información sismológica se cuenta con la información de la estación sismológica de corto periodo, 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 2.2.3.).

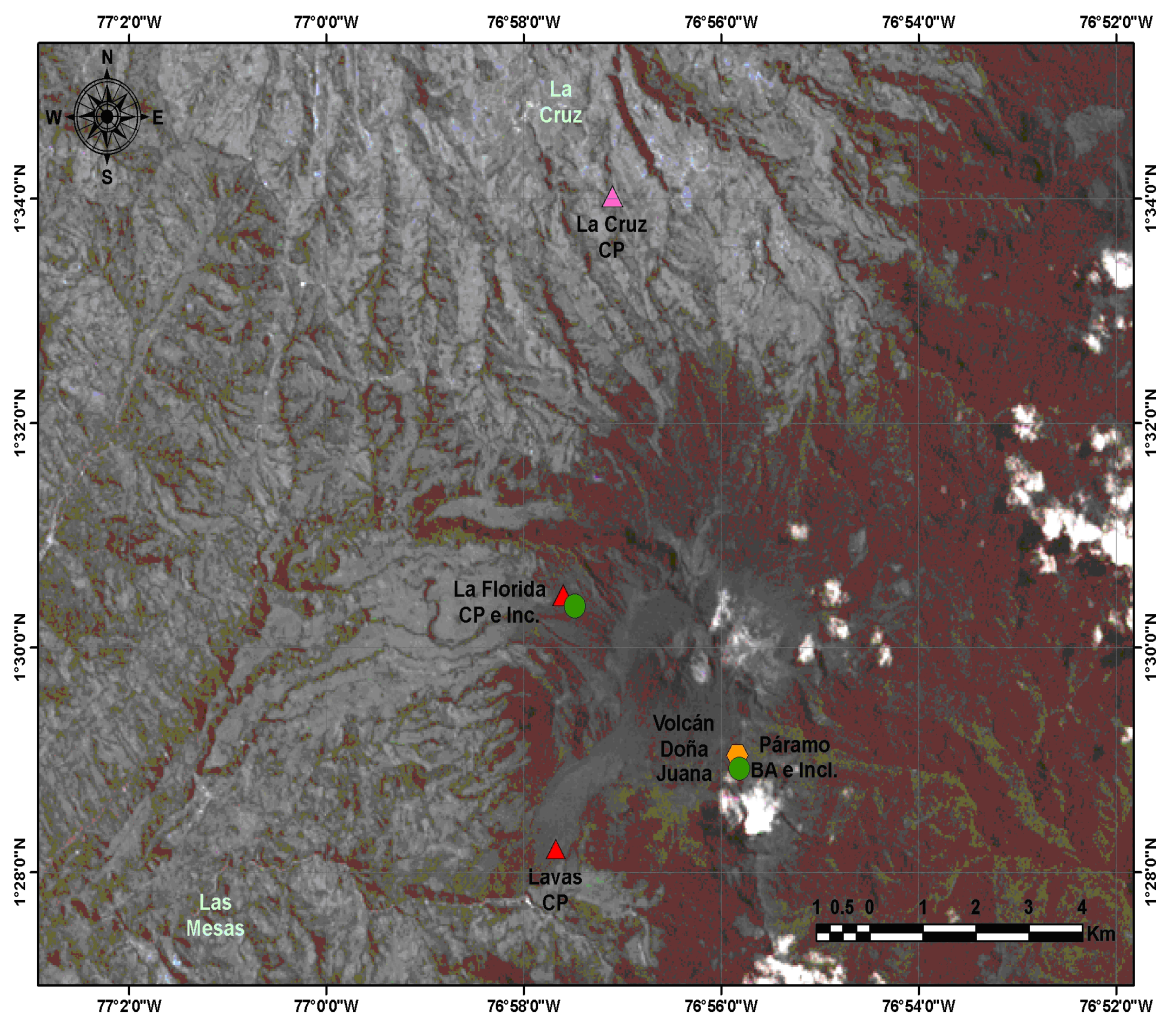


Figura 2.2.3. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2011. Los triángulos rojos simbolizan las estaciones sismológicas de corto periodo, los círculos verdes los inclinómetros electrónicos y el hexágono amarillo la 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 primer semestre de 2011.

Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia a los Domos (km)	Dirección respecto a los Domos	Altitud (m.s.n.m.)
Lavas	Análogica	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

- Dos inclinómetros electrónicos telemétricos (Figura 2.2.3, Tabla 2.2.1.). La transmisión de los datos se realiza usando una red telemétrica tipo punto-multipunto configurada para los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño.

Las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Doña Juana tuvieron un funcionamiento total del 73% (Figura 2.2.4.). No se tuvo un 100% de funcionamiento, debido principalmente a los problemas presentados en la estación de inclinometría electrónica Páramo, debido a daño en el sensor ocasionado por humedad, problemas de radio enlace, interferencias que afectaron la calidad de la señal y por daño de equipos en una de las estaciones que repite la señal hasta el OVP:

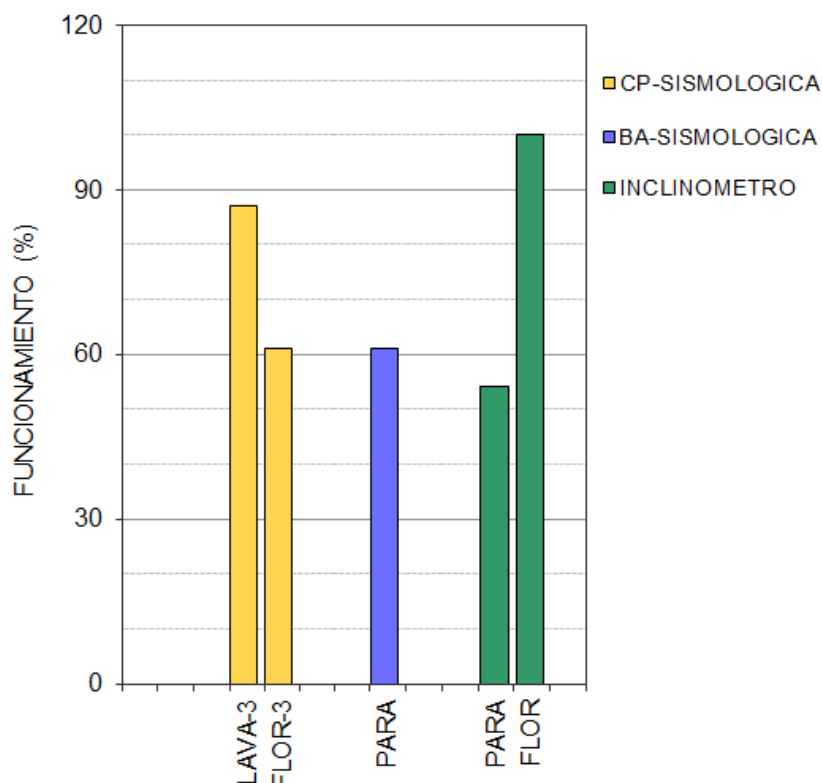


Figura 2.2.4. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Doña Juana.



Libertad y Orden

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 primer semestre de 2011.

FECHA	ESTACION	DESCRIPCIÓN
Enero	Páramo	Desde el 15 de enero, las componentes horizontales presentaron problemas en su funcionamiento, debido a que personas ajenas movieron el sensor dejándolo desnivelado. El día 21 de enero se restableció su funcionamiento.
Febrero	Lavas	Se tuvieron lapsos de tiempo sin información debido a falta de fluido eléctrico en la repetidora Morasurco-1.
Marzo	Morasurco-1	Se cambió la fuente de alimentación que carga las baterías. Desde esta estación se repite las señales de las estaciones Sismológica Lavas e inclinómetro Páramo, del volcán Doña Juana.
Abril	Páramo Florida	El 13 de abril se deja de recibir datos de la estación Cufiño y de las que repiten en este sitio (Páramo y Florida), debido a daños ocasionados por una tormenta eléctrica. La señal de la estación Cufiño se restablece el 19 de abril.
Mayo	Páramo Florida	El 3 de mayo se recibe nuevamente la señal de la estación Páramo y el 5 de mayo de la estación Florida (sismológica e inclinómetro electrónico).
Junio	Inclinómetro Páramo	Se retira el sensor, debido a daño ocasionado por inundación en el sistema de protección.

2.2.2. Sismología

Durante el primer semestre de 2011 la sismicidad en general se mantuvo en niveles bajo y estuvo principalmente asociada con fracturamiento de material sólido, sismos tipo VT. Respecto al segundo semestre de 2010 se observa una ostensible disminución en la ocurrencia (Figura 2.2.5.). En esta figura también se resalta un pico de ocurrencia a finales del mes de enero de 2011. Se resalta un pico el día 23 de enero de 2011 en que ocurrieron 61 sismos VT cuyas magnitudes locales estuvieron entre 0.2 y 3.1 en la escala de Richter.

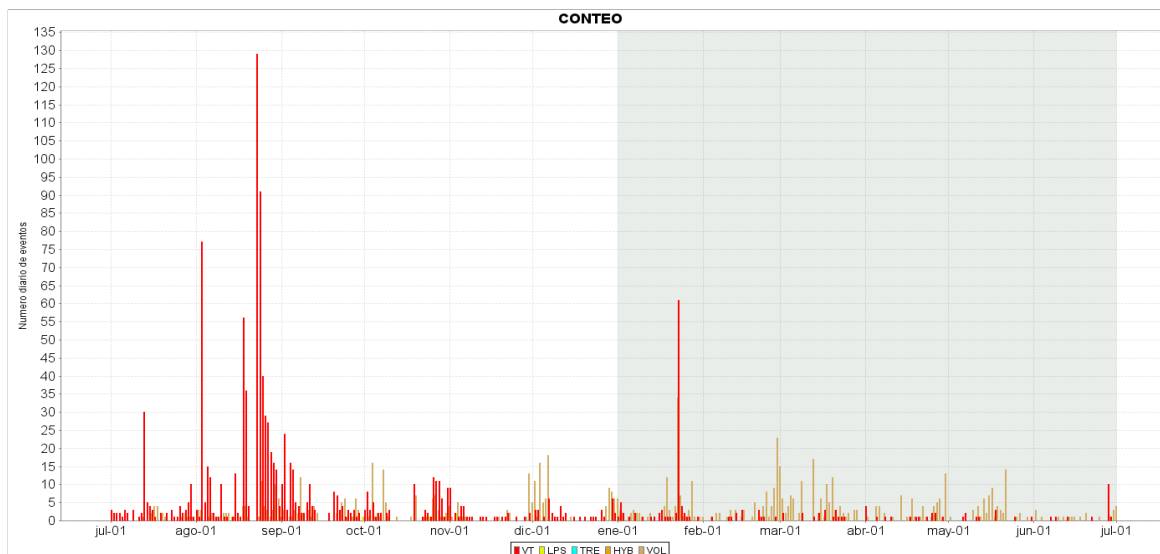


Figura 2.2.5. Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde julio de 2010 a junio de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

A manera de ejemplos de la sismicidad del volcán Doña Juana, en las Figuras de la 2.2.6 a 2.2.8. se muestran registros asociados con actividad de este volcán, junto con su espectro de Fourier.

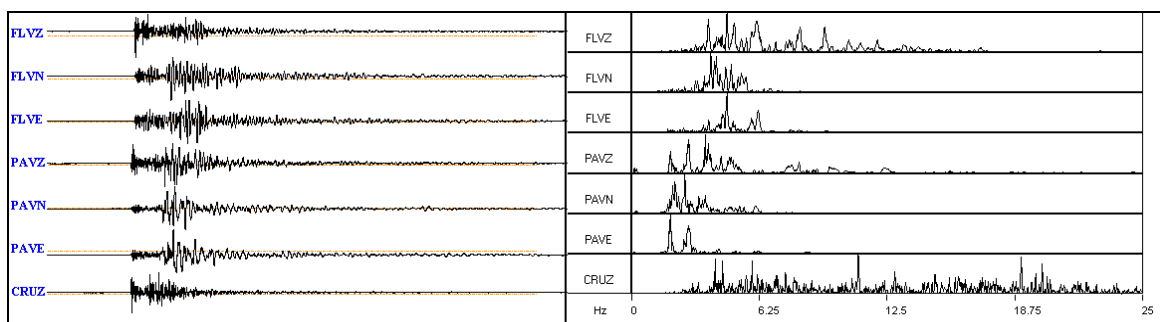


Figura 2.2.6. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo VT de magnitud local 1.6 en la escala de Richter, ocurrido el 23 de enero de 2011, a las 8:19 a.m.

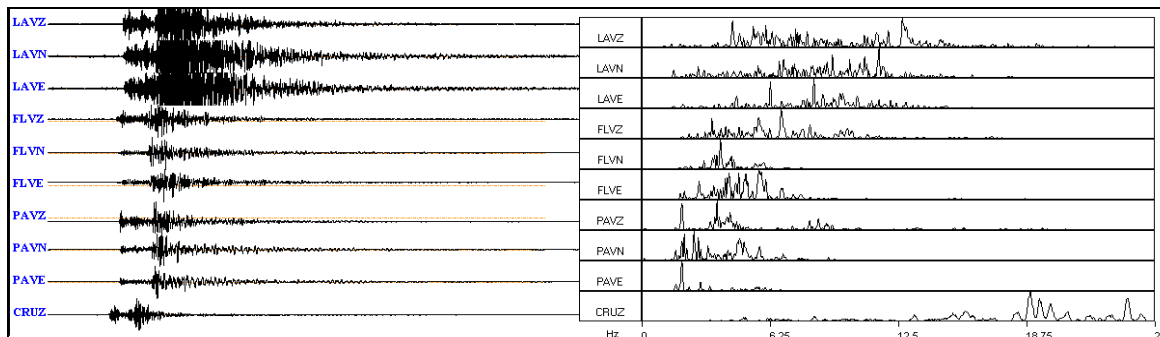


Figura 2.2.7. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo VT de magnitud local 2.1 en la escala de Richter, ocurrido el 23 de marzo de 2011, a las 8:32 a.m.

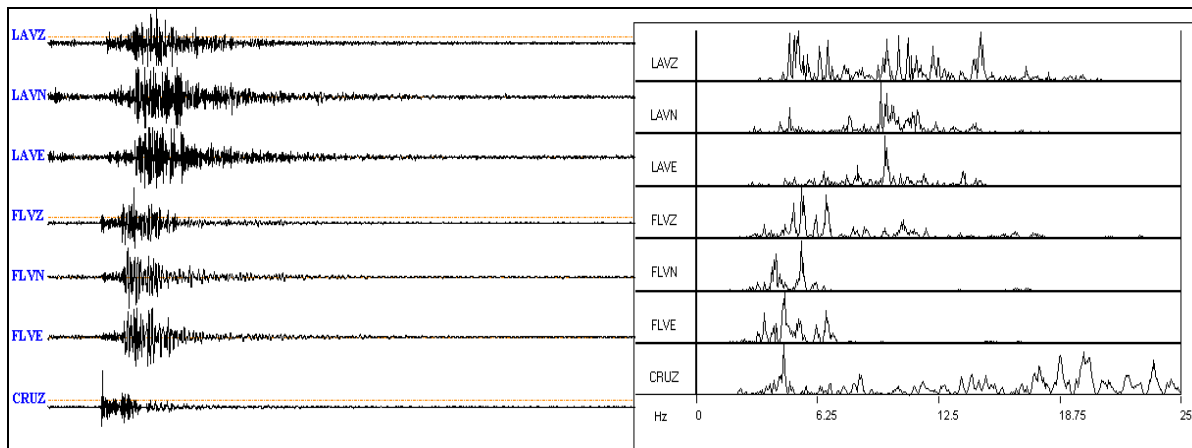


Figura 2.2.8. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo VT de magnitud local 1.7 en la escala de Richter, ocurrido el 7 de mayo de 2011, a las 8:41 a.m.

2.2.3. Deformación

2.2.3.1. Inclínometría 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 10 de abril de 2011, el comportamiento ascendente mostrado desde el 12 de julio de 2010, registrando cerca de 2040 μ rad, posteriormente se observó una tendencia descendente, mientras que en la Radial se observó un comportamiento descendente entre el 12 de julio de 2010 y el 30 de marzo de 2011, totalizando 5420 μ rad, luego se presentó un ascenso (Figura 2.2.9.). Con respecto al inclinómetro Páramo, se observó que continuo el comportamiento descendente en la componente Radial mostrado desde el 11 de junio de 2009 y hasta el 15 de junio de 2011, alcanzó cerca de 85 μ rad, en la componente Tangencial se observa que el registro tiende a estabilizarse pasando de variaciones de 24 μ rad a los 6 μ rad (Figura 2.2.10).

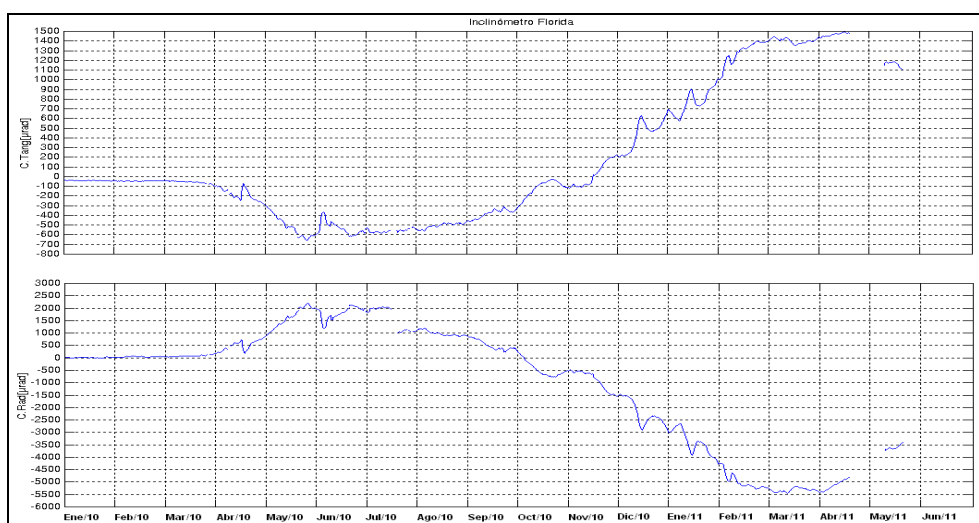


Figura 2.2.9. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Florida, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2010 y el 30 de junio de 2011.

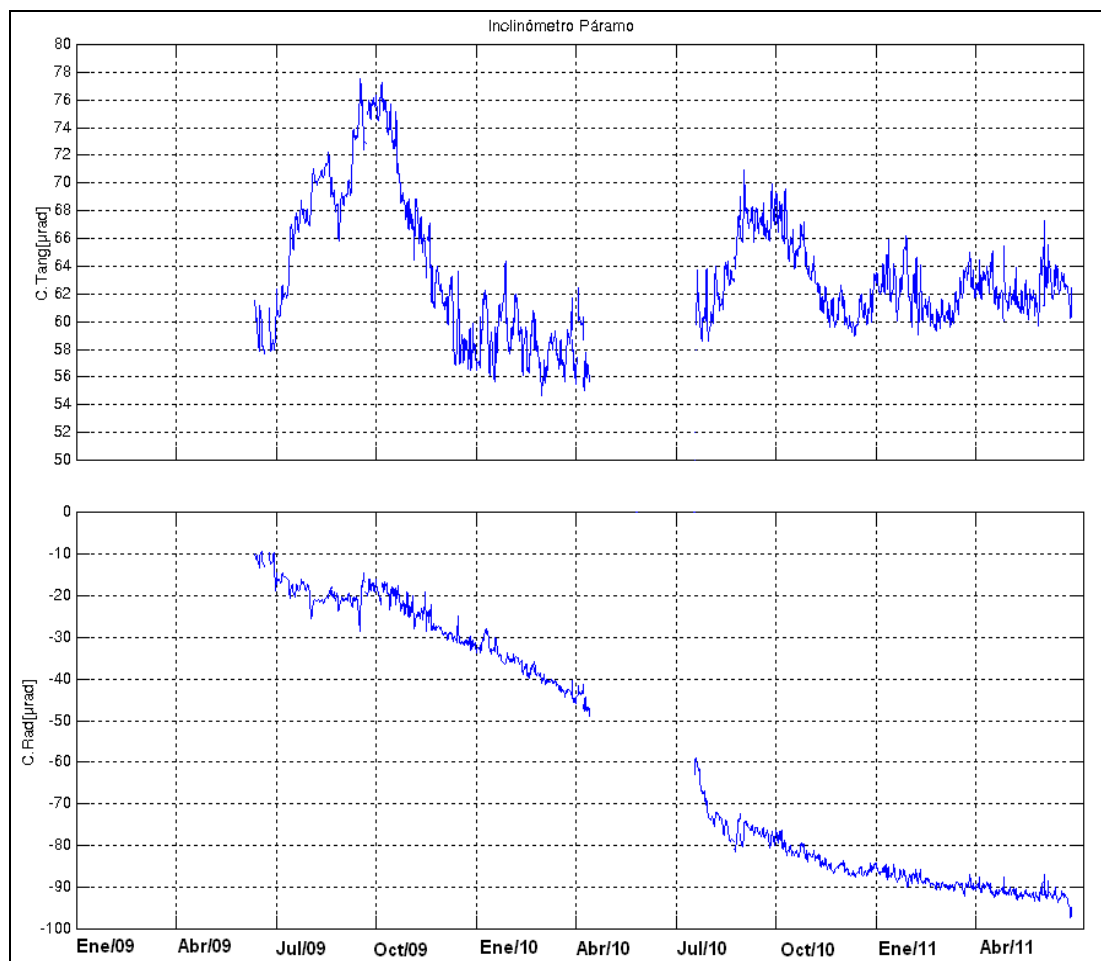


Figura 2.2.10. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Páramo, instalado en el volcán Doña Juana, para el periodo comprendido entre el 11 de junio de 2009 y el 15 de junio de 2011.




2.2.4. Fisicoquímica

2.2.4.1. Muestreo de Aguas Termales

En junio se realizó el muestreo de las nuevas fuentes termales Animas I, Animas II 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.

Se establecieron las coordenadas geográficas y la altitud de los puntos de muestreo mediante GPS. A continuación se describe la ubicación de las fuentes termales (Tabla 2.2.3.).

Tabla 2.2.3: Ubicación de las fuentes termales del volcán Doña Juana.

FUENTE TERMAL		COORDENADAS		ALTURA
		Latitud Norte	Longitud Occidental	
Animas I		01° 34' 30.4"	76° 55' 3.1"	2586 msnm
Animas II		01° 35' 0.2"	76° 55' 10.2"	2486 msnm
El Silencio		01° 28' 2.3"	76° 58' 26.6"	2458 msnm

Se realizó la medición de parámetros fisicoquímicos como Temperatura y pH. Si la temperatura es menor a 30°C se hace la medición de conductividad. En la tabla 7 se indican los parámetros medidos in situ.

Tabla 2.2.4: Parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Doña Juana

FUENTE TERMAL	pH	Temperatura	Conductividad
Animas I	6.5	41.2°C	-
Animas II	6.4	64.4°C	-
El Silencio	6.1	26.6°C	0.59 mS/cm

En la tabla 2.2.5. se presenta la concentración en mg/L para Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻ y CO₂.

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

MUESTRA	Cl^- mg/L	SO_4^- mg/L	CO_3^- mg/L	HCO_3^- mg/L
Animas I	900.43	670.63	0	687.7
Animas II	1442.82	822.71	0	1152.9
El Silencio	428.945	749.38	0	100.8

En las fuentes termales Animas I, Animas II se observó burbujeo de gases, mientras que en El Silencio no se observó dicho burbujeo.

2.2.5 Actividad superficial

La actividad superficial del volcán Doña Juana durante el primer semestre de 2011, se documentó a partir de reportes e imágenes capturadas por personal del INGEOMINAS que realiza trabajos de mantenimiento en las estaciones

El 21 de enero de 2011, personal del Observatorio que realizaba trabajos y mantenimiento de la estación Páramo, capturó algunas imágenes del volcán Doña Juana (Figura 2.2.11.).



Figura 2.2.11. Imágenes del volcán Doña Juana, capturadas por Personal del OVSP el 21 de enero de 2011.

2.2.6. Conclusiones

- La actividad mas representativa del volcán Doña Juana fue aquella que se asocia con procesos de fracturamiento de material rocoso, resaltándose el 23 de enero, por la ocurrencia de un enjambre de alrededor de 61 sismos de este tipo, localizados aproximadamente a 7 km al NE del volcán y a profundidades entre 6 y 8 km. Las magnitudes que registraron estos eventos fueron menores de 3.1 en la escala de Richter.
- La evaluación y análisis de los parámetros monitoreados durante el Primer Semestre de 2011, sugirieron que el volcán Doña Juana mantuvo un comportamiento relativamente estable, lo que permitió establecer el **NIVEL (IV) VERDE ●** : “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.

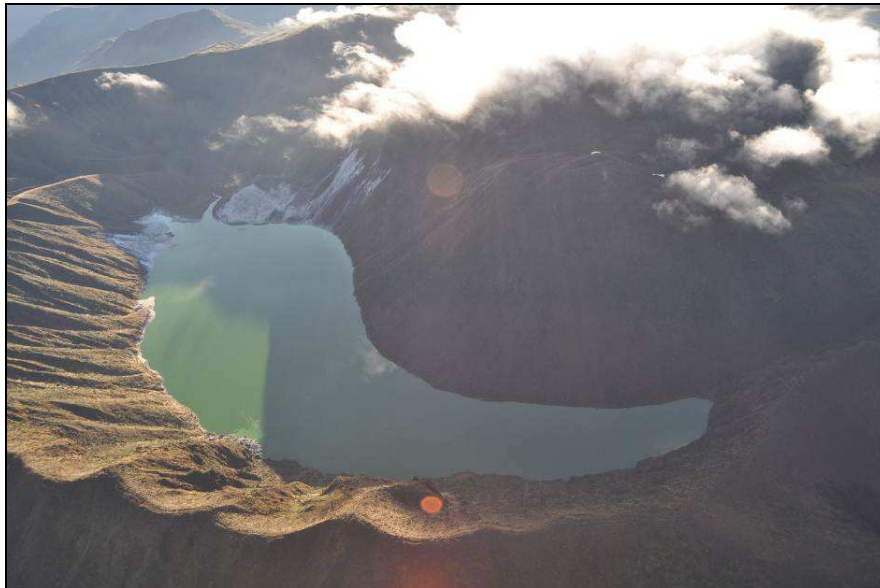


Figura 2.3.1. Panorámica de la laguna cratérica del volcán Azufral. Nótese el domo pequeño de color claro en la parte izquierda de la imagen y detrás de la laguna, los grandes domos. Septiembre 4 de 2008, 12:10 p.m.

2.3.1 Red de vigilancia

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

- Dos estaciones sismológicas telemétricas (una triaxial de Banda Ancha y una triaxial de corto periodo (Figura 2.3.2, Tabla 2.3.1.). A través de una red telemétrica tipo punto a punto se recibe la información suministrada 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 electrónico telemétrico (Figura 2.3.2, Tabla 2.3.1). La transmisión de los datos se realiza usando una red telemétrica tipo punto-multipunto configurada para los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño.

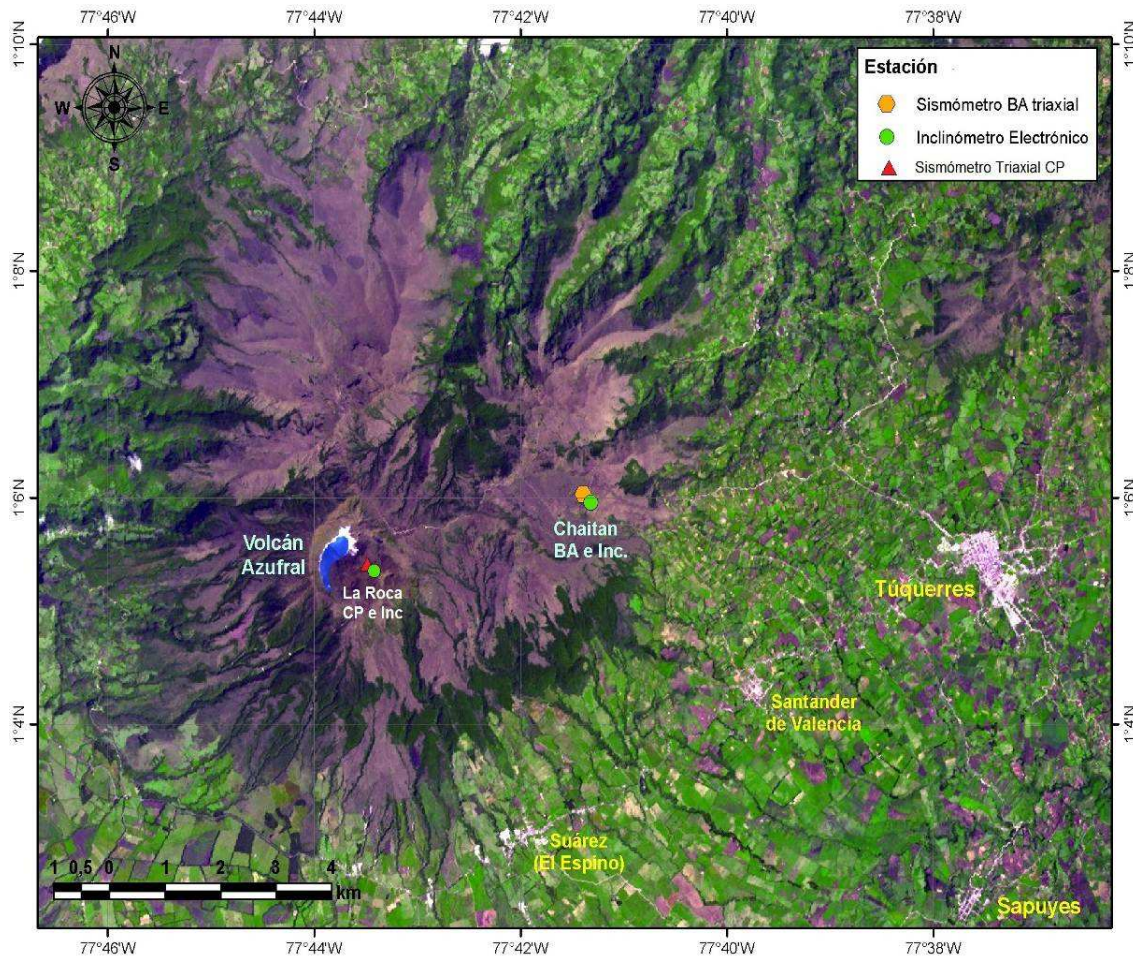


Figura 2.3.2. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufraal durante el primer semestre de 2011.

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

Estación	Transmisión de datos	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 Corto 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

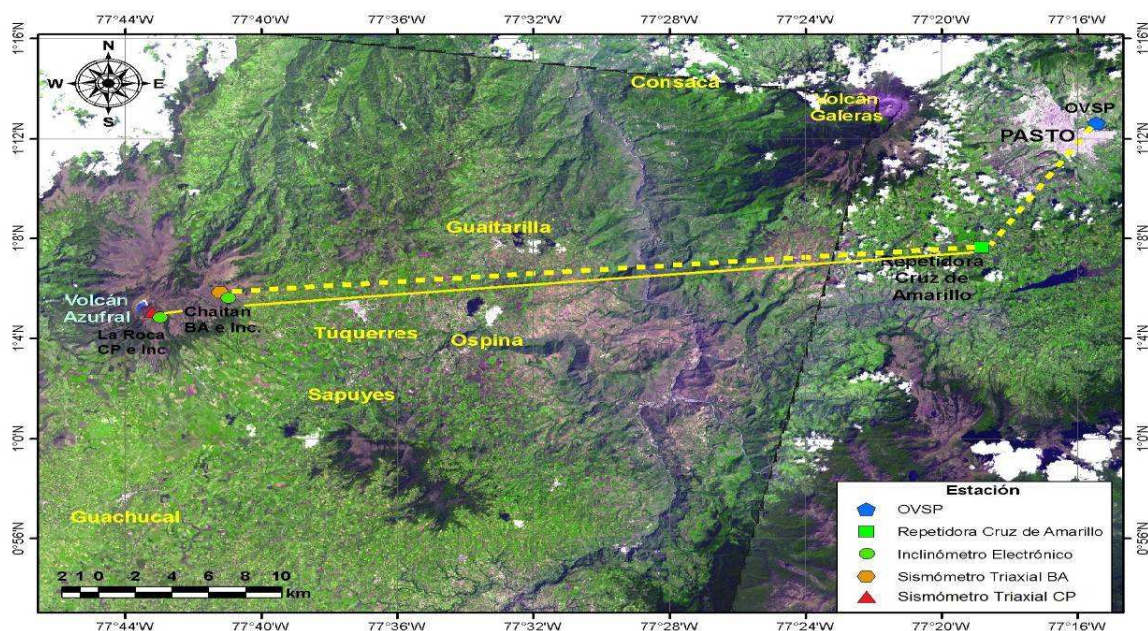


Figura 2.3.3. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral durante el primer semestre de 2011. Las líneas amarillas (punteada y continua) muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.

Durante el primer semestre de 2011, las estaciones de la red instalada para el monitoreo del volcán Azufral tuvieron un funcionamiento total del 90% (Figura 2.3.4.). No se tuvo un porcentaje de funcionamiento del 100% debido básicamente a problemas del radio-enlace y a una humedad presentada en el sistema de protección del inclinómetro La Roca.

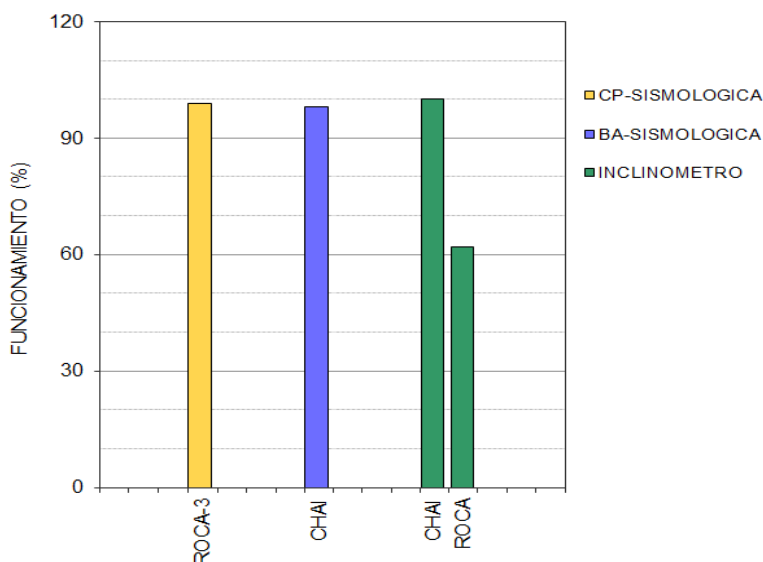


Figura 2.3.4. Histograma del porcentaje de funcionamiento durante el primer semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Azufral.

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 Azufreal.

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

FECHA	ESTACION	DESCRIPCIÓN
Enero	La Roca	Del inclinómetro electrónico se reciben datos completos, pero solo los del voltaje de la batería son correctos.
Febrero	La Roca	El 25 de febrero se realizó cambio de inclinómetro electrónico porque el equipo que estaba instalado se encontró sumergido en agua, la cual se había filtrado en el sistema de protección.

2.3.2 Sismología

Durante el primer semestre de 2011 la sismicidad del volcán Azufreal se relacionó principalmente con sismos de fractura, tipo VT y en niveles bajos de ocurrencia. Los eventos clasificados como VOL, en su gran mayoría también tienen características de eventos de fractura de material cortical. Respecto al segundo semestre de 2010 la sismicidad tipo VT no mostró grandes variaciones, y la sismicidad asociada con dinámica de fluidos fue bastante reducida (Figura 2.3.5.).

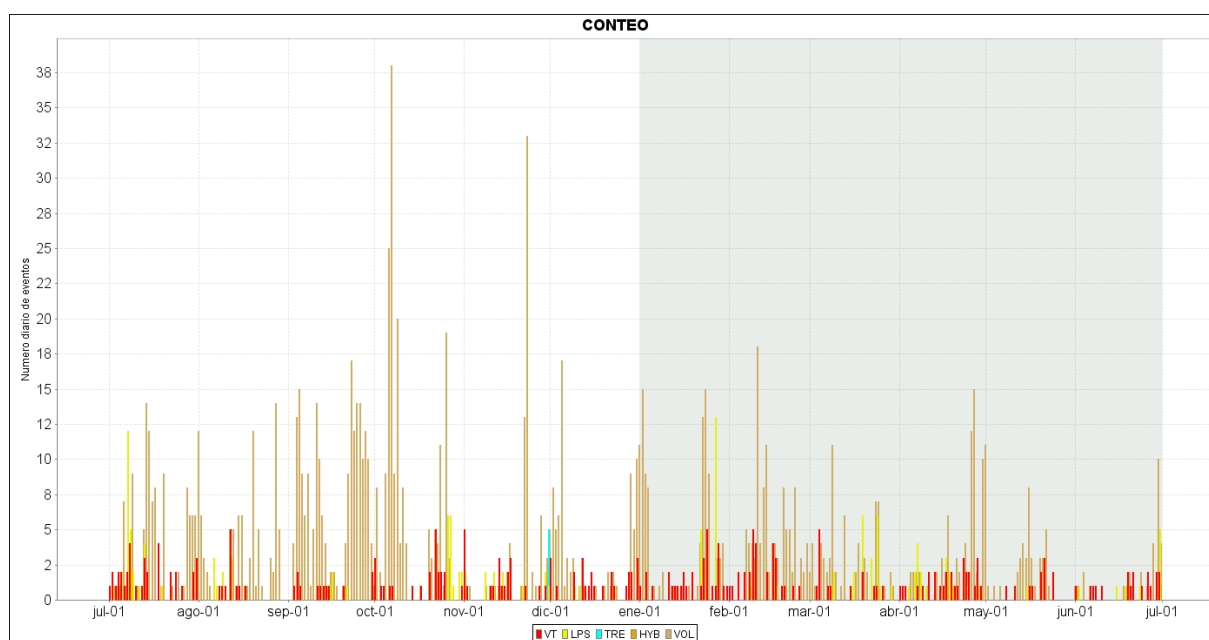


Figura 2.3.5. Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde julio de 2010 a junio de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

En las Figuras 2.3.6. a 2.3.10, a manera de ejemplos, se presentan algunas señales registradas por las estaciones sismológicas de Azufreal, junto con su espectro en frecuencia de Fourier.

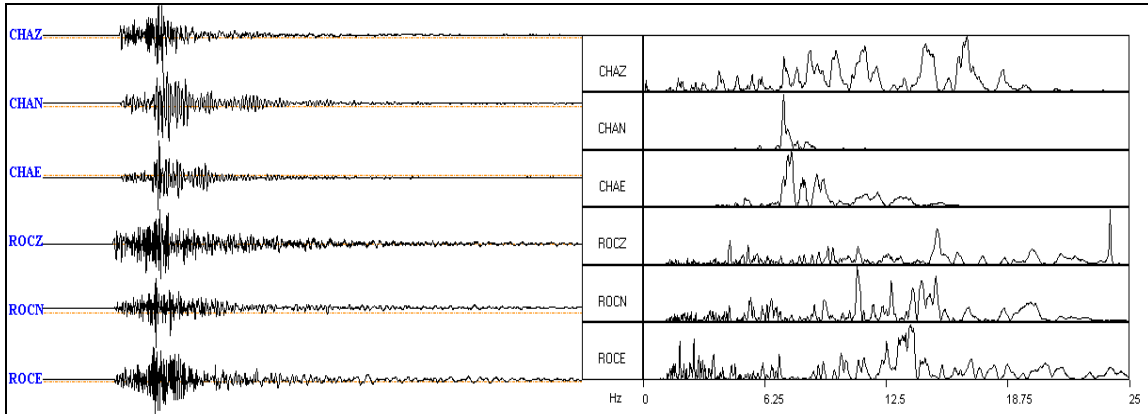


Figura 2.3.6. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento VT ocurrido en Azufral, registrado el 19 de enero de 2011, a las 4:05 a.m.

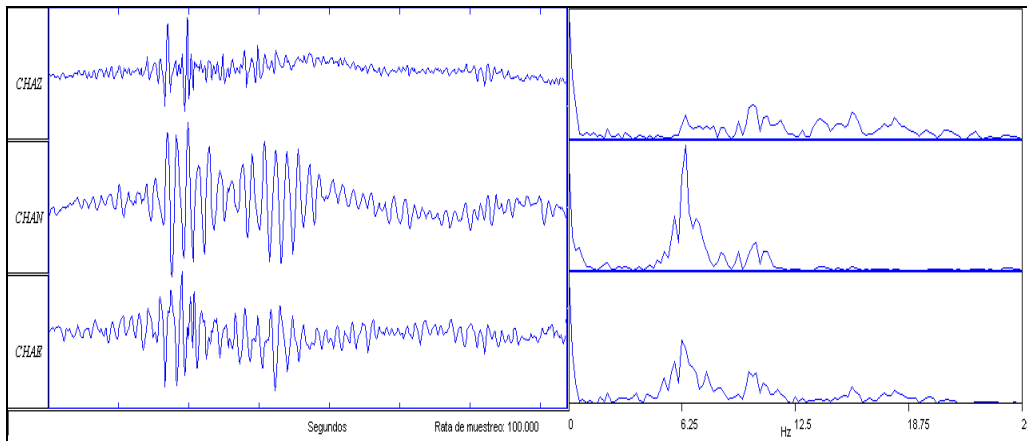


Figura 2.3.7. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LPS, registrado el 8 de febrero de 2011 a las 8:07 p.m. por la estación Chaitán.

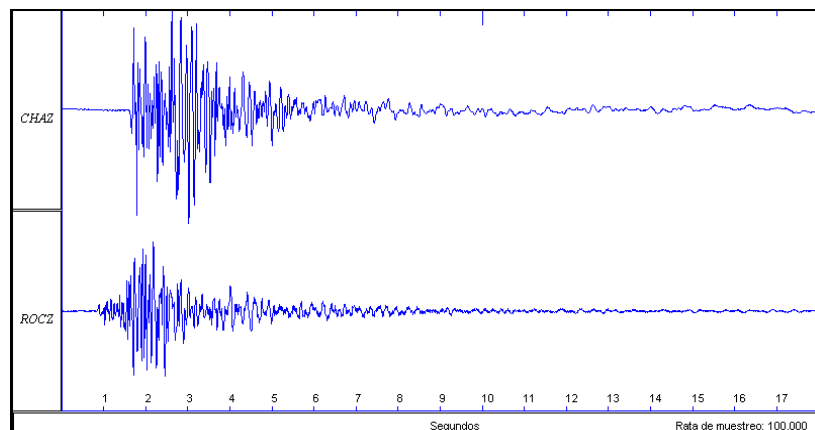


Figura 2.3.8. Sismogramas en las estaciones Chaitán y La Roca de uno de los eventos relacionados con fracturamiento de material cortical registrado el 4 de febrero de 2011 a las 2:41 a.m.

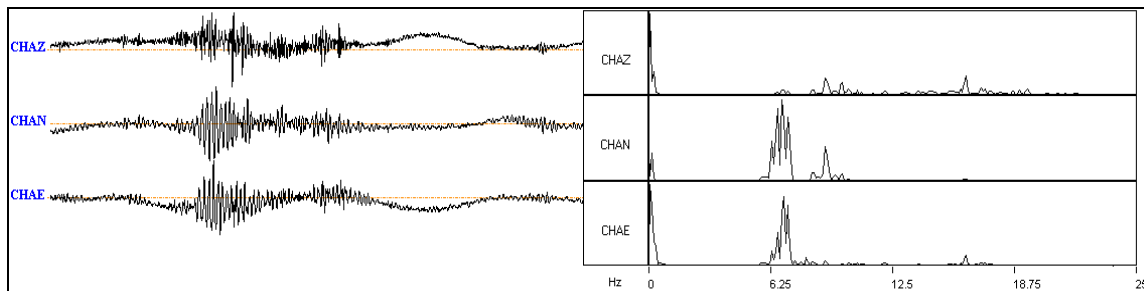


Figura 2.3.9. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento clasificado como LPS, ocurrido en Azufral, registrado el 24 de marzo de 2011, a las 5:55 p.m.

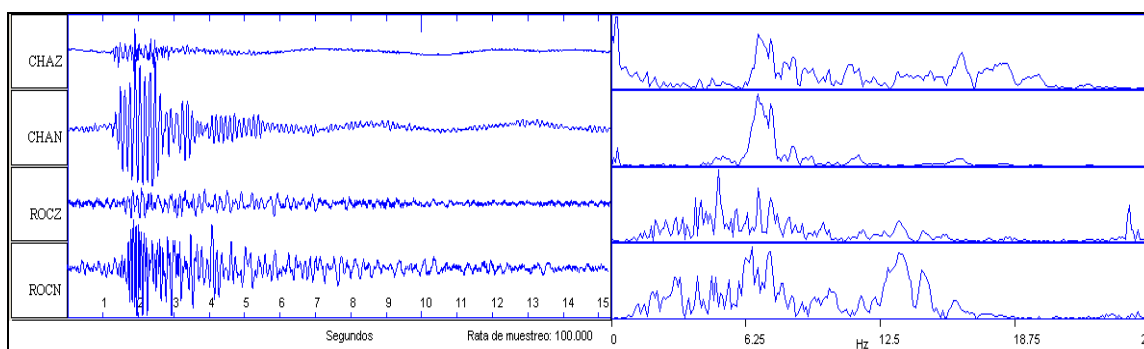


Figura 2.3.10. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LPS, registrado el 24 de junio de 2011 a las 5:25 a.m. por las estaciones Chaitán y La Roca.

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, que permiten conocer sobre los procesos de deformación del edificio volcánico, para el primer semestre de 2011 se tiene:

En la Figura 2.3.11. 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 4 de junio de 2010 y el 6 de noviembre de 2010 se observó un comportamiento ascendente cercano a los 85 μ rad, luego entre el 6 de noviembre de 2010 y el 10 de marzo de 2011 de 15 μ rad en ascenso y finalmente, entre el 10 de marzo y el 30 de junio continuo la tendencia ascendente alcanzando 70 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.

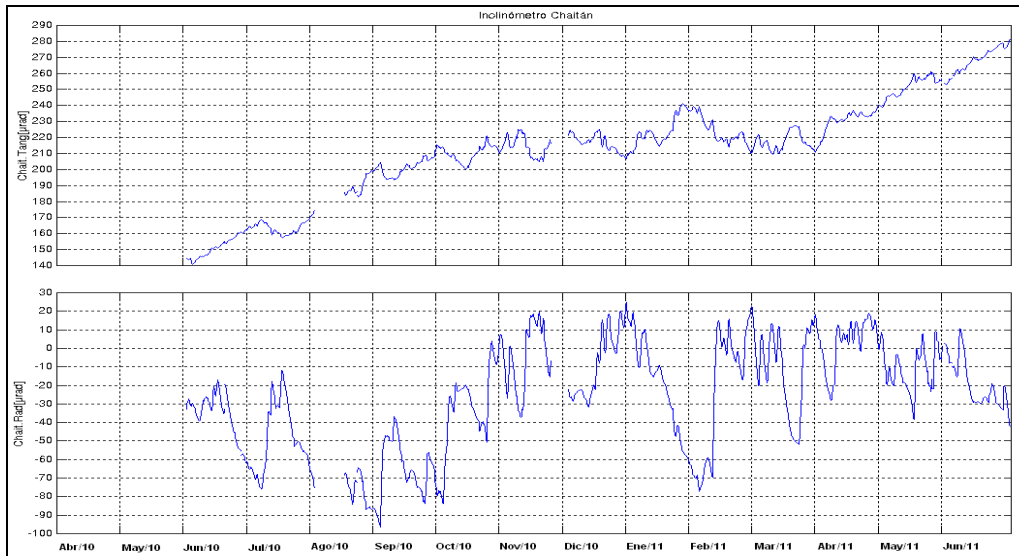


Figura 2.3.11. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro Chaitán, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 2 de junio de 2010 y el 30 de junio de 2011.

Desde el cambio de sensor de inclinometría en la estación La Roca (ubicado a 1.2 km., al este de la laguna cratérica, 4025 msnm), la componente Radial continúa con el comportamiento ascendente mostrado desde el 23 de marzo de 2011, con una variación acumulada hasta el 30 de junio de 2011 de 87 μrad , mientras que en la componente Tangencial, continua la tendencia descendente observada desde el 18 de marzo, registrando hasta el 30 de junio de 2011 cerca de 274 μrad (Figura 2.3.12.).

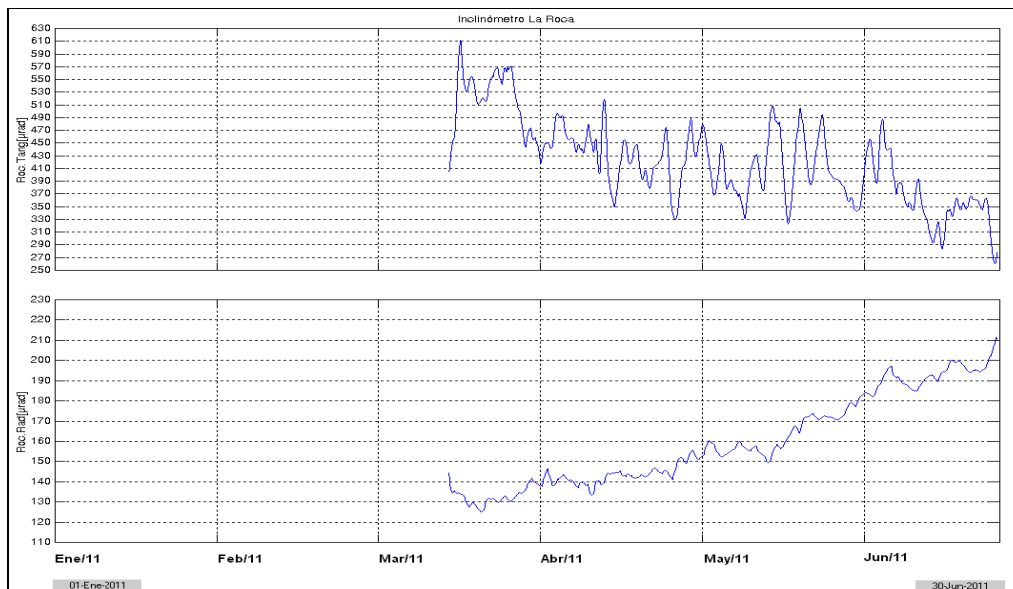


Figura 2.3.12. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Roca, instalado en el volcán Azufral, para el periodo comprendido entre el 16 de marzo y el 30 de junio de 2011.

2.3.3.2. Medición Electrónica de Distancias - EDM

La red EDM (Mediciones Electrónicas de Distancia) está formada por 9 prismas reflectores instalados sobre la superficie del volcán Azufral y dos Bases para realizar las respectivas mediciones, esto con el fin de monitorear las variaciones de inflación o deflación del edificio volcánico (Tabla 2.3.3, Figura 2.3.13).

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

No.	Latitud °N	Longitud °W	Altitud [msnm]	Observaciones
1	1° 5' 14.7"	77° 43' 0.1"	4015	Se observa desde la Base 1.
2	1° 5' 32.2"	77° 43' 25.1"	3830	Se observa desde la Base 1.
3	1° 5' 14.9"	77° 43' 38.2"	3813	Se observa desde la Base 1.
4	1° 5' 55.3"	77° 43' 18.9"	3997	Orientado hacia la Base 1.
5	1° 5' 55.3"	77° 43' 18.9"	3997	Orientado hacia la Base 2.
6	1° 5' 3.3"	77° 44' 1.1"	3748	Por Guaices-Se observa desde la Base 2.
7	1° 4' 47.4"	77° 44' 21.8"	3488	Por Guaices-Se observa desde la Base 2.
8	1° 5' 8.7"	77° 43' 7.5"	4057	Se observa desde la Base1.
9	1° 4' 59.5"	77° 43' 16.5"	4022	Se observa desde la Base2.
Base 1	1° 5' 31.4"	77° 42' 56.0"	3968	Mojón
Base 2	1° 3' 54.5"	77° 46' 20.4"	3088	El Amarillo - Cancha de baloncesto.

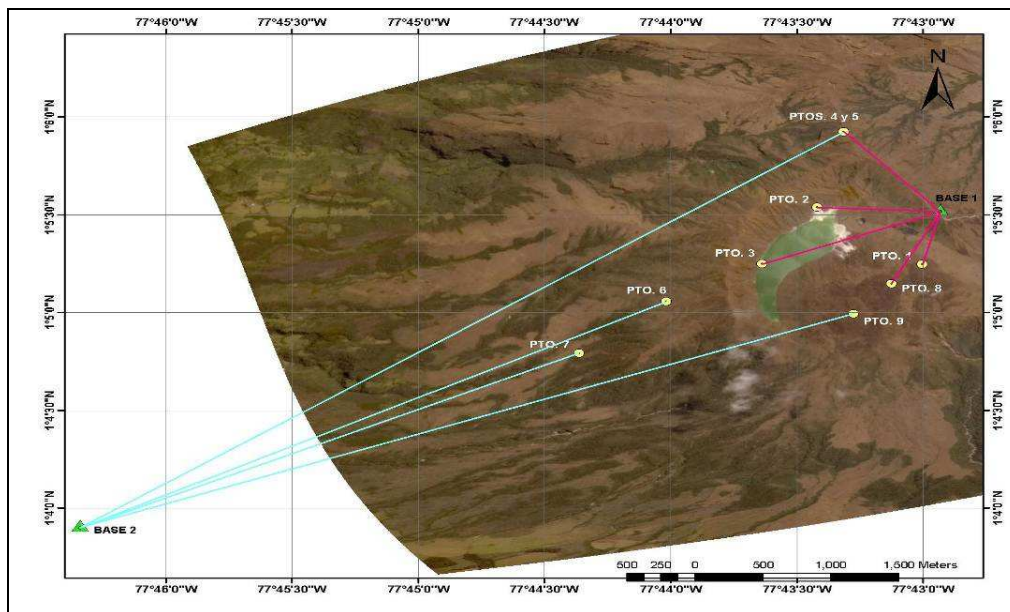


Figura 2.3.13. Mapa de localización de los puntos materializados para mediciones EDM, en el volcán Azufral. Las figuras de color verde indican la ubicación de las Base 1 y 2, los círculos de color amarillo indican la ubicación de los prismas.

Desde la instalación de la red EDM en la superficie del volcán Azufral, se han tomado datos de manera periódica. En las Figuras 2.3.14. y 2.3.15. se muestra la diferencia acumulativa respecto a cada punto de medición medido desde la Base1 y desde la Base2, hasta el momento se está formando una línea base de información sin definir un comportamiento, sin embargo 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.

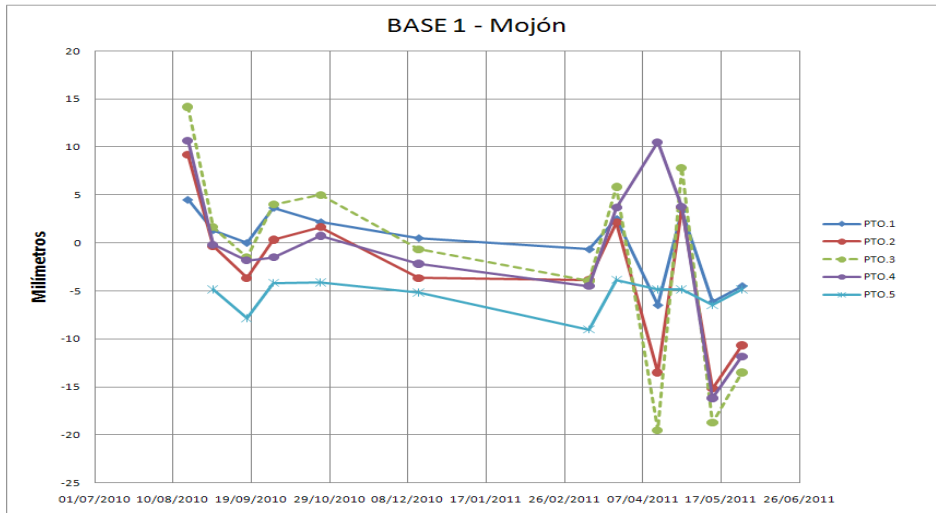


Figura 2.3.14. Comportamiento de los prismas-reflectores EDM, instalados en la superficie del volcán Azufral, medidos desde la Base1. En la gráfica se representa la diferencia acumulativa en milímetros de cada prisma.

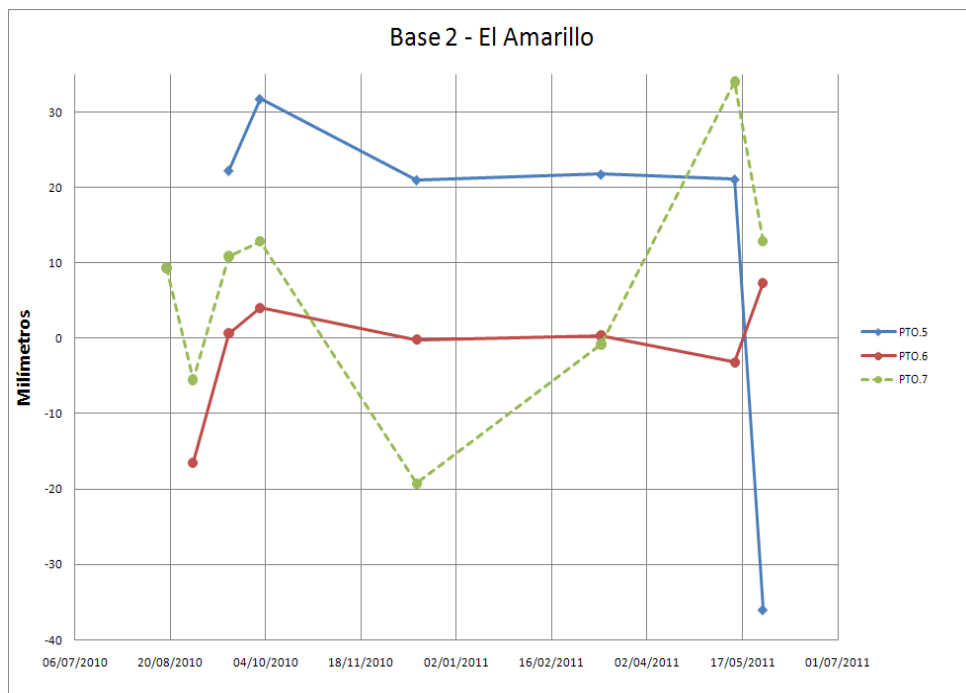





Figura 2.3.15. Comportamiento de los prismas-reflectores EDM, instalados en la superficie del volcán Azufral, medidos desde la Base2. En la gráfica se representa la diferencia acumulativa en milímetros de cada prisma.

2.3.4. Fisicoquímica

2.3.4.1. Muestreo de Aguas Termales

En el mes de junio se realizó el muestreo de las fuentes termales del volcán Azufra: El Salado de Malaver, La Cabaña y San Ramón. Se establecieron las coordenadas geográficas y la altitud de los puntos de muestreo mediante GPS. A continuación se describe la ubicación de las fuentes termales (Tabla 2.3.4. y Figura 2.3.16).

Tabla 2.3.4. Ubicación de las fuentes termales del volcán Azufra.

FUENTE TERMAL		COORDENADAS		ALTURA
		Latitud Norte	Longitud Occidente	
El Salado de Malaver		01° 2' 16"	77° 38' 21.1"	2908 msnm.
La Cabaña		01° 00' 1.7"	77° 40' 18"	3052 msnm
San Ramón		0° 59' 0.6"	77° 41' 48"	3037 msnm

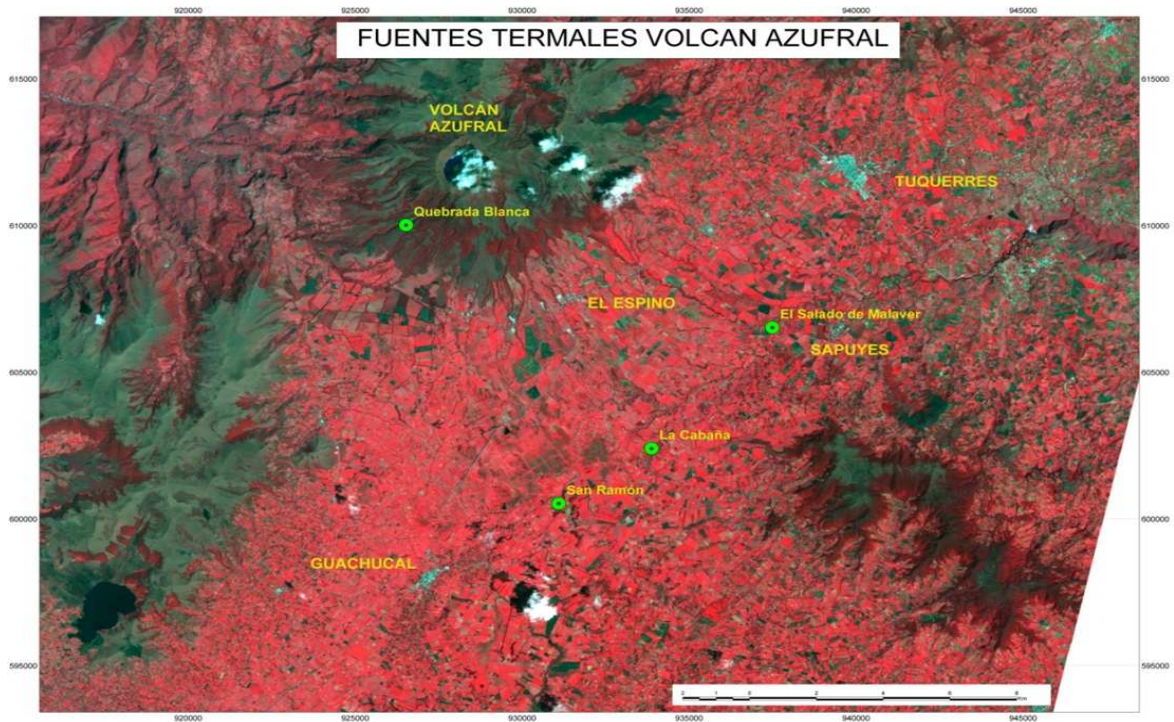


Figura 2.3.16. Mapa de las fuentes termales del volcán Azufral.

Se realizó la medición de parámetros fisicoquímicos como Temperatura y pH. Si la temperatura es menor a 30°C se hace la medición de conductividad. En la tabla 4 se indican los parámetros medidos in situ.

Tabla 2.3.5: Parámetros fisicoquímicos medidos en las fuentes termales del Volcán Azufral

FUENTE TERMAL	pH	Temperatura	Conductividad
El Salado de Malaver	5.9	30.7°C	-
La Cabaña	6.5	23.6°C	0.20 mS/cm
San Ramón	6.4	30.6°C	-

Según los resultados se puede apreciar que la temperatura de las diferentes fuentes termales del Volcán Azufral se encuentran entre 19 y 29.3°C con excepción de la fuente termal Quebrada Blanca la cual su temperatura supera los 30°C, por lo cual no se realizó la medición de conductividad eléctrica. En cuanto al pH se puede afirmar que las fuentes termales muestreadas son ligeramente neutras ya que los valores se encuentran cercanos a 7; valor que indica neutralidad de una solución.

Los valores de conductividad eléctrica indican que para la fuente termal La Cabaña, las aguas se ionizan en forma más completa que las de las fuentes termales el Salado de Malaver y San Ramón y por lo mismo conducen mejor la corriente, lo que indica que hay una buena conductividad y por lo tanto hay mayor cantidad de sales disueltas.



Libertad y Orden

2.3.4.2.. Medición de gases en fumarola – Domo activo Laguna verde

Se tomaron muestras por duplicado de los gases directamente en fumarola con botellas de Giggenbach, cuyos análisis se consignan en la tabla 5.

Tabla 2.3.6. Porcentajes de dióxido de carbono, azufre total, dióxido de azufre, sulfuro de hidrogeno y cloruro de hidrogeno medidos en el domo activo del volcán Azufral.

MUESTRA	%CO2	%St	%SO2	%H2S	%HCl
Azufral Botella No 1	85.227	14.587	18.858	-4.262	0.178
Azufral Botella No 2	80.430	19.559	25.458	-5.888	0.00

El porcentaje es expresado como porcentaje total en Base Seca. El dióxido de carbono es el principal componente de la mezcla gaseosa, tal como se ve en la tabla 5, mientras que el H2S y el HCl son componente minoritarios.

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 SGC (antes INGEOMINAS) y sobrevuelo apoyados por la Fuerza Aérea Colombiana. En visitas realizadas en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio, se resalta el aumento en el nivel del agua y que se sigue presentando burbujeo en la Laguna Verde del volcán Azufral, así como también un incremento en la temperatura con respecto a mediciones del año 2009 de salidas de agua y fumarolas, el burbujeo viene de agujeros en suelo y las burbujas suben hasta la superficie de la Laguna, principalmente por el sector norte de la misma (Figura 2.3.17.).

Del seguimiento de las temperaturas en el periodo evaluado se observó que los incrementos de las mismas se dieron por los domos ubicados hacia el nororiente de la Laguna Verde y por el sector conocido como la playita, donde se produjeron las erupciones hidrotermales. Los cambios observados en el volcán Azufral, son reflejo de actividad volcánica, y en este momento son objeto de estudio.

Durante este periodo no se observó material nuevo por el sector de la Playita, noroccidente de la Laguna Verde. A continuación se presentan las observaciones de mayor relevancia durante el primer semestre de 2011 y algunas imágenes que complementan la descripción.

En sobrevuelo efectuado el 13 de enero de 2011, con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana, se logró capturar algunas imágenes del volcán Azufral y de la Laguna cratérica (Figura 2.3.18.).



Figura 2.3.17. Imagen de la Laguna Verde del volcán Azufra, en la cual se observa la zona de mayor burbujeo sobre la superficie de la Laguna, ubicada hacia el noroccidente de la misma. Fotografía capturada el 24 de marzo de 2011.



Figura 2.3.18. Registro fotográfico tomado durante el sobrevuelo a la zona de influencia del volcán Azufra, el cual se realizó en horas de la mañana del 13 de enero de 2011 con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana.

El 25 de febrero de 2011, personal del SGC que se encontraba realizando labores de mantenimiento en la estación La roca (Sismológica e Inclínómetro) reportó percibir fuertes olores a gases azufrados.

Sin embargo, desde la estación y por el camino no se tenía visual a la laguna Verde, por tanto no se pudo corroborar con otro tipo de observación. Es importante resaltar que el viento estaba aproximadamente hacia el oriente de la laguna Verde, es decir hacia donde se encuentra ubicada la estación sismológica La Roca. Se observó poca salida de gas, principalmente desde los domos, ubicados hacia el nororiente de la Laguna Verde (Figuras 2.3.19. y 2.3.20) y un marcado incremento en el nivel del agua de la Laguna Verde.



Figura 2.3.19. Imagen de algunos de los domos del volcán Azufra, principalmente de los ubicados por el sector nororiental de la Laguna Verde, capturada el 10 de marzo de 2011. Se destaca el sector por donde se ha observado emisión de gas.



Figura 2.3.20. Imágenes de algunos de los domos del volcán Azufra, principalmente de los ubicados por el sector nororiental de la Laguna Verde, en las fotografías se puede observar poca salida de gas, imágenes capturadas: A). 10 de marzo de 2011, B). 18 de marzo de 2011, C). 24 de marzo de 2011.

El 10 de marzo se realizó medición de temperaturas por algunos puntos en agua y superficie del volcán Azufral. Las temperaturas en fumarola alcanzaron los 86°C en el sector cerca a los domos. Posteriormente el 18 de marzo se realizó toma de temperatura por algunos puntos, dando en agua cerca de 75.2 °C y en superficie 86.8 °C (Tabla 2.3.7, Figura 2.3.21.).

Tabla 2.3.7. Coordenadas y valores de temperatura (°C) registrados en algunos sectores del volcán Azufral mediciones realizadas el 18 de marzo de 2011.

Estación	Coord WGS84		T (°C)	Observaciones
	Latitud °N	Longitud °W		
Punto 1	1° 5' 33,3"	77° 43' 14,6"	85.2	En el domo
Punto 2	1° 5' 24,6"	77° 43' 17"	86	En el domo, salida de gas
Punto 3	1° 5' 24,3"	77° 43' 17,2"	86.8	Mofeta, salida de gas
Punto 4	1° 5' 24,5"	77° 43' 16,7"	86.4	Nuevo, por los domos, salida de gas, nueva fumarola
Punto 5	1° 5' 29,4"	77° 43' 23,4"	76	Por la playita, en tierra, por la salida de material
Punto 6	1° 5' 29,4"	77° 43' 22,8"	75.2	En agua, por la orilla de la salida de material (La playita).



Figura 2.3.21. Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en agua y en superficie del volcán Azufral, medida realizada el 18 de marzo de 2011.

Dentro del seguimiento de manifestaciones en superficie del volcán Azufral, en agosto de 2009 se realizó un perfil de temperaturas en la zona de contacto entre el depósito hidrotermal y la Laguna (región conocida como "la playita"), obteniendo valores promedio entre 9 y 13 °C.

Llama la atención que en comisión realizada el 24 de marzo del 2011, siguiendo este mismo perfil, se obtuvieron temperaturas entre 27 y 72 °C, reflejando un incremento significativo respecto a medidas anteriores (Figuras 2.3.22. y 2.3.23.). Se recuerda que este volcán ha presentado pequeñas erupciones hidrotermales, las más recientes en julio de 2009, y dos entre el 24 de julio y 4 de agosto de 2010, esa zona se caracteriza por mostrar claras evidencias de alteración.



Figura 2.3.22. Sector “la playita” en la Laguna Verde del Volcán Azufra, en negro están los datos de temperaturas (°C) medidos el 24 de marzo de 2011 y en rojo los medidos anteriormente.



Figura 2.3.23. Datos de temperaturas (°C) medidos por el sector de los domos ubicados hacia el nororiente de la Laguna Verde del Volcán Azufra, medidos el 24 de marzo de 2011.

Para los días 28 y 29 de abril se tuvo salida de gases en poca cantidad por el mismo sector mencionado anteriormente. Sin embargo, el 28 de abril se realizó medidas de temperatura con la termocupla en la zona de contacto entre el depósito hidrotermal y la laguna (región conocida como “la playita”), donde se obtuvo valores promedios similares a los registrados en la comisión realizada el 24 de marzo de 2011 (temperaturas entre 27 y 72°C). Se resalta que la máxima temperatura medida en tierra fue de 87 °C y la máxima medida en agua fue de 74 °C, medidas también en el sector de la Playita (Figura 2.3.24.).



Figura 2.3.24. Sector “la playita” en la Laguna Verde del Volcán Azufral, en negro están los datos de temperaturas (°C) medidos el 28 de abril.

La Figura 2.3.25 muestra una imagen térmica tomada el 28 de abril al sector de la Playita, en ella se registró concordancia con las medidas de temperatura realizadas con la termocupla.

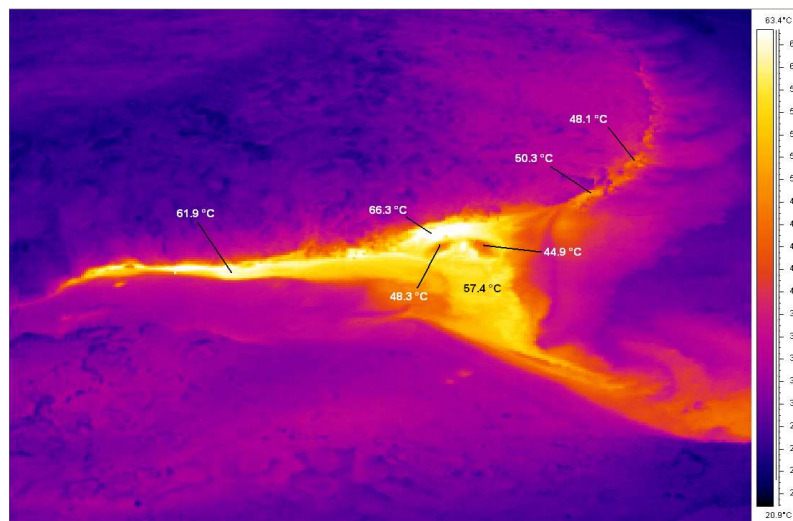


Figura 2.3.25. Imagen térmica del sector “la playita” en la Laguna Verde del Volcán Azufral, capturada el 28 de abril de 2011.

El 12 como el 27 de mayo se realizó medición de temperaturas en algunos puntos en agua y superficie del volcán Azufral. Las temperaturas alcanzaron los 86°C en el sector noroccidental de la laguna Verde, cerca a la salida de material hidrotermal. Posteriormente el 27 de mayo se realizó toma de temperatura por algunos puntos, dando valores un poco menores, debido principalmente al notable incremento del nivel del agua de la laguna Verde (Figuras 2.3.26, 2.3.27, 2.3.28, 2.3.29 y 2.3.30).



Figura 2.3.26. Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en superficie del volcán Azufral, por el sector noroccidental de la laguna Verde, en la salida de material hidrotermal, medidas realizadas en el mes de mayo de 2011.



Figura 2.3.27. Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en agua y en superficie del volcán Azufral, al norte de la laguna Verde, medidas realizadas en el mes de mayo de 2011.



Figura 2.3.28. Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en superficie del volcán Azufral, al occidente de la laguna Verde, medidas realizadas en el mes de mayo de 2011.



Figura 2.3.29. Localización de los puntos muestreados para toma de temperaturas (°C), en algunos puntos de la laguna Verde del volcán Azufral. Arriba se observa el Sector conocido como “la playita”, en negro están los datos de temperaturas (°C); abajo se observa el sector norte de la laguna Verde, las medidas se realizaron el 24 de junio de 2011.



Figura 2.3.30. Localización de puntos muestreados para toma de temperaturas en superficie del volcán Azufral. Medidas realizadas el 24 de junio de 2011 en el sector noroeste de la laguna Verde en la salida de material hidrotermal.

El 28 de junio de 2011 se realizó captura de imágenes térmicas desde diferentes sectores de la orilla de las lagunas Verde y La Barrosa. En general se observan temperaturas entre los 21°C y los 75°C. Las temperaturas más bajas de este rango se observaron en la laguna La Barrosa (Figura 2.3.31.), mientras que las temperaturas más elevadas fueron observadas en los puntos de emisión de gases sobre el domo ubicado en el sector noreste de la laguna (Figura 2.3.32.). En las Figuras 2.3.33. y 2.3.34. se muestran imágenes capturadas sobre otros sectores de la laguna.

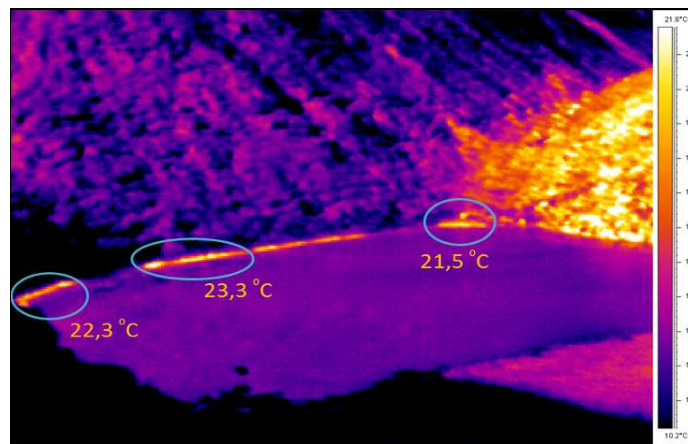


Figura 2.3.31. Imagen térmica tomada a la laguna La Barrosa. En el contacto entre el domo y la laguna se observan las temperaturas más altas.

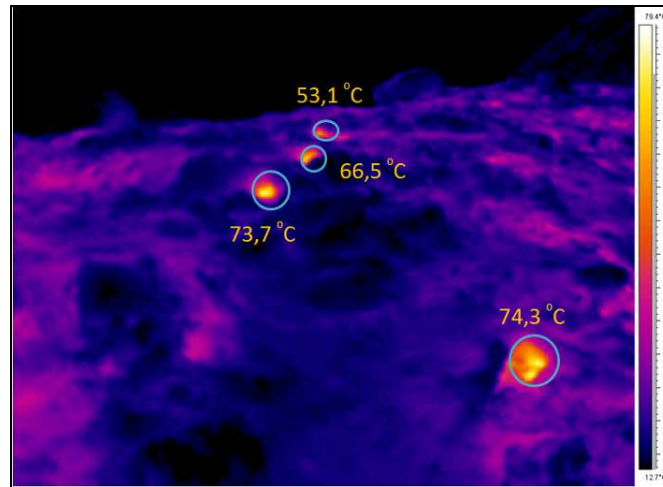


Figura 2.3.32. Imagen térmica tomada al domo ubicado en el sector noreste de la laguna Verde. Las temperaturas más altas están sobre los focos de emisión de gases.

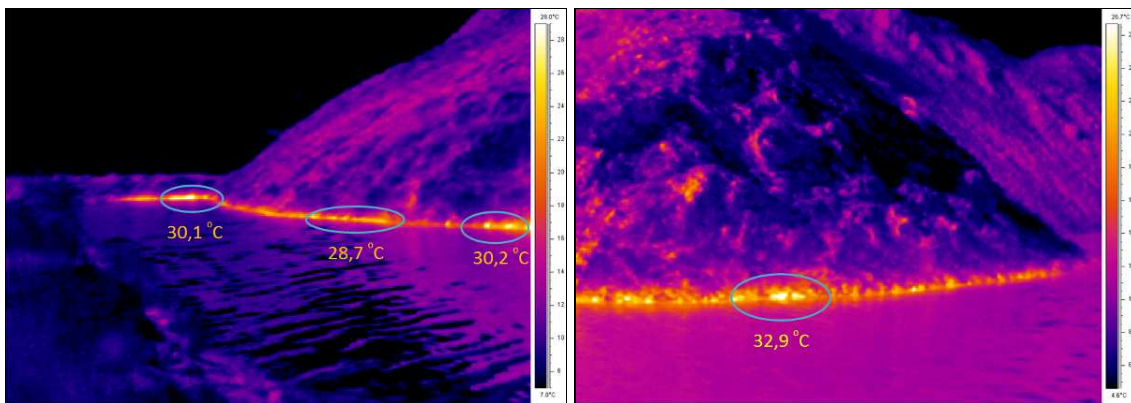


Figura 2.3.33. Imagen térmica tomada al desde el norte de la laguna Verde hacia la zona de contacto entre el uno de los domos y la laguna. En óvalos se resalta los puntos que mostraban las mayores temperaturas.

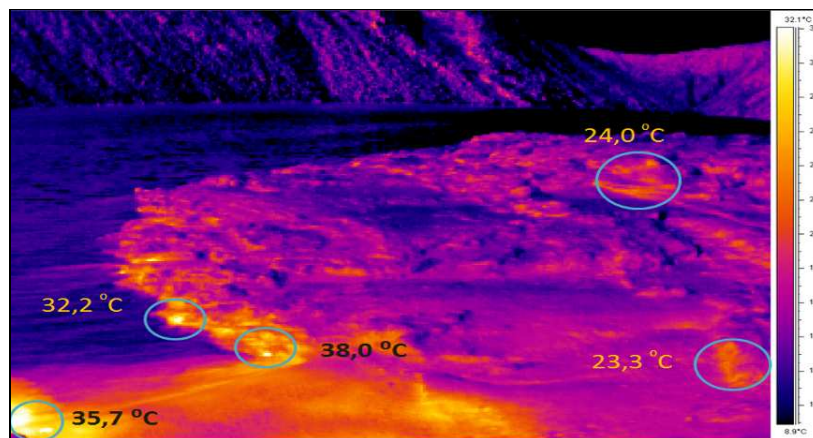


Figura 2.3.34. Imagen térmica tomada al sector de La Playita en las orillas de la laguna Verde. Las temperaturas más altas se observan en los contactos entre el material emitido en la erupción hidrotermal de julio de 2009 y la laguna.



2.3.6. Conclusiones

- En el primer semestre de 2011, aun cuando la actividad del volcán Azufral se mantuvo en niveles bajos, los registros sísmicos evidencian la ocurrencia de procesos asociados tanto con dinámica de fluidos como con fracturamiento de material cortical.
- Se resalta en el mes de marzo un incremento en los valores de temperatura, medidos hacia el sector de los domos y hacia el sector nororiental de la laguna Verde (lugar donde se tiene el precedente de salida de material hidrotermal, en el 2009). Estas altas temperaturas se monitorearon en inmediaciones de la salida de material y la orilla de la Laguna Verde. Se destaca también el incremento en el nivel del agua de la Laguna Verde.
- El análisis y evaluación de los parámetros monitoreados durante el primer semestre de 2011, permitieron evidenciar un comportamiento relativamente estable del volcán Azufral, lo que permitió 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.

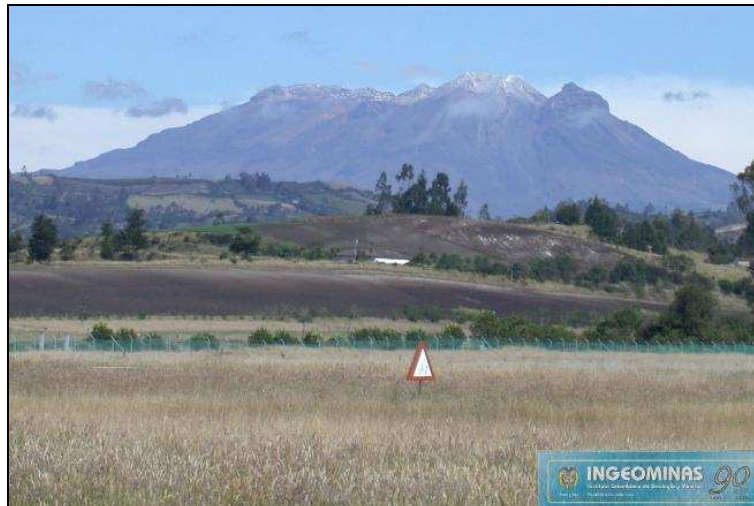


Figura 2.4.1. Imagen del complejo volcánico Cumbal.

2.4.1 Red de vigilancia

Durante el Primer 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 2.4.2, Tabla 2.4.1.). La recepción de la información que detecta esta estación en la sede del OVP, se realiza a través de una red telemétrica tipo punto a punto con una estación repetidora llamada Cruz de Amarillo (Figura 2.4.3.).
- Un inclinómetro electrónico telemétrico, instalado en el mismo sitio de la estación sismológica, llamado inclinómetro La Mesa (Figura 2.4.2, Tabla 2.4.1.). La transmisión de los datos se realiza usando una red telemétrica tipo punto-multipunto configurada para los inclinómetros instalados en el departamento de Nariño.

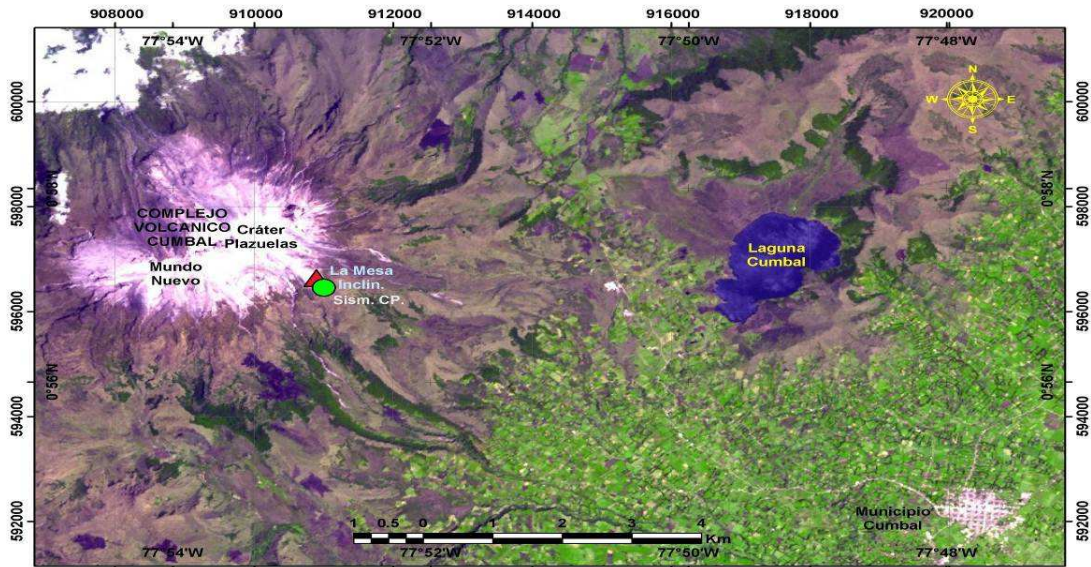


Figura 2.4.2. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2011.

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

Estación	Transmisión de datos	Tipo de Sensor	Componente	Distancia al cráter Mundo Nuevo (km)	Dirección respecto al cráter Mundo Nuevo	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

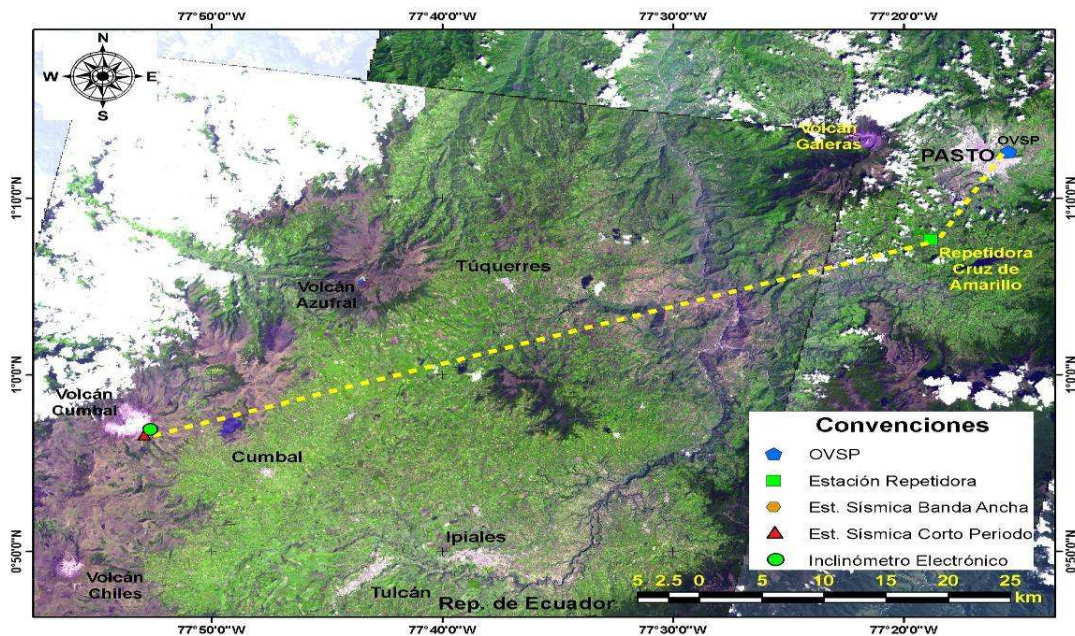


Figura 2.4.3. Mapa de localización de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2011. Las líneas punteadas muestran los diferentes enlaces telemétricos utilizados para la transmisión de los datos.

En este semestre, las estaciones de la red instalada para monitoreo del volcán Cumbal tuvieron un funcionamiento total del 98% (Figura 2.4.4.), y durante el período del presente informe solamente fue necesario realizar un mantenimiento preventivo el 7 de abril. No se tuvo un 100% de funcionamiento debido a pequeños problemas de radio-enlace que fueron solucionados en la repetidora.

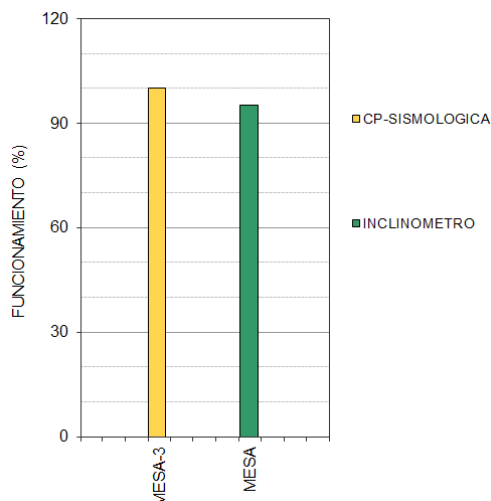


Figura 2.4.4. Histograma del porcentaje de funcionamiento, durante el primer semestre de 2011, de las estaciones que conformaron la red de monitoreo del volcán Cumbal.

2.4.2 Sismología

Durante el primer semestre de 2011 la sismicidad predominante fue la relacionada con dinámica de fluidos de fuente transitoria en el tiempo (LP). Respecto al segundo semestre de 2010 se observó una disminución en este tipo de sismos, la sismicidad VT mostró un ligero descenso respecto al semestre anterior y se registró una mínima cantidad de episodios de tremor. Se destaca la ocurrencia de eventos tipo tornillo a lo largo del semestre evaluado.

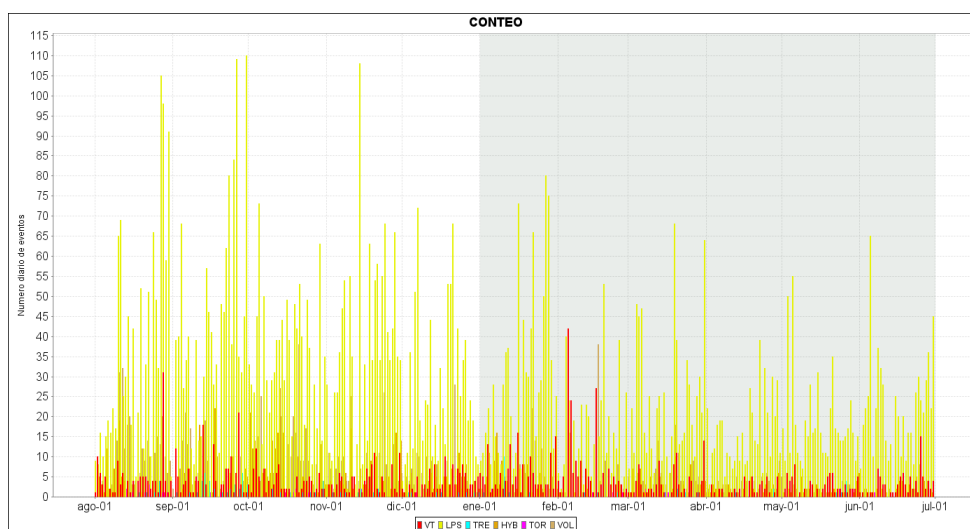


Figura 2.4.5. Histograma de número diario de eventos volcánicos por tipo, desde agosto de 2010 a junio de 2011. El recuadro gris indica el periodo evaluado en el presente informe.

En las Figuras 2.4.6. a 2.4.14. se muestran ejemplos de la sismicidad presente en el complejo volcánico de Cumbal, registrados por la estación La Mesa y algunos eventos registrados también por la estación Cumbal perteneciente a la Red Sismológica Nacional de Colombia.

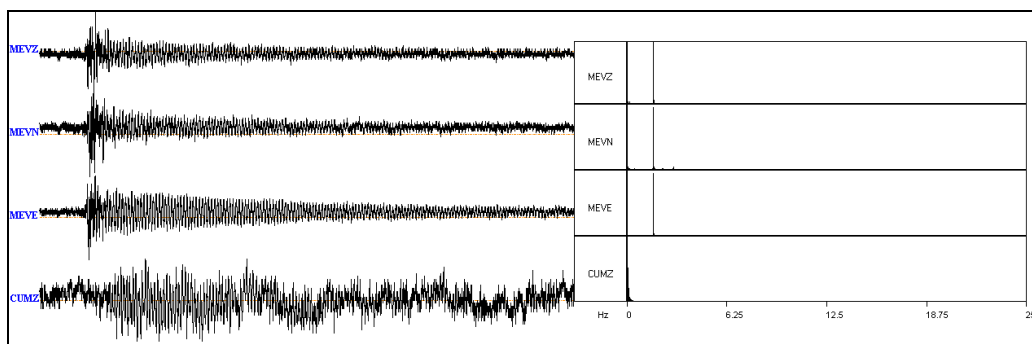


Figura 2.4.6. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 2 de enero de 2011, a la 5:30 a.m.

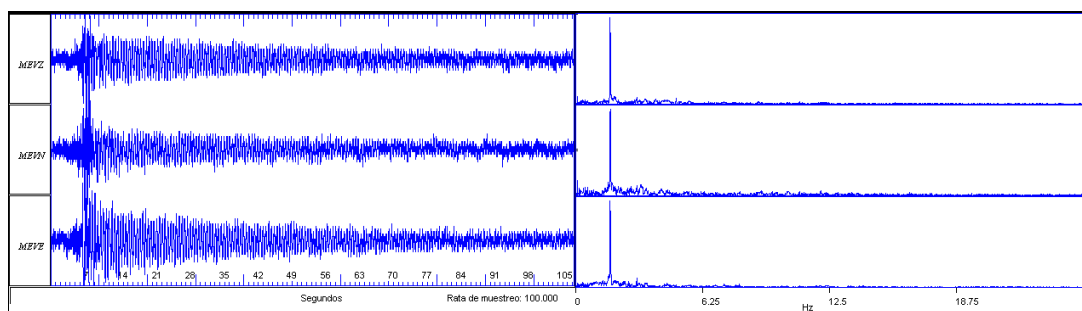


Figura 2.4.7. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, registrado el 14 de febrero de 2011 a las 2:21 p.m. por la estación La Mesa.

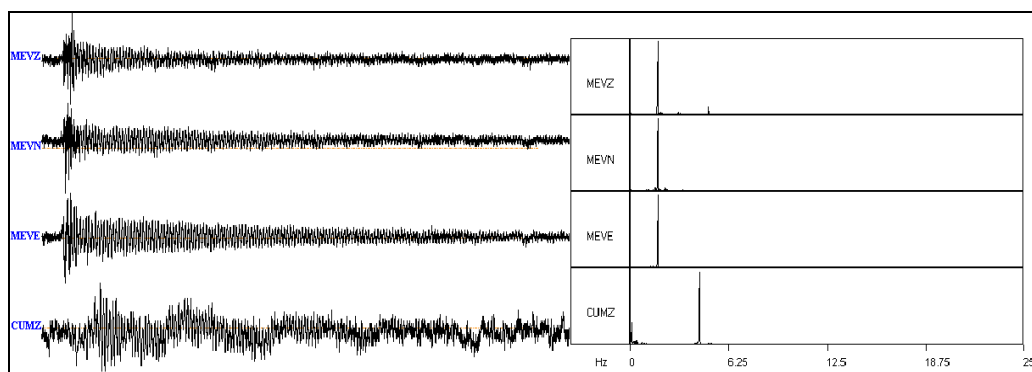


Figura 2.4.8. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 6 de marzo de 2011 a las 10:47 p.m.

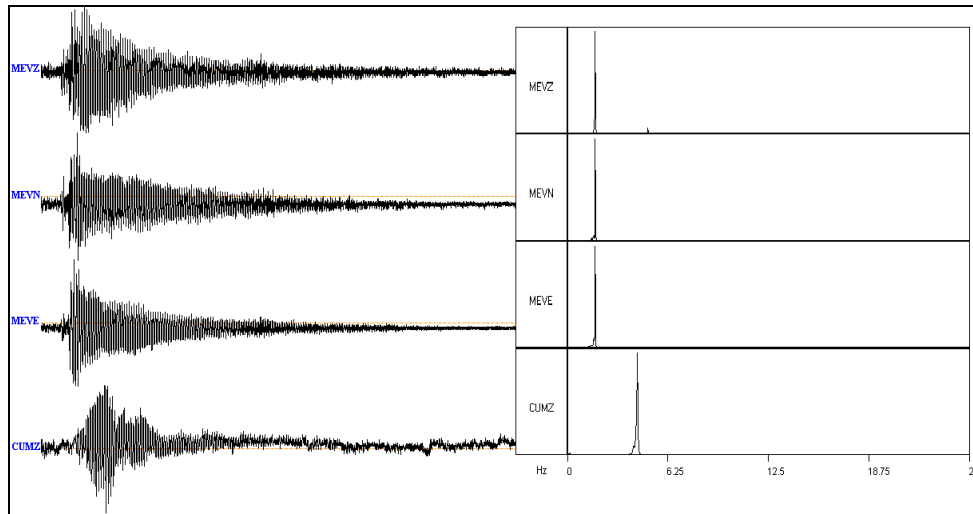


Figura 2.4.9. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 7 de marzo de 2011 a las 00:22 a.m.

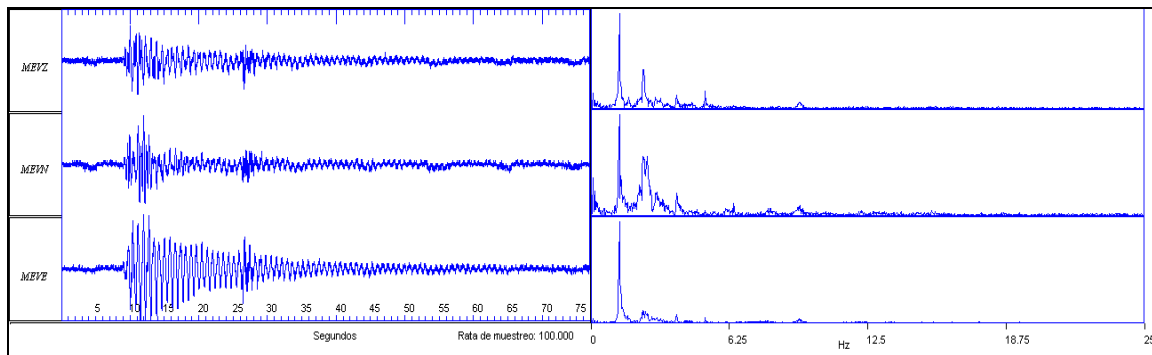


Figura 2.4.10. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, registrado el 2 de abril de 2011 a las 9:03 p.m. por la estación La Mesa.

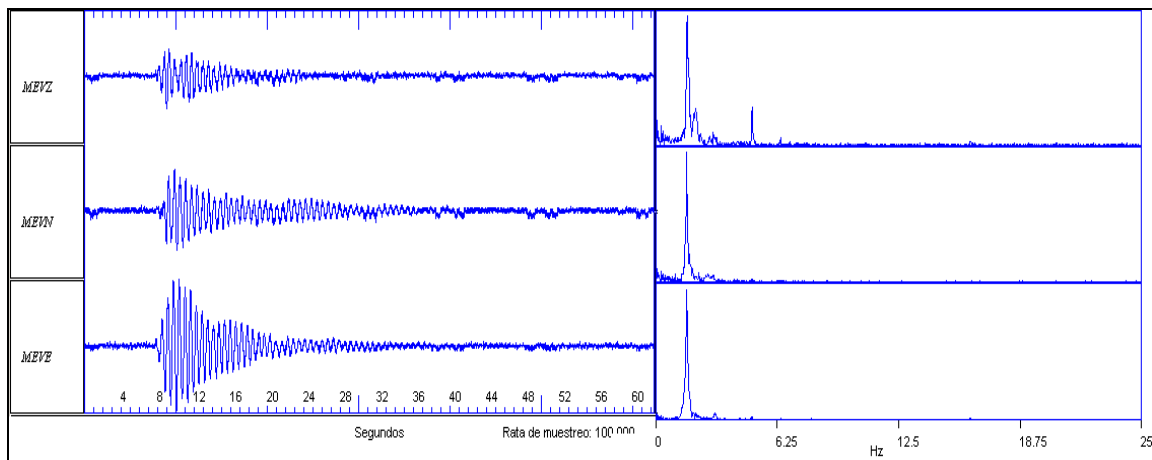


Figura 2.4.11. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo LP, registrado el 8 de abril de 2011 a las 6:48 a.m. por la estación La Mesa.

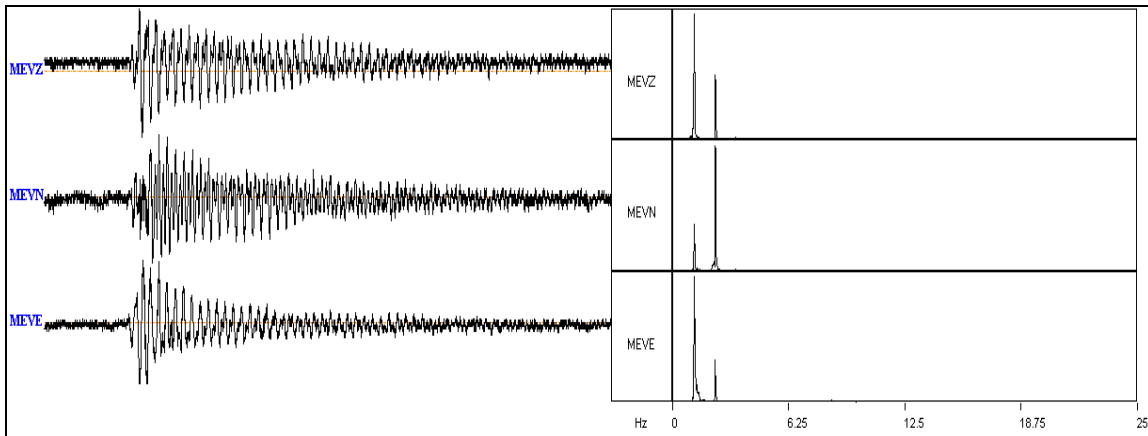


Figura 2.4.12. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 23 de mayo de 2011 a las 11:36 p.m.

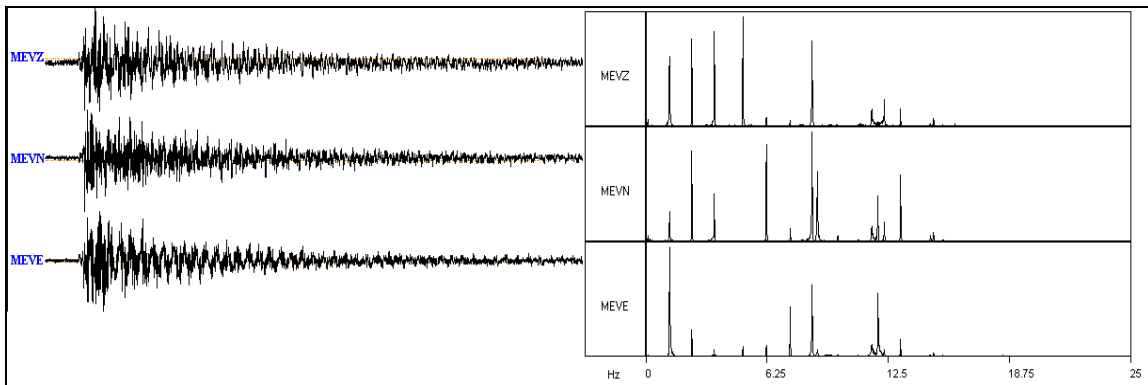


Figura 2.4.13. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, ocurrido en Cumbal, registrado el 28 de mayo de 2011 a las 3:57 a.m.

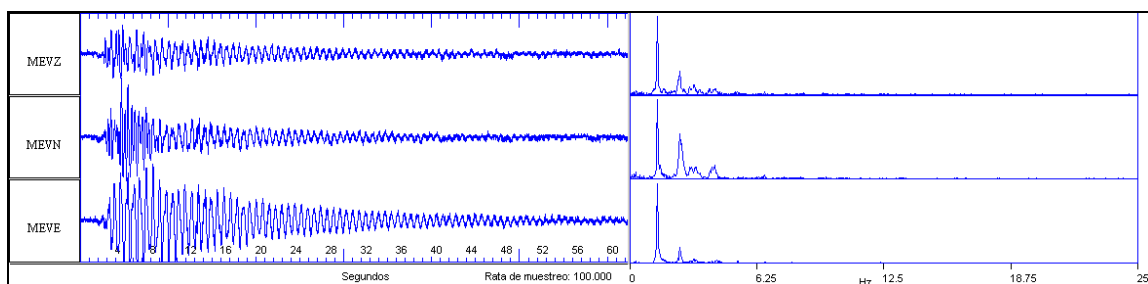


Figura 2.4.14. Sismogramas y espectros en frecuencia del evento tipo TOR, registrado el 6 de junio de 2011 a las 10:03 p.m. por la estación La Mesa.

En las Figuras 2.4.15 y 2.4.16 se aprecia, la evolución temporal de las frecuencias dominantes y la duración los eventos clasificados como TOR registrados por la red de monitoreo del volcán Cumbal entre julio de 2010 y junio de 2011. La mayoría de eventos mostraron frecuencias dominantes con valores entre 1.1 y 1.8 Hz. Las duraciones de los eventos estuvieron en un rango entre los 20 y 135 segundos. Se resalta que, a diferencia de los eventos registrados en Galeras, este tipo de eventos no muestra una tendencia clara para la evaluación de la actividad.

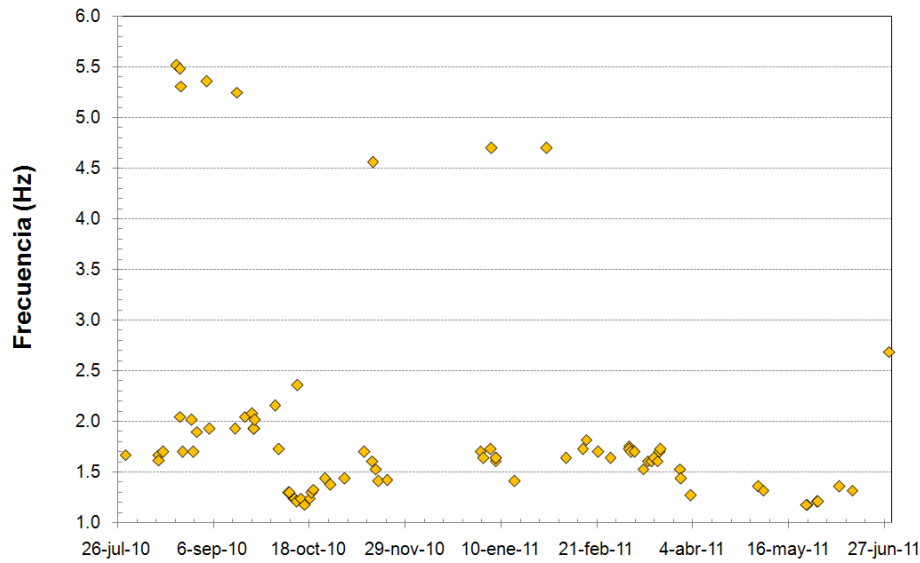


Figura 2.4.15. Evolución temporal de las frecuencias dominantes de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 30 de junio de 2011.

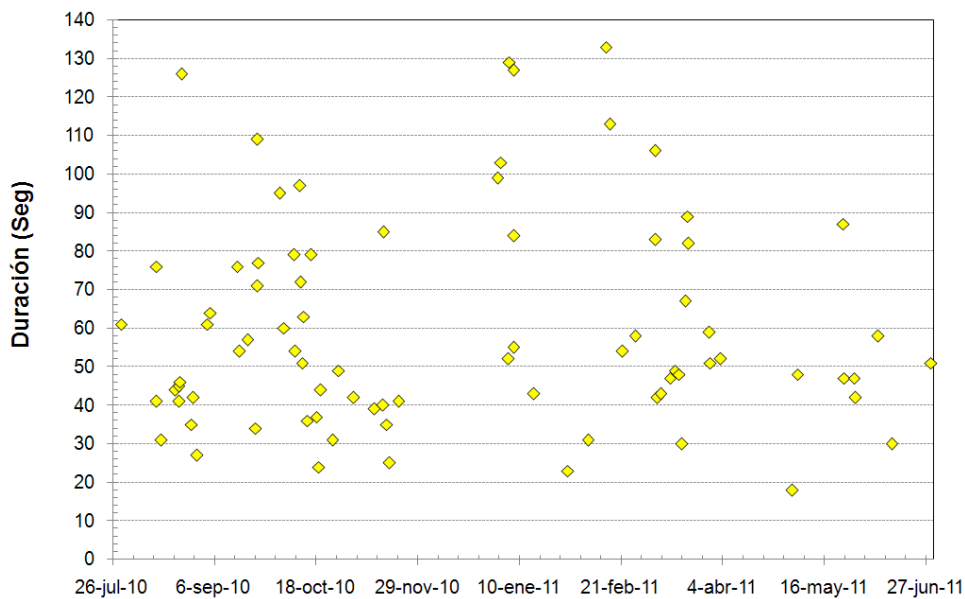


Figura 2.4.16. Duración en segundos de los eventos tipo TOR registrados entre el 28 de julio de 2010 y el 30 de junio de 2011.

2.4.3 Deformación

2.4.3.1. Inclínometría Electrónica

Para el seguimiento 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), desde el cambio de sensor realizado a finales del mes de noviembre de 2010, y hasta el 25 de abril de 2011, en la componente Tangencial se observaron variaciones que se encuentran dentro de los niveles de fluctuación normal del sensor, posteriormente, entre el 25 de abril y el 29 de junio se presentó un comportamiento descendente el cual alcanzó cerca de 25 μ rad, mientras que en la componente Radial, pese a las fluctuaciones en el registro es posible observar una tendencia ascendente (Figura 2.4.17.).

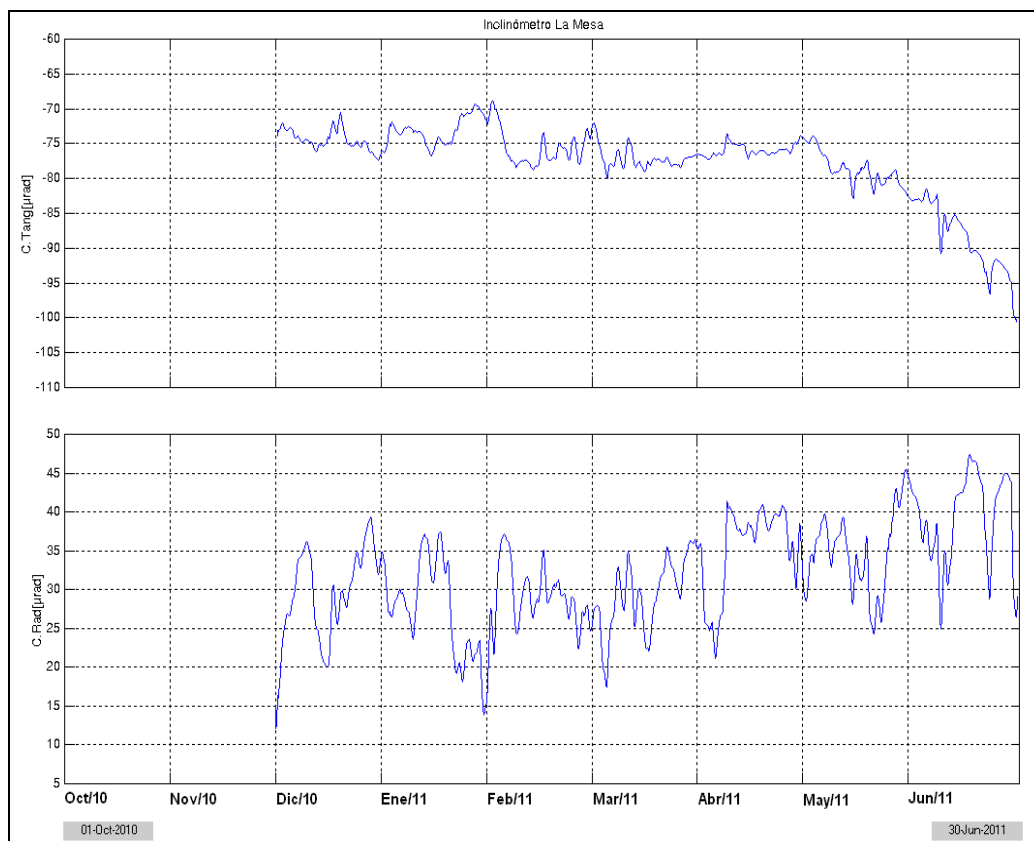


Figura 2.4.17. Componentes de inclinación Radial y Tangencial del inclinómetro La Mesa, instalado en el complejo volcánico de Cumbal, para el periodo comprendido entre el 29 de noviembre de 2010 y el 30 de junio de 2011.

2.4.4. Fisicoquímica



2.4.4.1. Muestreo de Aguas Termales

Durante el mes de junio, mediante una comisión se realizó el muestreo de las fuentes termales del volcán Cumbal: El Salado y El Zapatero; 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.

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 por el programa tras la evaluación de su representatividad y localización.

Se estableció las coordenadas geográficas y la altitud de los puntos de muestreo mediante GPS (Global Positioning Systems - Sistema de Posicionamiento Global). A continuación se describe la ubicación de las fuentes termales (Tabla 2.4.2. y Figura 2.4.18.).

Tabla 2.4.2: Ubicación de las fuentes termales del volcán Cumbal.

FUENTE TERMAL		COORDENADAS		ALTURA
		Latitud Norte	Longitud Occidental	
El Salado		0°53'39.7"	77° 48' 42"	3184 msnm
El Zapatero		0° 54' 1.6"	77°49'18.7"	3224 msnm

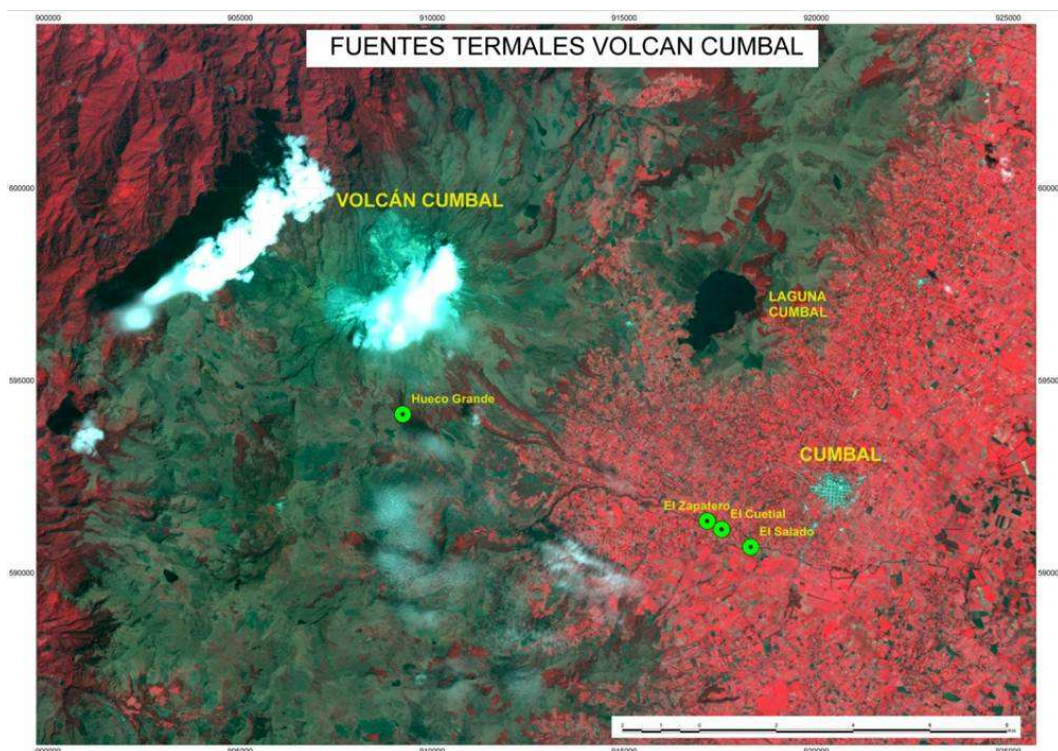


Figura 2.4.18. Mapa de las fuentes termales del volcán Cumbal.

Se realizó la medición de parámetros fisicoquímicos como Temperatura y pH. Si la temperatura es menor a 30°C se hace la medición de conductividad. En la tabla 2.4.3. se indican los parámetros medidos in situ.

Tabla 2.4.3. Parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Cumbal

FUENTE TERMAL	pH	Temperatura	Conductividad
El Salado	6.3	32.4°C	-
El Zapatero	6.7	30.2°C	-

Para esas dos fuentes no se realizó medición de conductividad ya que su temperatura es superior a 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, pero típicamente para soluciones acuosas diluidas, como las aguas termales que se están analizando, la conductividad varía de 1 a 4% por cada grado centígrado.

2.4.5. Actividad superficial

La actividad superficial del volcán Cumbal durante el primer semestre de 2011, se documentó a partir de un reconocimiento aéreo realizado el 2 de abril, de igual forma de imágenes capturadas por personal del INGEOMINAS que realiza trabajos de mantenimiento en las estaciones del volcán Azufral el 26 y 27 de febrero, 27 de abril y 19 y 28 de junio, 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. El 26 y 27 de febrero de 2011 una de las comisiones que se encontraba realizando labores de mantenimiento en las estaciones sismológicas Chaitán y La roca del volcán Azufral reportó tener visual hacia el volcán Cumbal, observándose poca actividad en los puntos de emisión desde el Cráter "El Verde". Por acción del viento la columna de gases se dirigió hacia el sector suroccidental del edificio volcánico (2.4.19.).



Figura 2.4.19. Registro fotográfico de una pequeña emisión de gases del volcán Cumbal observada desde la vía de acceso a la estación sismológica Chaitán del volcán Azufral el 26 de febrero de 2011 a partir a las 8:30 a.m.

Respecto a las observaciones de actividad superficial, el día 2 de abril con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC – Helicóptero Huey II) se realizó reconocimiento aéreo sobre la cima de Cumbal, observándose emisión de gases que salían con alta presión y de coloración blanca proveniente desde el cráter el Verde (Figura 2.4.20.).



Figura 2.4.20. Registro Fotográfico de emisión de gases observada durante el sobrevuelo efectuado el día 2 de abril de 2011 en horas de la mañana con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

El 27 de abril de 2011 una de las comisiones del Ingeominas que se encontraba realizando labores de monitoreo en la zona de influencia de del volcán Azufra reportó tener visual hacia el volcán Cumbal, observándose actividad desde los puntos de emisión de color blanco desde el Cráter “El Verde”, además reportó que aparentemente también hay salida de gases volcánicos en el cráter antiguo Plazuelas (Figura 2.4.21.).

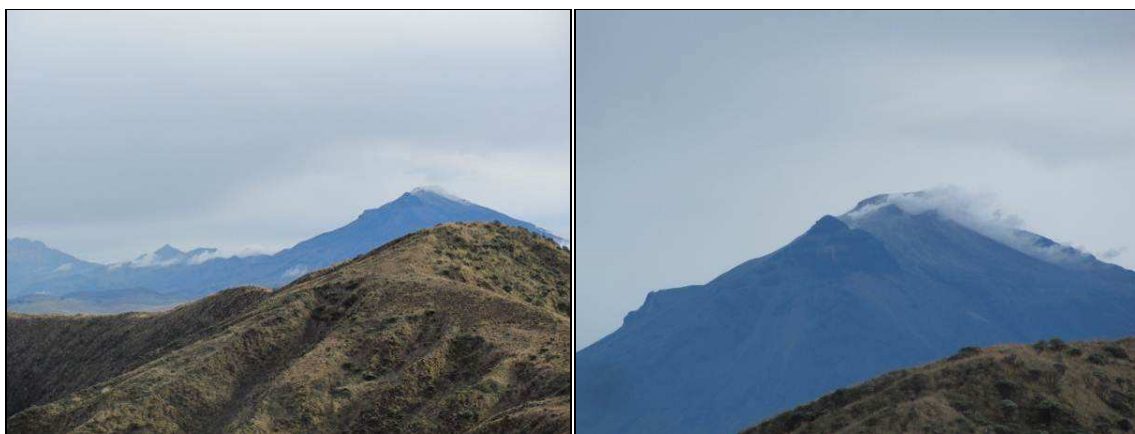


Figura 2.4.21. Registro fotográfico de una pequeña emisión de gases del volcán Cumbal observada desde el volcán Azufra el 27 de abril de 2011 a las 4:35 p.m.

En el mes de junio, los días 19 y 28, personal del Ingeominas que se encontraba realizando labores de monitoreo en la zona de influencia de del volcán Azufra reportó tener visual hacia el volcán Cumbal, observándose actividad de emisión de gases de color blanco desde el campo de emisión “El Verde”, que por acción del viento se dirigía hacia el sector noroeste del volcán. (Figuras 2.4.22 y 2.4.23.).

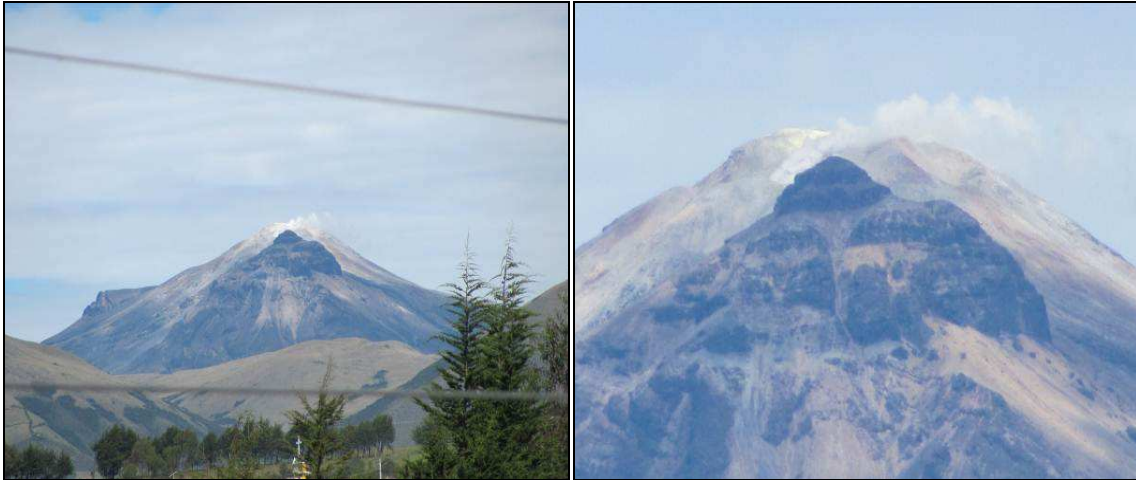


Figura 2.4.22. Registro fotográfico de una pequeña emisión de gases del volcán Cumbal observada desde el volcán Azufral el 19 de junio de 2011 a las 10:32 a.m.

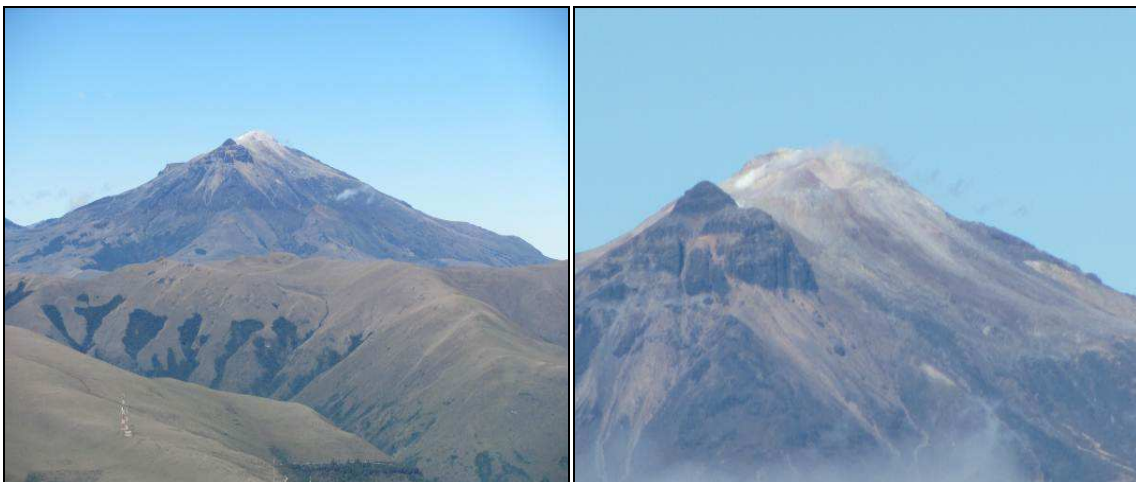


Figura 2.4.23. Registro fotográfico de una pequeña emisión de gases del volcán Cumbal observada desde el volcán Azufral el 28 de junio de 2011 a las 9:50 a.m.

2.4.6. Conclusiones

Los parámetros de evaluación de la actividad del volcán Cumbal permiten establecer que los procesos volcánicos que predominan se asocian con dinámica de fluidos al interior del sistema, con un aporte de alrededor del 75 %. De estos procesos de fluidos, predominan aquellos relacionados con fuentes transitorias (LPS), que mantuvieron durante el primer semestre del 2011 un promedio mensual de alrededor de 600 eventos por mes.

Eventualmente se evidencia la ocurrencia de eventos tipo TOR, que para el caso de la evaluación de la actividad del volcán Cumbal, por el momento estos no tienen la misma repercusión que en el caso de Galeras, pues tanto la sismicidad acompañante a estos eventos como la recurrencia de la misma no indican posibles procesos de sobrepresión; mas bien pueden obedecer a condiciones



geométricas de la fuente donde estén transitando o, de contraste de impedancias entre el fluido y el medio por donde éste está circulando y muy probablemente asociados con condiciones del sistema hidrotermal predominante actualmente en el volcán.

- Hasta el momento, la evaluación de los parámetros de monitoreo del volcán Cumbal, permiten evidenciar un comportamiento relativamente estable, que se ha manifestado al mantener durante este semestre el **NIVEL (IV) VERDE ●** : “**Volcán activo y comportamiento estable**”.



2.5 BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. Reportes Mensuales de Actividad del Volcán Galeras. Meses de enero a junio 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 en el análisis, procesamiento e interpretación de la información que se genera a partir de los diferentes parámetros de monitoreo volcánico en el Primer Semestre del 2011.

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