





**OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
DE MANIZALES**

**INFORME DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA SEGMENTO NORTE DE COLOMBIA  
COMPLEJO VOLCÁNICO (CERRO BRAVO-CERRO MACHÍN)  
2012**

## RESUMEN

Durante el año 2012 la actividad sísmica de los volcanes del Segmento Norte de Colombia, CVCBCM mostró niveles bajos, con excepción del Volcán Nevado del Ruiz, el cual mostró cambios importantes en los parámetros de monitoreo, lo cual conllevó en el mes de Mayo al cambio de nivel amarillo (III) a nivel naranja (II) y posteriormente el 30 de Junio donde producto de una nueva emisión de ceniza se cambió de nivel de Naranja (II) a Rojo (I). El VNR durante 2012 y en comparación con otros años presentó un importante incremento en su actividad, con el registro de sismos tipo VT (relacionados con fracturamiento al interior de la estructura volcánica) al igual que actividad sísmica relacionada al movimiento de fluidos al interior de los conductos del volcán, representada en eventos de largo periodo (LP), híbridos (HB), tremor volcánico (TR) en pulsos de tremor continuo de baja energía. Se destacan varias señales sísmicas en el VNR, que estuvieron asociadas a explosiones y emisiones de gases y ceniza, siendo las más importantes, las registradas los días 29 de Mayo y 30 de Junio. La magnitud máxima registrada fue de 3.0 ML (magnitud local), correspondiente a un sismo ocurrido el 14 de Julio a las 11:48 (hora local), asociado al fracturamiento de roca al interior del edificio volcánico, localizado al Sur del cráter Arenas a una profundidad de 3.18 km. En general, la actividad tipo VT se localizó predominantemente hacia el Norte, Nororiente, Oriente, Suroriente, Sur, Suroccidente, Occidente del volcán y en el cráter Arenas, a profundidades que variaron entre 0.3 km y 12.5 km. Adicionalmente Los flujos de SO<sub>2</sub> presentaron incrementos importantes, destacándose el flujo registrado el día 26 de abril de 2012 que alcanzó un valor de 30285 Ton/día. De igual manera algunas de las estaciones de la red de deformación del VNR mostraron un claro proceso deformativo, localizado en cercanías del cráter Arenas a una profundidad menor de 2 km.

Con base en la evaluación integral de los parámetros que se monitorean continuamente, se mantuvieron durante el año en NIVEL AMARILLO  (ó III): Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica el volcán Cerro Machín, y en NIVEL VERDE (ó IV):  Volcán activo y comportamiento estable, los volcanes Nevado del Tolima, Cerro Bravo, Nevado Santa Isabel, Paramillo del Cisne, Paramillo del Quindío y Paramillo de Santa Rosa.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR)</b>	<b>3</b>
<b>1.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>3</b>
<b>1.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>7</b>
1.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT)	9
1.2.2 Sismos de largo período (LP)	13
1.2.3 Actividad superficial (la columna de gas y señales sísmicas asociadas a la actividad glacial)	21
<b>1.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>25</b>
<b>1.4 GEOQUÍMICA</b>	<b>32</b>
1.4.1 Emisiones de Gas Radón	32
1.4.2 Fuentes Termales (FT)	34
1.4.3 Flujo de SO <sub>2</sub> . Estaciones SCAN DOAS, Mobile DOAS Y AURA/OMI	37
<b>2. VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT)</b>	<b>41</b>
<b>2.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>41</b>
<b>2.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>42</b>
2.2.1 Señales asociadas a la actividad glacial	45
<b>2.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>45</b>
<b>3. VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM)</b>	<b>47</b>
<b>3.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>47</b>
<b>3.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>49</b>
3.2.1 Sismos volcano-tectónicos	49
<b>3.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>58</b>
<b>3.4 GEOQUÍMICA</b>	<b>60</b>
3.4.1 Medidas de Gas Radón	60
3.4.2 Fuentes Termales (FT)	62
3.4.3 Medida del flujo de CO <sub>2</sub> .	65
3.4.4 Medidas de Flujo de CO <sub>2</sub> en suelo	66
<b>3.5 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS</b>	<b>68</b>
3.5.1 Magnetometría	68
3.5.2 Potencial espontáneo	68
<b>4. VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)</b>	<b>70</b>
<b>4.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>70</b>
<b>4.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>70</b>
<b>4.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>72</b>
<b>4.4 GEOQUÍMICA</b>	<b>74</b>
4.4.1 Medidas de Gas Radón	74
<b>5. VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VPSR)</b>	<b>76</b>
<b>5.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>76</b>
<b>5.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>76</b>
<b>6. VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL (VNSI)</b>	<b>76</b>
<b>6.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>76</b>
<b>6.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>76</b>
<b>6.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>79</b>
<b>7. VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE (VPC)</b>	<b>81</b>
<b>7.1 SISMOLOGÍA</b>	<b>81</b>
<b>8. PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ)</b>	<b>83</b>
<b>8.1 SISMOLOGÍA</b>	<b>83</b>
<b>9. ACTIVIDAD TECTÓNICA</b>	<b>85</b>
<b>9.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>85</b>
<b>11.2. SISMOLOGÍA</b>	<b>85</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>88</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Red de vigilancia CVCBCM. ....	2
<b>Figura 2.</b> Mejora en sistema eléctrico de estaciones Banda Ancha.....	3
<b>Figura 3.</b> Estación RECIO y Acústico AZUFRADO. ....	3
<b>Figura 4.</b> Estaciones Flujo de Lodos GUALI3 Y LAGUNILLAS.....	4
<b>Figura 5.</b> Estación Cámara GUALÍ. ....	4
<b>Figura 6.</b> Cámara y ScanDOAS AZUFRADO.....	5
<b>Figura 7.</b> Fotografía de ceniza en los paneles solares.....	5
<b>Figura 8.</b> Repetidor Pitayo. ....	6
<b>Figura 9.</b> Caída de Ceniza en las estaciones del VNR. ....	6
<b>Figura 10.</b> Estación Banda Ancha RÍO CLARO y Anemómetro GUALÍ. ....	7
<b>Figura 11.</b> Red de vigilancia Sismológica, Volcán Nevado del Ruiz. ....	8
<b>Figura 12.</b> Número de sismos diarios registrados en el Volcán Nevado del Ruiz en el año 2012. El recuadro interior muestra la sismicidad diaria de tipo VT, LP, TO e HB para el período 2012. .	9
<b>Figura 13.</b> Raíz de la energía sísmica diaria liberada, Volcán Nevado del Ruiz, en el año 2012. ....	9
<b>Figura 14.</b> Mapa de localización hipocentral de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores), registrados en el Volcán Nevado del Ruiz, durante el año 2012. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas. Las líneas grises claras corresponden a los contornos topográficos. ....	10
<b>Figura 15.</b> Sismograma digital de la estación de BIS, componente vertical, correspondiente al día 29 de Marzo de 2012. Nótese los eventos de fractura ocurridos entre las 10:54 y las 11:17 (hora local).....	11
<b>Figura 16.</b> Sismogramas tipo helicorder de la evolución de la actividad sísmica desde el 31 de Marzo al 10 de Abril y sismograma del 19 de Abril (emisión de ceniza). ....	12
<b>Figura 17.</b> Sismograma digital de la estación de OLLE, componente Este-Oeste, correspondiente al día 31 de Marzo de 2012, entre las 12:00 y las 18:00 (hora local). ....	13
<b>Figura 18.</b> Sismograma digital de la estación de BIS, componente Este-Oeste, correspondiente al día 09 de Abril de 2012, entre las 12:00 y las 18:00 (hora local). ....	14
<b>Figura 19.</b> Períodos de los sismos LP registrados durante el año 2012, en el Volcán Nevado del Ruiz.....	14
<b>Figura 20.</b> Mapa de localización epicentral de sismos de largo periodo (Tipo LP e HB) en el Volcán Nevado del Ruiz, durante el año 2012, (cuadros amarillos). Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas. Las líneas gris claro corresponden a los contornos topográficos. ....	15
<b>Figura 21.</b> Mapa de localización hipocentral de sismos de largo periodo tipo HB del Volcán Nevado del Ruiz 2012, obtenidas por primeros arribos (círculos). Los rectángulos negros representan las estaciones sismológicas. ....	16
<b>Figura 22.</b> Señales sísmicas asociadas a las emisiones de ceniza registradas los días 16,19 de Abril, 10 y 22 de Mayo y 30 de Julio de 2012. ....	17
<b>Figura 23.</b> Registro digital de la señal de tremor, y tremor bandeado, registrado el 29 Mayo de 2012, asociadas con emisión de cenizas.....	18

<b>Figura 24.</b> Registro digital de la señal de tremo. 29 de Mayo de 2012, asociadas con emisión de cenizas. En el recuadro rojo, al igual que en las fotos en la parte superior se observa el momento de emisión a la superficie. ....	19
<b>Figura 25.</b> Señal sísmica y registro fotográfico tomado desde las cámaras web ubicadas en sector Gualí (a) y en las instalaciones del OVSM (b), asociadas a la erupción registrada el 30 de Junio de 2012. ....	20
<b>Figura 26.</b> Desplazamiento reducido máximo diario asociados a la señal de tremor volcánico durante el 2012 en el Volcán Nevado de Ruiz. ....	21
<b>Figura 27.</b> Columna de gas en el Volcán Nevado del Ruiz. Esta fotografía fue tomada durante un sobrevuelo el día 8 de marzo. Nótese la capa delgada de ceniza volcánica sobre el glaciar. 22	22
<b>Figura 28.</b> Columna de gas y vapor en el Volcán Nevado del Ruiz. Fotografías tomadas desde el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, los días 7 y 23 de Abril de 2012. La columna alcanzó más de 3000 m de altura el día 23 de Abril. ....	22
<b>Figura 29.</b> Comparación de imágenes de satélite tomadas por la NASA. ....	23
<b>Figura 30.</b> Columna de gas y ceniza en el Volcán Nevado del Ruiz. La altura máxima alcanzada fue de 8000 m. Estas fotografías fueron tomadas desde las cámaras web que monitorean la actividad superficial del volcán y a partir de sobrevuelos realizados en cooperación con la FAC (Fuerza Aérea Colombiana), Junio de 2012. ....	23
<b>Figura 31.</b> Apreciaciones visuales de la mañana del 30 de Septiembre donde se observó gas de color azulado asociado a emisiones de Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ). ....	24
<b>Figura 32.</b> Altura de gases y ceniza observada de Enero a Diciembre de 2012 a partir de apreciaciones visuales desde el OVSM y de las cámaras instaladas en el área del volcán. ..	24
<b>Figura 33.</b> Red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz. ....	25
<b>Figura 34.</b> Elipses de error asociadas al post-procesamiento GPSD, Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	26
<b>Figura 35.</b> Serie de Tiempo, GPS GUAL a partir de procesamiento diferencial con el software T4DControl, Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	26
<b>Figura 36.</b> Serie de Tiempo, GPS NERE a partir de procesamiento diferencial con el software T4DControl, Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	27
<b>Figura 37.</b> Serie de Tiempo, GPS OLLE a partir de procesamiento diferencial con el software T4DControl, Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	27
<b>Figura 38.</b> Series de Tiempo, GPS a) GUAL, b) OLLE Y c) NERE, a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	28
<b>Figura 39.</b> Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul), Este (E) (Rojo) y Resultante (Magenta) de los inclinómetros electrónicos a) AZUF, b) LISA, c) MOLI, d) NERE, e) RECI, f) REFU de la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	29
<b>Figura 40.</b> Modelamiento de la fuente de deformación a partir de inclinómetros electrónicos. Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	30
<b>Figura 41.</b> Ocupaciones de la Base EDM REFUGIO, Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	31
<b>Figura 42.</b> Ocupaciones de la Base EDM OLLETA, Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	31
<b>Figura 43.</b> Red Geoquímica del Volcán Nevado del Ruiz en el año 2012. ....	32
<b>Figura 44.</b> Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones ARENAL, NEREIDAS, CAJONES, GUALÍ, OLLETA, RÍO GUALÍ, REFUGIO Y HOTEL Volcán Nevado del Ruiz. 2012. ....	33
<b>Figura 45.</b> Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: Hotel y Aguas Calientes. Volcán	

Nevado del Ruiz. 2012. ....	34
<b>Figura 46.</b> Variación del pH en Fuentes Termales Hotel T y Aguas Calientes. Volcán Nevado del Ruiz. 2012.....	35
<b>Figura 47.</b> Variación de la conductividad eléctrica en Fuentes Termales HOTEL T Y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. 2012. ....	35
<b>Figura 48.</b> Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales HOTEL Y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	36
<b>Figura 49.</b> Mapa de Ubicación de las Estaciones SCAN DOAS. Volcán Nevado del Ruiz, 2012. .	37
<b>Figura 50.</b> Flujo Diario Máximo de SO <sub>2</sub> . Volcán Nevado del Ruiz, 2012. ....	38
<b>Figura 51.</b> Ruta de medida de las descargas de SO <sub>2</sub> para los días 20, 21 y 22 de Junio de 2012. Volcán Nevado del Ruiz. ....	39
<b>Figura 52.</b> Flujo calculado para las descargas de SO <sub>2</sub> , medidas con Equipo MóvilDOAS.....	39
Figura 53. Ruta de medición flujo de SO <sub>2</sub> .....	40
<b>Figura 54.</b> Imágenes OMI para la descarga de SO <sub>2</sub> . Volcán Nevado del Ruiz. 2012.....	41
<b>Figura 55.</b> Estación Banda Ancha Esmeralda. ....	42
<b>Figura 56.</b> Red de vigilancia sísmica, Volcán Nevado del Tolima. ....	43
<b>Figura 57.</b> Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Nevado del Tolima, Enero - Diciembre de 2012.....	43
<b>Figura 58.</b> Energía diaria liberada en el Volcán Nevado del Tolima, Enero - Diciembre de 2012. ..	44
<b>Figura 59.</b> Mapa de localización hipocentral sismos volcano-tectónicos (círculos de colores), Volcán Nevado del Tolima, Enero a Diciembre de 2012. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas.....	44
<b>Figura 60.</b> Red de deformación del Volcán Nevado del Tolima. ....	46
<b>Figura 61.</b> Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónicos ESME Volcán Nevado del Tolima, 2012.....	46
<b>Figura 62.</b> Sensor Banda Ancha de Anillo.....	47
<b>Figura 63.</b> GNSS MORAL Y LA SECRETA. ....	48
<b>Figura 64.</b> Sensor de Radón. ....	48
<b>Figura 65.</b> Estación Banda Ancha y Cámara TOCHE.....	49
<b>Figura 66.</b> Red de estaciones sismológicas en el Volcán Cerro Machín a Diciembre de 2012. En líneas punteadas azules fuentes sísmicas.....	50
<b>Figura 67.</b> Localización epicentral e hipocentral de los eventos de tipo VTs registrados durante el año 2012 en el VCM.....	51
<b>Figura 68.</b> Número de eventos de tipo VTs registrados durante el año 2012 en el VCM.....	51
<b>Figura 69.</b> Energía sísmica liberada por los eventos de tipo VTs registrados durante el año 2012 en el VCM. ....	52
<b>Figura 70.</b> Sismograma digital correspondiente al enjambre sísmico ocurrido entre el 07 y 08 de Octubre de 2012. Izquierda señales sísmicas de los dos eventos de mayor magnitud registrados durante el año.....	52
<b>Figura 71.</b> Red de deformación del Volcán Cerro Machín. ....	58
<b>Figura 72.</b> Series de Tiempo, GPS a) MRAL, b) LAGU Y c) SECR, a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Cerro Machín, 2012.....	59

<b>Figura 73.</b> Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónicos CIMA Volcán Cerro Machín, 2012. ....	60
<b>Figura 74.</b> Mapa estaciones Geoquímicas, Volcán Cerro Machín. ....	61
<b>Figura 75.</b> Variación de los niveles de Radón en suelo. Volcán Cerro Machín. 2012. ....	62
<b>Figura 76.</b> Variación de Temperatura Fuentes Termales Piscina y Estatuas. Volcán Cerro Machín. 2012. ....	63
<b>Figura 77.</b> Variación de pH Fuentes Termales Piscina y Estatuas. Volcán Cerro Machín. ....	63
<b>Figura 78.</b> Variación de la Conductividad Eléctrica Fuentes Termales Piscina y Estatuas. Volcán Cerro Machín. 2012. ....	63
<b>Figura 79.</b> Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuente Termal Piscina. ....	64
<b>Figura 80.</b> Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuente Termal Estatuas. ....	64
<b>Figura 81.</b> Mapa de localización de los puntos de medición de flujo de CO <sub>2</sub> en suelo. ....	65
<b>Figura 82.</b> Equipo de Medición LICOR 820 para medida de Flujo de CO <sub>2</sub> en suelo. ....	67
<b>Figura 83.</b> Localización de los puntos de medida del flujo de CO <sub>2</sub> en el Volcán Cerro Machín. Mayo de 2012. ....	67
<b>Figura 84.</b> Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín durante el año 2012. a) Estación AGUAS CALIENTES de Enero 01 – Junio 30 b) Estación AGUAS CALIENTES de Julio 01 – Diciembre 31. c) Estación DOMO de Enero 01 – Junio 30, d) Estación DOMO de Julio – Diciembre de 2012. ....	68
<b>Figura 85.</b> Cambios en el potencial espontáneo en la estación DOMO del Volcán Cerro Machín durante el año 2012. ....	69
<b>Figura 86.</b> Repetidor Cerro Bravo. ....	70
<b>Figura 87.</b> Red vigilancia sísmica, Volcán Cerro Bravo. ....	71
<b>Figura 88.</b> Numero de Sismos Diarios Volcán Cerro Bravo, 2012. ....	72
<b>Figura 89.</b> Raíz Energía sísmica diaria liberada, Volcán Cerro Bravo, 2012. ....	72
<b>Figura 90.</b> Red de deformación del Volcán Cerro Bravo. ....	73
<b>Figura 91.</b> Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CBRA Volcán Cerro Bravo, 2012. ....	73
<b>Figura 92.</b> Red geoquímica Volcán Cerro Bravo. ....	74
<b>Figura 93.</b> Variación de los Niveles de Radón en suelo. Volcán Cerro Bravo. 2012. ....	75
<b>Figura 94.</b> Número de Sismos diarios, Volcán Nevado de Santa Isabel, 2012. ....	77
<b>Figura 95.</b> Raíz Energía sísmica diaria liberada, Volcán Nevado de Santa Isabel, 2012. ....	77
<b>Figura 96.</b> Localización hipocentral de sismos VT en el Volcán Nevado de Santa Isabel, 2012. ....	78
<b>Figura 97.</b> Número de sismos diarios, sector Cerro España, 2012. ....	78
<b>Figura 98.</b> Raíz Energía sísmica diaria liberada, sector Cerro España, 2012. ....	79
<b>Figura 99.</b> Red de deformación del Volcán Nevado de Santa Isabel. ....	80
<b>Figura 100.</b> Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CHAV Volcán Nevado de Santa Isabel, 2012. ....	80
<b>Figura 101.</b> Número de sismos diarios, Paramillo del Cisne, 2012. ....	81
<b>Figura 102.</b> Raíz Energía sísmica diaria liberada, Paramillo del Cisne, 2012. ....	81

<b>Figura 103.</b> Localización hipocentral de sismos VT en el Paramillo del Cisne, 2012. ....	82
<b>Figura 104.</b> Número de sismos diarios, Paramillo del Quindío, 2012. ....	83
<b>Figura 105.</b> Energía sísmica diaria liberada, Paramillo del Quindío, 2012. ....	84
<b>Figura 106.</b> Localización hipocentral de sismos VT en el Paramillo del Quindío, 2012. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas. ....	84
<b>Figura 107.</b> Estación Marsella. ....	85
<b>Figura 108.</b> Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante 2012, localizados por el OVSM. ....	87



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Estaciones Telemétricas de Gas Radón instaladas en el Volcán Nevado del Ruiz. Diciembre de 2012.....	34
<b>Tabla 2.</b> Actividad sísmica registrada en el Volcán Cerro Machín (VCM) durante el año 2012. ....	56
<b>Tabla 3.</b> Continuación actividad sísmica registrada en el Volcán Cerro Machín (VCM) durante el año 2012.....	57
<b>Tabla 4.</b> Datos de Flujo de CO <sub>2</sub> en suelo. Septiembre de 2012. Volcán Cerro Machín. ....	66
<b>Tabla 5.</b> Listado de los principales sismos tectónicos en el Eje Cafetero, cada mes del año 2012. Prof. Profundidad en km; Mag. Magnitud local; E.C. Eje Cafetero; HL Hora Local. ....	86

## INTRODUCCIÓN

El Servicio Geológico Colombiano (SGC), a través de la dirección de Geoamenazas, ha implementado una red de Observatorios Sismológicos y Vulcanológicos en el costado centro-occidental del territorio colombiano, con el fin de monitorear los volcanes activos de esta sección del país. El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales (OVS-Manizales), creado en 1986, se encarga de realizar monitoreo continuo de los volcanes pertenecientes al Segmento Norte de Colombia. Se monitorea permanentemente los volcanes Cerro Bravo, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Paramillo del Cisne, Volcán Nevado de Santa Isabel, Volcán Paramillo de Santa Rosa, Volcán Paramillo del Quindío, Volcán Nevado del Tolima y Volcán Cerro Machín, así como los demás centros volcánicos situados dentro del complejo volcánico. Estos volcanes se encuentran localizados en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y Tolima.

Cumpliendo con la misión que le ha sido encomendada, el OVS-Manizales realiza monitoreo continuo del comportamiento que presentan los citados volcanes, prestando especial atención a la actividad registrada por el Volcán Nevado del Ruiz y el Volcán Cerro Machín, los cuales han venido mostrando variaciones en su comportamiento con diferentes fluctuaciones en cuanto a la liberación de energía sísmica y demás parámetros geofísicos, geodésicos y geoquímicos que se tienen en cuenta para valorar la actividad volcánica.

El OVS-Manizales presenta el informe de actividad de dichos volcanes, correspondiente al año 2012. Este informe compila la información obtenida a través de las redes de vigilancia instaladas en los alrededores de los centros volcánicos (Figura 1).

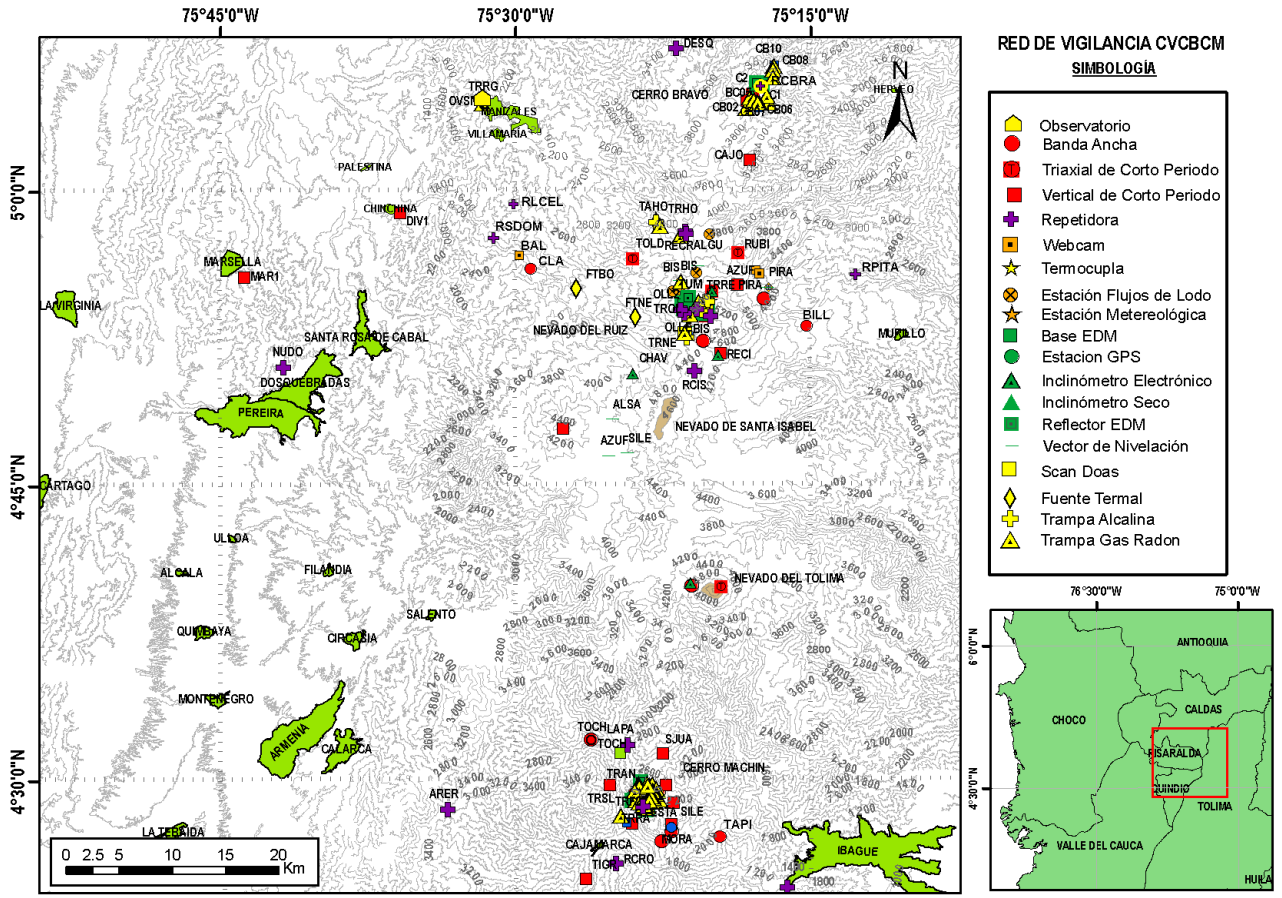


Figura 1. Red de vigilancia CVCBCM.

# 1. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR)

## 1.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia telemétrica del OVSM en este volcán durante el año 2012 fue de **74.5%**.

Durante este año se realizaron mantenimientos en los sistemas de flujos de lodos GUALI1, GUALI2, meteorológica GUALÍ y NEREIDAS además de la reinstalación del GPS GUALI el cual sufrió daños a causa de los fuertes vientos, se mejoró sistema eléctrico en las estaciones Banda Ancha con el aumento de número de paneles en las estaciones. Figura 2.



**Figura 2.** Mejora en sistema eléctrico de estaciones Banda Ancha.

Se instaló en el sector de Recio la estación Corto Periodo RECIO como se muestra en la Figura 3, la cual repite en el CISNE así como también se realizaron labores de mantenimiento a la red de estaciones sismológicas de TOLDA FRIA, BIS, OLLETA, AZUFRADO así como el sistema acústico ubicado en este último Figura 3.



**Figura 3.** Estación RECIO y Acústico AZUFRADO.

Se instalaron los sistemas de Flujos de Lodos GUALI3 y LAGUNILLAS (Figura 4), estas se encuentran a 200 metros del río Gualí y Lagunillas, además se encuentran a una distancia considerable del cráter; también se realizó la instalación de la cámara GUALI, la cual tiene plena línea de vista con el volcán y su fumarola.



**Figura 4.** Estaciones Flujo de Lodos GUALI3 Y LAGUNILLAS.



**Figura 5.** Estación Cámara GUALÍ.

Adicional a la instalación de la Cámara de GUALI también se instaló una similar en los sectores del río Azufrado y la unión entre el río Nereidas y Molinos con el fin de hacer vigilancia de estos cañones y los niveles de agua que transportan estos, además de la instalación de un ScanDOAS con el fin de hacer monitoreo de las descargas de SO<sub>2</sub> del volcán en el sector Norte-Oriente (Figura 6).



**Figura 6.** Cámara y ScanDOAS AZUFRADO.

Durante los meses de Mayo y Junio las principales dificultades radicaron en problemas asociados al sistema eléctrico de las estaciones ya que la constante caída de ceniza impedía la incidencia de luz necesaria para un correcto ciclo de carga de las baterías.



**Figura 7.** Fotografía de ceniza en los paneles solares.

Se instaló la estación Banda Ancha en el sector de BILLAR, municipio de Murillo y sus correspondientes repetidoras en el Cerro Pitayo de este mismo municipio y en Cerro Bravo en el sector de Letras (Tolima), estas repetidoras permiten el enlace de esta nueva estación y los sistemas de flujos de lodos LAGUNILLAS Y GUALI3 a la red digital ya existente.



**Figura 8.** Repetidor Pitayo.

Una vez las cantidades de ceniza en el aire disminuyeron, se realizaron mantenimientos correctivos en los repetidores de las diferentes troncales de datos al igual que las estaciones de monitoreo.



**Figura 9.** Caída de Ceniza en las estaciones del VNR.

A final de año se instaló la estación Banda Ancha RÍO CLARO, cuya señal se anexa a la red a través del repetidor SANTO DOMINGO; para la instalación de dicho sensor se hizo necesario un acondicionamiento especial en la roca; además se realizaron labores de instalación de estaciones de gas radón telemétrico de GUALI y ALFOMBRALES, así mismo un anemómetro en el nacimiento del Río Gualí.



**Figura 10.** Estación Banda Ancha RÍO CLARO y Anemómetro GUALÍ.

Se destaca que la estación repetidora VENTANAS fue violentada pocos días después de su instalación, con lo cual hurtaron el panel solar y la batería.

## 1.2 SISMOLOGÍA

La actividad sísmica del Volcán Nevado del Ruiz (VNR) mostró una intensa actividad a lo largo del año 2012. La sismicidad del VNR estuvo dominada tanto por la ocurrencia de sismos volcano-tectónicos (VT), asociados al fracturamiento de roca al interior del edificio volcánico, como a actividad sísmica relacionada al movimiento de fluidos al interior de los conductos del volcán, representada en eventos de largo periodo (LP), híbridos (HB), tremor volcánico (TR) en pulsos de tremor continuo de baja energía.

La red sismológica del VNR (Figura 11) registró un total de 52703 eventos sísmicos asociados a fracturamiento de roca y a la actividad de gases y de fluidos al interior del edificio volcánico en el transcurso del año 2012. Así mismo se registraron señales asociadas a pequeñas explosiones y/o emisiones de gases, así como multi-eventos, y pulsos de tremor de baja magnitud. Se destaca la ocurrencia de dos erupciones pequeñas los días 29 de Mayo y 30 de Junio, y permanentes emisiones de ceniza por periodos que se prolongaron por semanas (Figura 12 y Figura 13). Las señales sísmicas asociadas a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico, se localizaron en diversas fuentes sismogénicas, durante los primeros meses del año hasta el periodo eruptivo ocurrido entre Mayo y Julio, la actividad se concentró principalmente en el cráter Arenas, al Nororiente, Sur, Suroriente, Suroccidente y Occidente del mismo; desde Agosto en adelante, la actividad sísmica se localizó mayoritariamente en las fuentes sísmicas ubicadas al Norte, Nororiente, Noroccidente, Sur y Occidente del cráter. En general, este tipo de actividad se presentó a profundidades que variaron entre 0.3 km y 12.5 km. La magnitud máxima registrada fue de 3.0  $M_L$  (magnitud local), correspondiente a un sismo ocurrido el 14 de Julio a las 11:48 (hora local), asociado al fracturamiento de roca al interior del edificio volcánico, localizado al Sur del cráter Arenas a una profundidad de 3.18 km. Adicionalmente, se registró actividad sísmica relacionada al movimiento de fluidos al interior de los conductos del volcán, representada en eventos de largo periodo (LP), híbridos (HB), tremor volcánico (TR) en pulsos y dos episodios de tremor continuo de baja energía. La fuente de la mayoría de estos eventos se localizó principalmente al Sur, Suroccidente y Suroriente del cráter Arenas.



Durante este año se destaca la ocurrencia de incrementos de actividad sísmica asociada principalmente a tránsito de fluidos, los cuales dieron lugar a cambios de nivel de actividad de Nivel Amarillo (III): Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica a Nivel Naranja (II): Probabilidad de erupción en término de días o semanas y a Nivel Rojo (I): Erupción inminente o en curso.

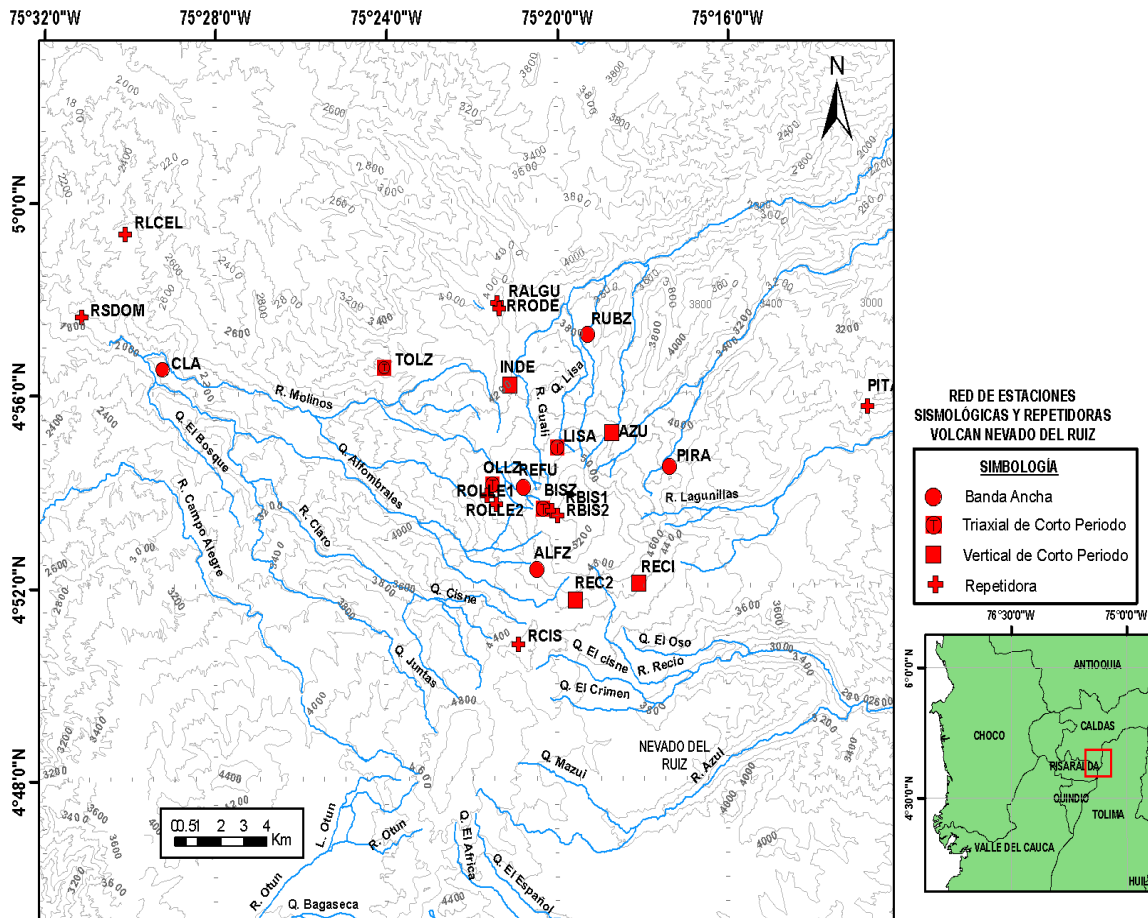
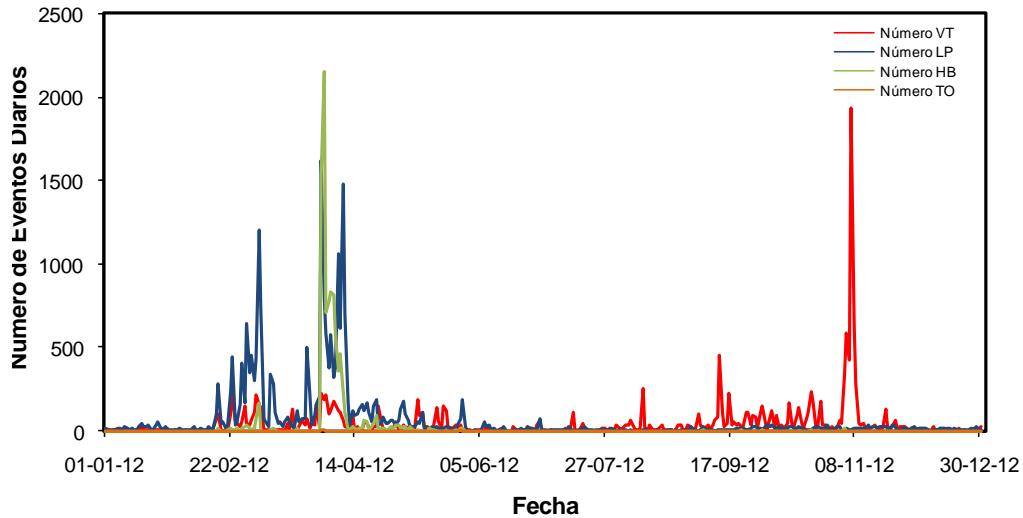
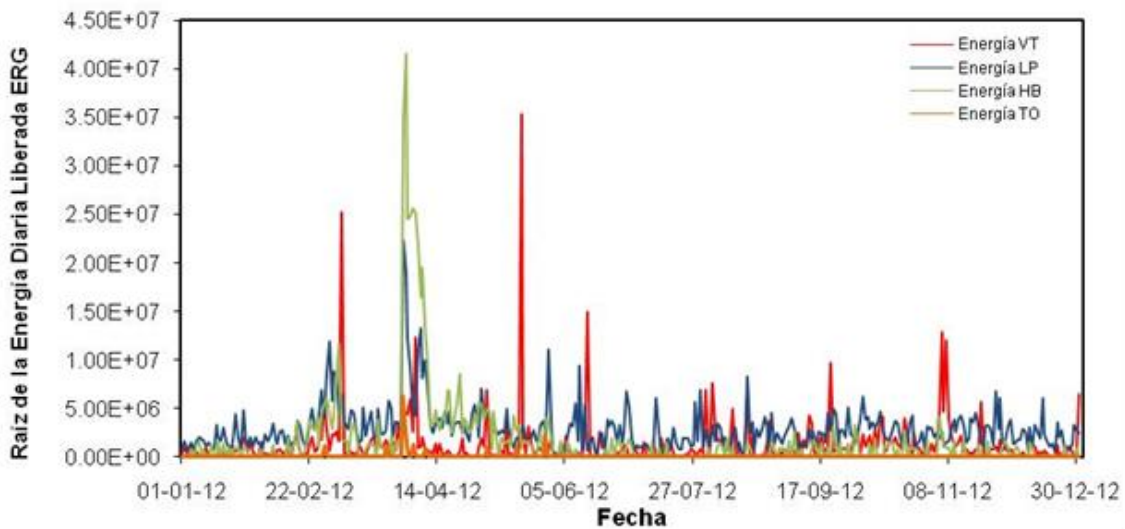


Figura 11. Red de vigilancia Sismológica, Volcán Nevado del Ruiz.



**Figura 12.** Número de sismos diarios registrados en el Volcán Nevado del Ruiz en el año 2012. El recuadro interior muestra la sismicidad diaria de tipo VT, LP, TO e HB para el período 2012.

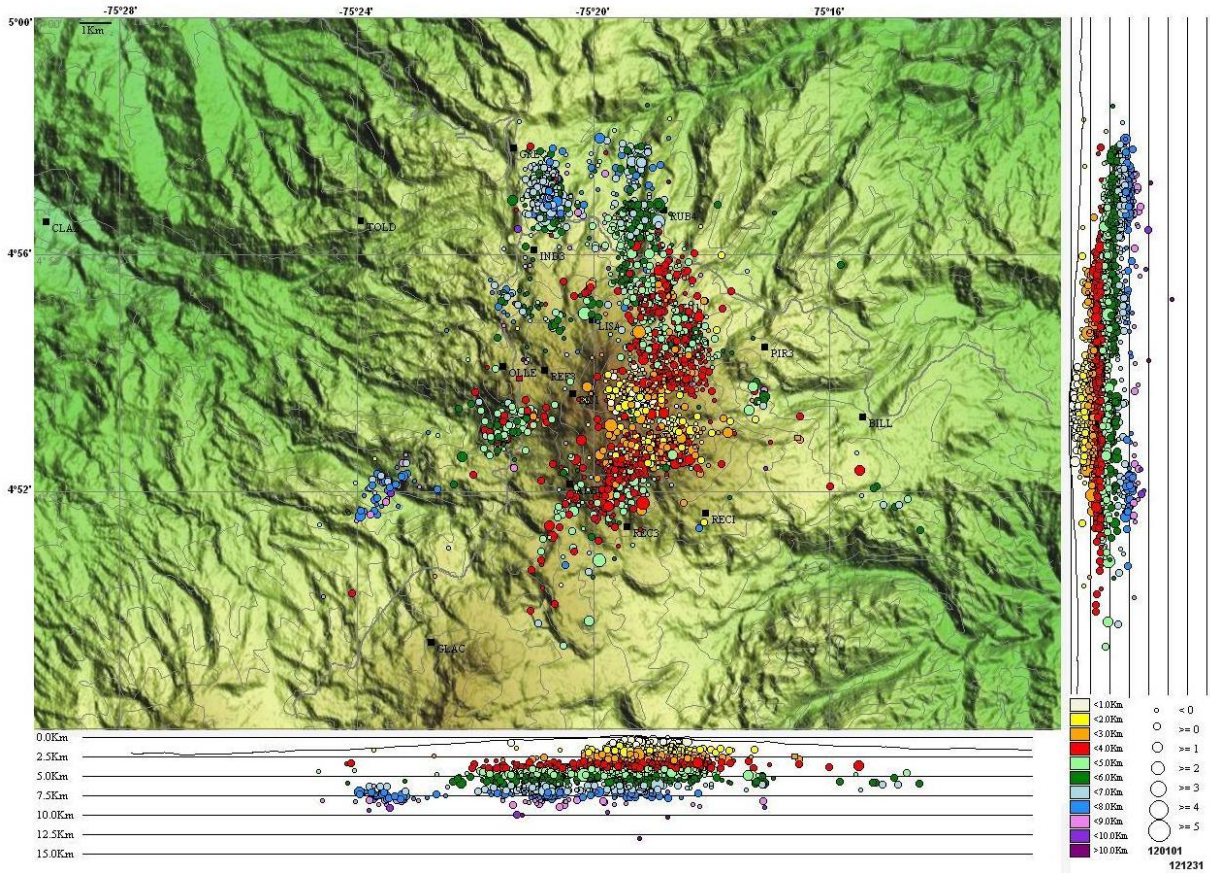


**Figura 13.** Raíz de la energía sísmica diaria liberada, Volcán Nevado del Ruiz, en el año 2012.

### 1.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT)

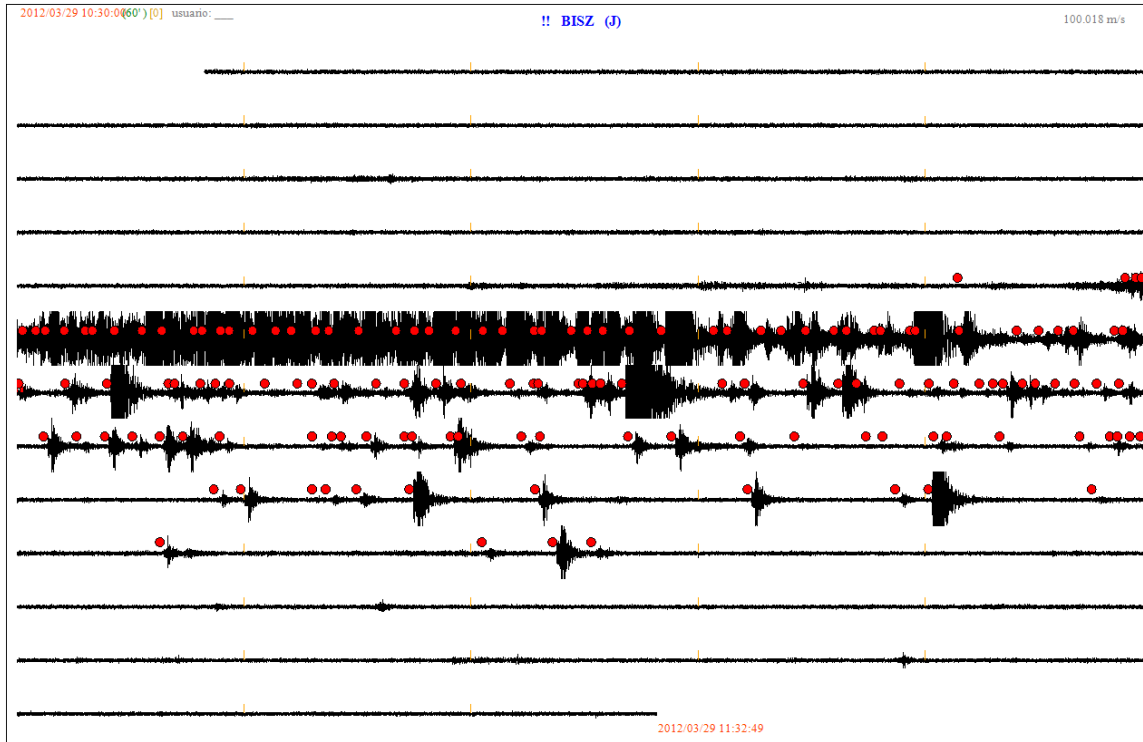
Durante el año 2012 se registraron 17762 eventos sísmicos relacionados con fracturamiento de roca dentro de la estructura volcánica, mostrando un incremento significativo comparado con la actividad registrada en el año 2010 cuando se cambió el Nivel de Actividad del volcán, de Verde (volcán estable) a Amarillo (cambios en la actividad del volcán). Este aumento no solo es notorio respecto al número diario de eventos registrados en 2010 y 2011 sino también con relación a la energía liberada por estos eventos; varios de los sismos VT presentaron magnitudes entre 2.5 y 3.0  $M_L$  (magnitud local) y algunos de estos sismos fueron reportados como sentidos en las inmediaciones del volcán. La magnitud máxima registrada fue de 3.0  $M_L$  (magnitud local), correspondiente a un sismo ocurrido el 14 de Julio a las 11:48 (hora local), asociado a fracturamiento de roca al interior del edificio volcánico, localizado al Sur del cráter Arenas

a una profundidad de 3.18 km. En general, la actividad tipo VT se localizó predominantemente hacia el Norte, Nororiente, Oriente, Suroriente, Sur, Suroccidente, Occidente del volcán y en el cráter Arenas (Figura 14), a profundidades que variaron entre 0.3 km y 12.5 km.



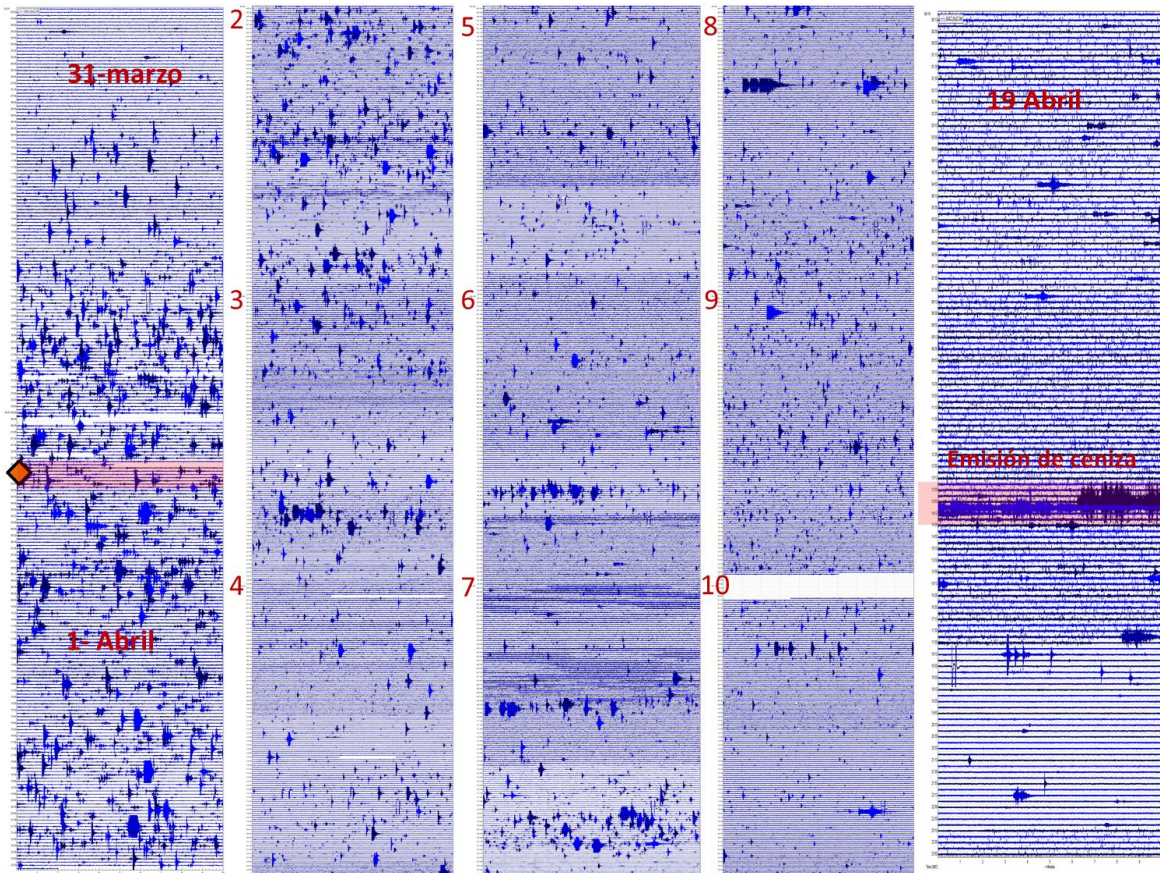
**Figura 14.** Mapa de localización hipocentral de los sismos volcánico-tectónicos (círculos de colores), registrados en el Volcán Nevado del Ruiz, durante el año 2012. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas. Las líneas grises claras corresponden a los contornos topográficos.

A partir del mes de Febrero se registró un importante incremento en la actividad de tipo VT. Se destacan las registradas entre el 24 y el 31 de Marzo localizada hacia el suroccidente del cráter La Olleta, a profundidades que variaron entre 6 y 10 km, y la del 29 de Marzo entre las 10:54 y las 11:17 (hora local), en donde se registraron una secuencia de 143 sismos de fractura localizados en el sector suroccidente del cráter Arenas y muy cerca al noroccidente del Paramillo del Cisne, a profundidades entre 4 y 6 km (Figura 15). Este episodio, unido a significativo incremento en la actividad de fluidos respecto a los meses anteriores, motivó el 31 de Marzo el cambio de nivel Amarillo (III): Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica a nivel Naranja (II): Erupción probable en término de días o semanas.



**Figura 15.** Sismograma digital de la estación de BIS, componente vertical, correspondiente al día 29 de Marzo de 2012. Nótese los eventos de fractura ocurridos entre las 10:54 y las 11:17 (hora local).

Durante el 31 de Marzo y los primeros días de Abril, el número de sismos diarios superó el conteo de mil eventos, alcanzando una magnitud máxima de 2.8  $M_L$ . Algunos de estos sismos fueron reportados como sentidos en las inmediaciones del volcán. En la Figura 16 se observan los registros sísmicos tipo helicorder sobresalientes del incremento sísmico ocurrido durante los meses de marzo y abril de 2012. Nótese la evolución de la actividad sísmica durante este período de tiempo, la cual se concentró especialmente durante la primera semana de Abril, y continuó con fluctuaciones y eventos destacados como la emisión de ceniza del día 19 del mismo mes.



**Figura 16.** Sismogramas tipo helicorder de la evolución de la actividad sísmica desde el 31 de Marzo al 10 de Abril y sismograma del 19 de Abril (emisión de ceniza).

En general, durante los primeros meses del año, hasta el periodo eruptivo ocurrido entre Mayo y Julio, la actividad se concentró principalmente en el cráter Arenas, al Nororiente, Sur, Suroriente, Suroccidente y Occidente del mismo a profundidades entre 0.3 y 9.5 km. Se resalta el episodio que inició a las 17:06 del 30 de Junio, en donde se registró un leve incremento de baja energía en los sismos de fractura, acompañados de eventos asociados a movimiento de fluidos al interior del edificio volcánico los cuales se localizaron en el cráter a profundidades inferiores a un kilómetro, con una magnitud máxima alcanzada de 1.6  $M_L$  (magnitud local). Posteriormente, a las 17:33 se inició el registro de una señal de tremor, asociada a la erupción de ceniza que se verificó mediante registro fotográfico y que dio lugar al cambio de Nivel Naranja (II): Erupción probable en término de días o semanas a Nivel Rojo (I): Erupción inminente o en curso.

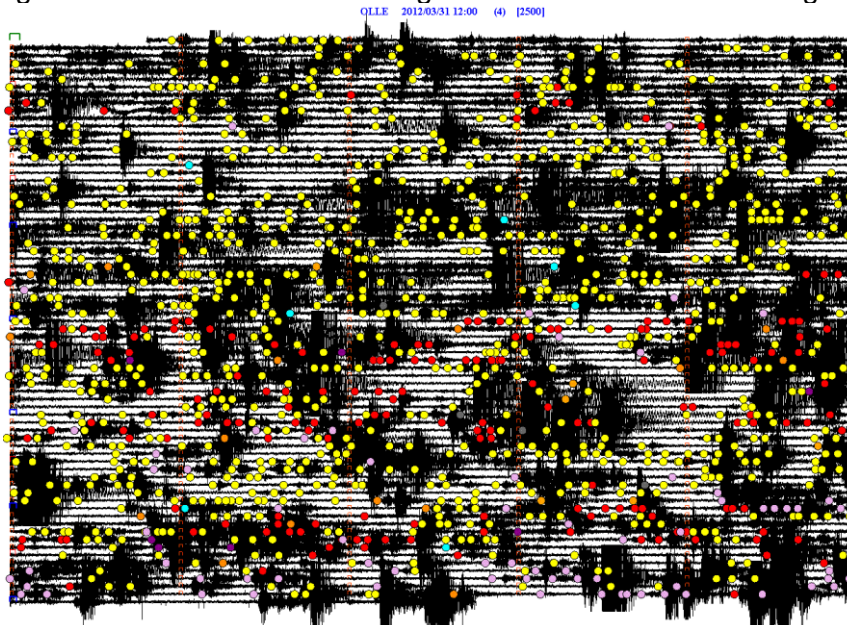
Desde el mes Agosto, la actividad sísmica se localizó principalmente en las fuentes sísmicas ubicadas al Norte, Nororiente, Noroccidente, Sur y Occidente del cráter a profundidades entre 0.5 y 12.5 km. En Agosto se destaca la ocurrencia de un incremento de actividad relacionada con este tipo de sismos el día 12 de Agosto entre las 12:00 y las 13:00 horas; estos eventos se localizaron al sur del cráter de la Olleta a profundidades entre 2.5 y 6.0 km, con magnitudes menores a 2.0 en la escala de Richter. En Septiembre se destaca la ocurrencia de varios incrementos de actividad relacionada con este tipo de sismos los días 12, 13 y 17; los eventos correspondientes a dichos incrementos se localizaron a 3.1 km al nororiente del cráter Arenas a profundidades entre 2 y 8 km, con magnitudes menores a 2.0 en la escala de Richter. De igual manera durante

Octubre se destaca la ocurrencia de varios incrementos de actividad relacionada con el fracturamiento de roca dentro de la estructura volcánica, los días 1, 12, 21 y 25; los eventos correspondientes a dichos incrementos se localizaron al Nororiente y Noroccidente del cráter Arenas a profundidades entre 3 y 6 km y con magnitudes menores a 1.1 en la escala de Richter. En Noviembre se destaca la ocurrencia de un incremento de actividad relacionada con el fracturamiento de roca, entre el 4 y el 9 de Noviembre (presentándose mayor cantidad de eventos el día 7 de Noviembre) cuando se contabilizaron 4155 sismos VT, localizados en dos sectores, uno a 5.29 km al norte del cráter Arenas y el segundo a 6.66 km al noroccidente del cráter, a profundidades entre 4 y 8 km, y magnitudes menores a 2.2 en la escala de Richter.

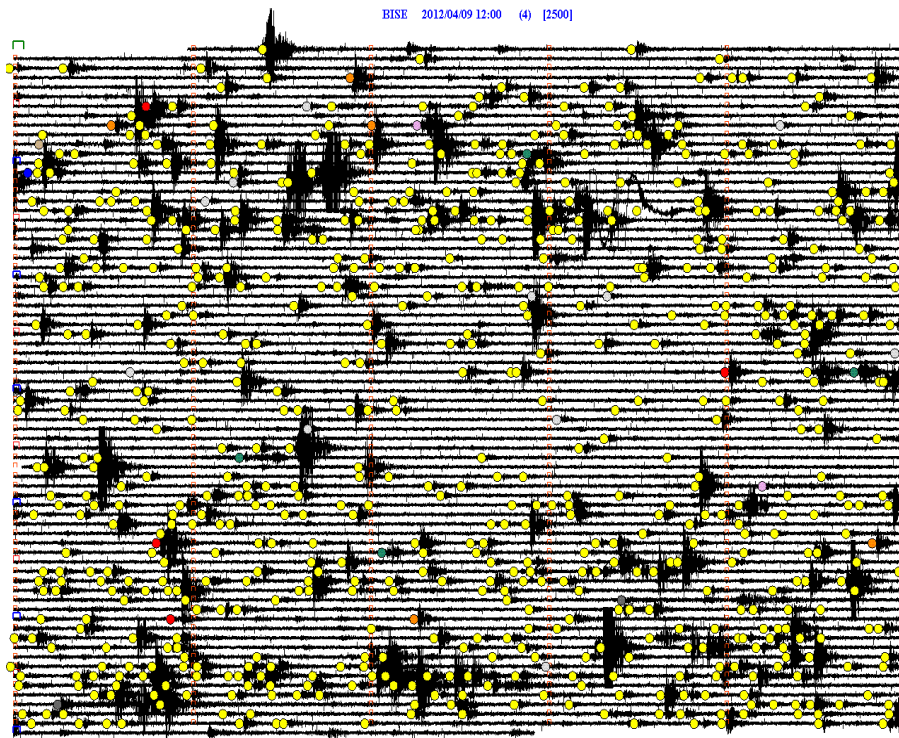
Durante 2012, junto con la sismicidad tipo VT, se registraron algunas señales catalogadas como sismos múltiples (SM), las cuales consistieron de paquetes de sismos VT y LP muy seguidos en el tiempo, al punto de impedir la diferenciación de cada evento. Este tipo de sismicidad estuvo presente a lo largo del año 2012, principalmente antes de los dos periodos eruptivos.

### 1.2.2 Sismos de largo período (LP)

En el año 2012 se registraron 24798 sismos de largo periodo (LP, HB, TO y TR), relacionados con los cambios de presión al interior de los conductos volcánicos, debido a la dinámica de gases y de fluidos al interior de éste los cuales se caracterizaron por ser superficiales y localizados principalmente en el cráter Arenas, al Sur, Suroccidente y Suroriente del mismo. De la misma forma que la actividad de fractura, los eventos asociados a movimiento de fluidos, mostraron un incremento considerable desde el mes de Febrero con respecto a los meses anteriores. En los meses Marzo y Abril se hizo más notoria la sismicidad híbrida (HB) y de largo periodo (LP). Se destaca el incremento de estos tipos de eventos a finales del mes de Marzo (Figura 17 y Figura 18). A partir de dicho incremento, se empezó a observar el registro de sismos con frecuencias de fuente más bajas, algunos de los cuales son catalogados como eventos de recarga.

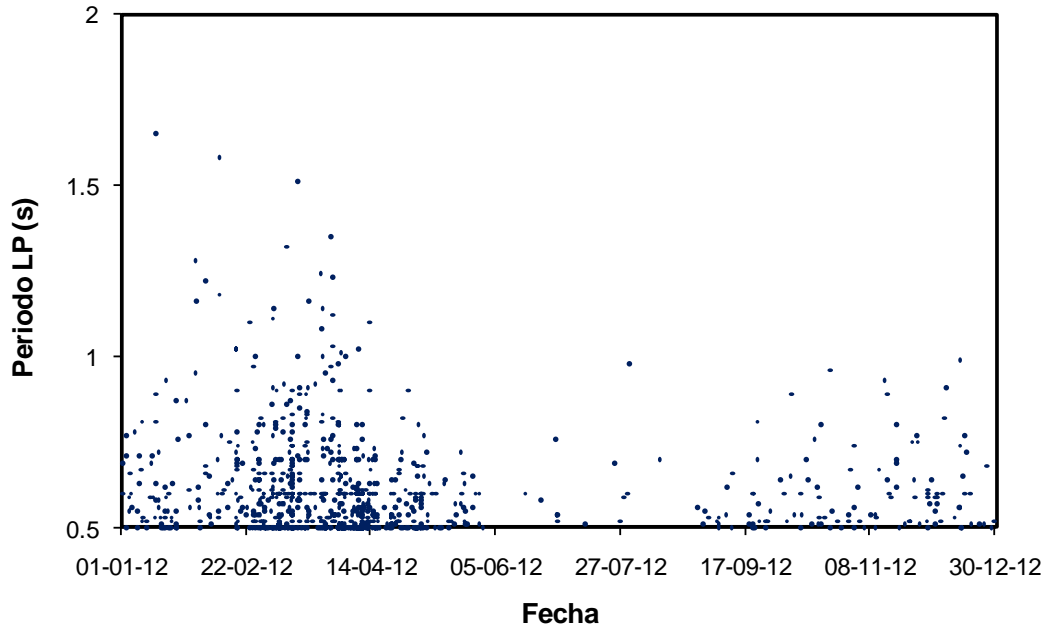


**Figura 17.** Sismograma digital de la estación de OLLÉ, componente Este-Oeste, correspondiente al día 31 de Marzo de 2012, entre las 12:00 y las 18:00 (hora local).



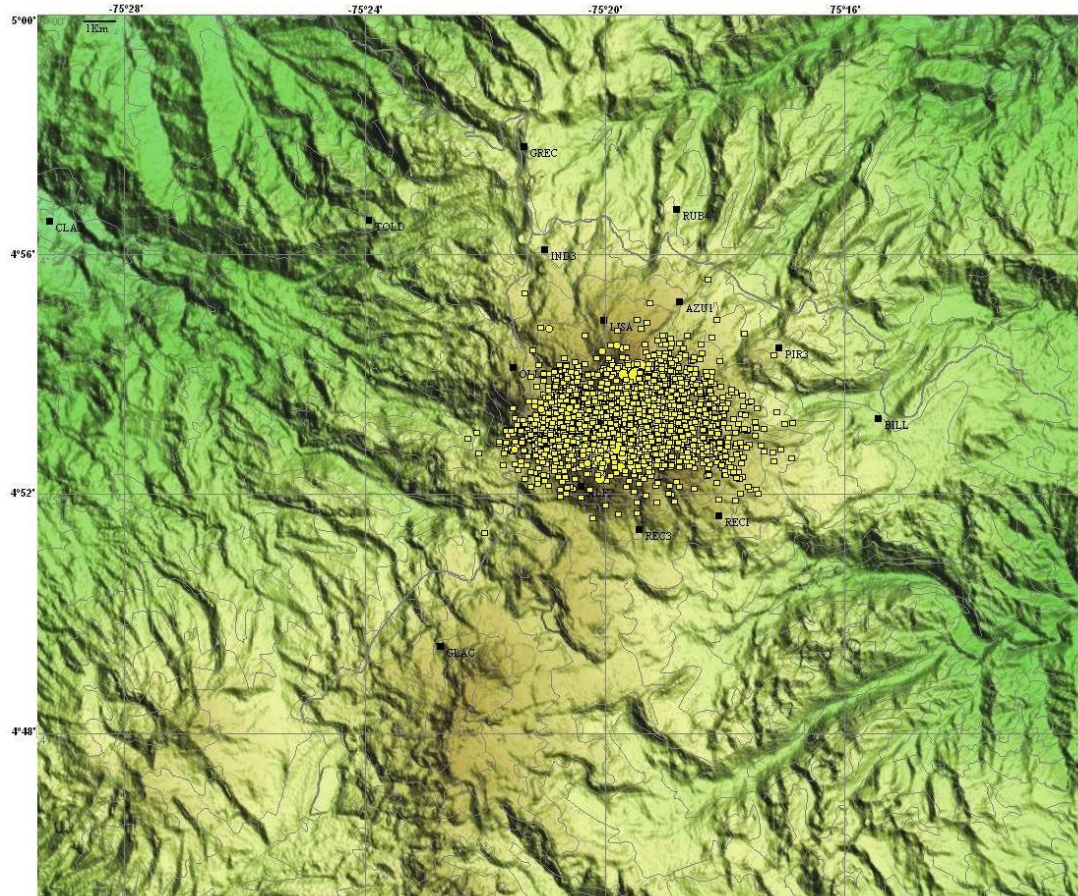
**Figura 18.** Sismograma digital de la estación de BIS, componente Este-Oeste, correspondiente al día 09 de Abril de 2012, entre las 12:00 y las 18:00 (hora local).

Los períodos de estas señales mostraron un promedio de 0.7 s (Figura 19), siendo los períodos más largos aquellos observados durante la primera mitad del año. Los sismos tipo tornillo se registraron simultáneamente con el incremento de actividad de tipo LP e HB y fueron localizados en el cráter Arenas a profundidades menores a 3 km.



**Figura 19.** Períodos de los sismos LP registrados durante el año 2012, en el Volcán Nevado del Ruiz.

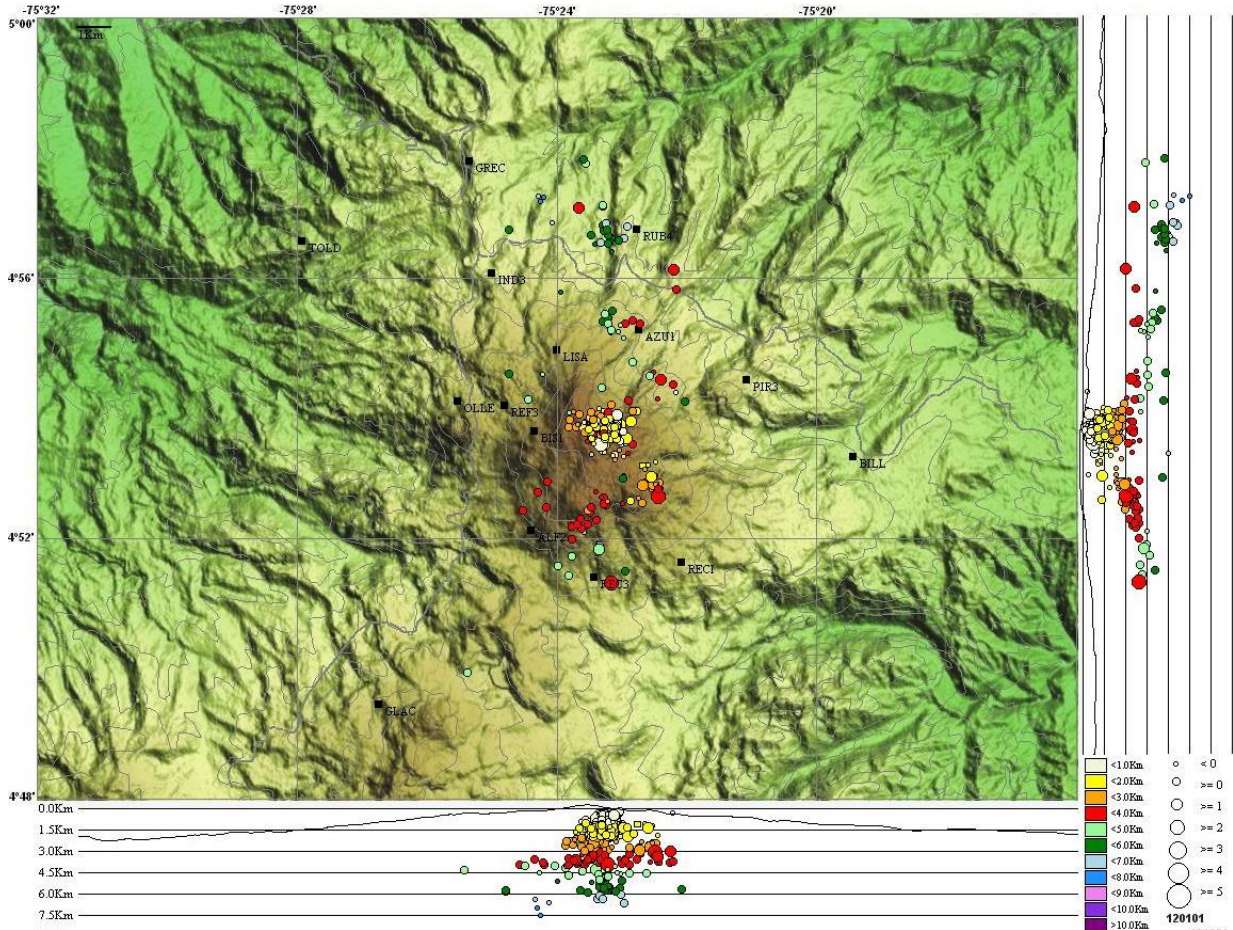
La sismicidad tipo LP, de acuerdo con los resultados de la aplicación de técnicas de atenuación de máximas amplitudes relativas, se localizó principalmente hacia el Oriente, Sur, Sureste y Suroccidente del cráter Arenas así como en cercanías del mismo (Figura 20). Las curvas de atenuación de estos sismos indican que todos ellos son de carácter superficial (< 2 km).



**Figura 20.** Mapa de localización epicentral de sismos de largo periodo (Tipo LP e HB) en el Volcán Nevado del Ruiz, durante el año 2012, (cuadros amarillos). Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas. Las líneas gris claro corresponden a los contornos topográficos.

Se registraron 10115 sismos tipo híbrido, los cuales también tienen un origen asociado a la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos. Estos sismos se localizaron al Norte, Sur, Sureste, Suroccidente y en el Cráter, a profundidades entre 0.5 y 7.5 km (Figura 21).





**Figura 21.** Mapa de localización hipocentral de sismos de largo periodo tipo HB del Volcán Nevado del Ruiz 2012, obtenidas por primeros arribos (círculos). Los rectángulos negros representan las estaciones sismológicas.

Durante el año se registraron varias señales sísmicas de Tremor volcánico, que estuvieron asociadas a explosiones y emisiones de gases y ceniza, tanto de manera pulsátil, así como continua. Se presentaron pequeños procesos, asociados con emisión de cenizas registrados los días 16 y 19 de Abril, 10 y 22 de Mayo y 30 de Julio (Figura 22).

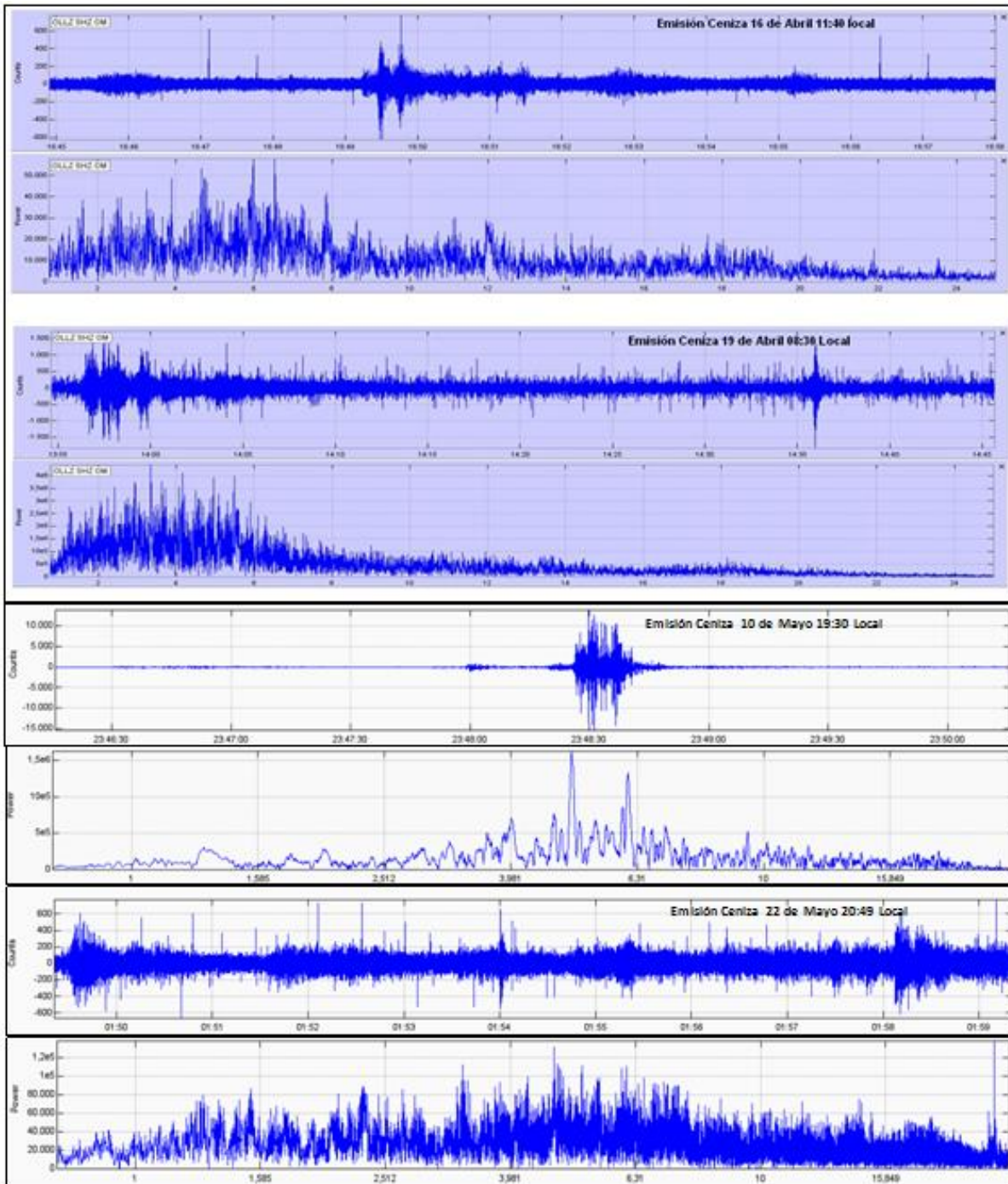
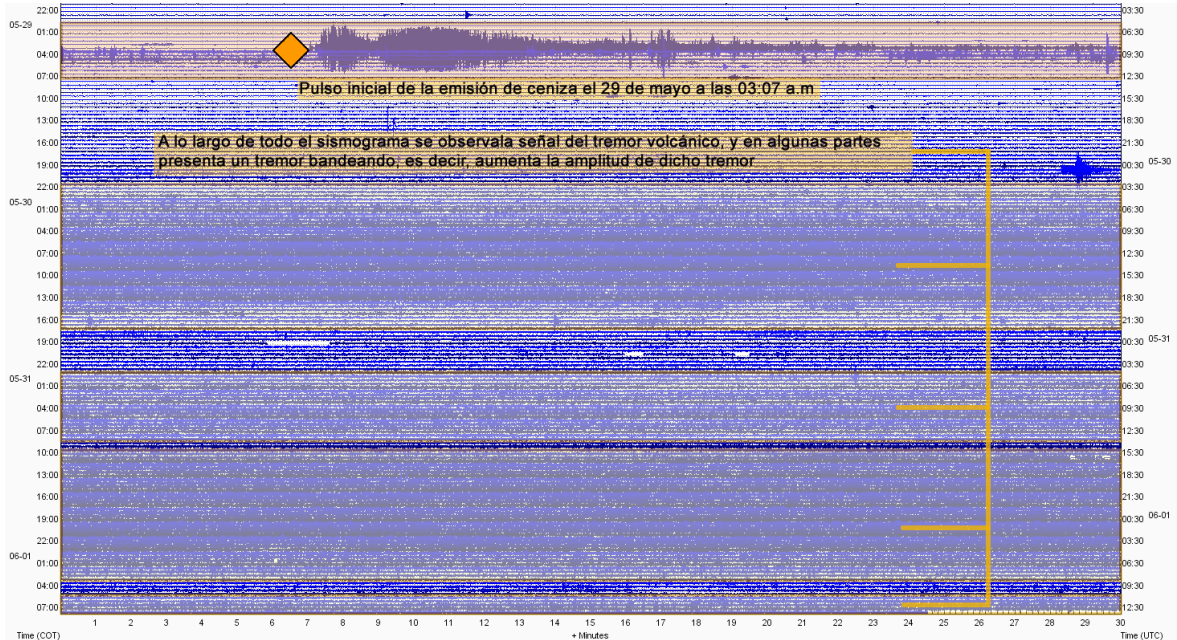


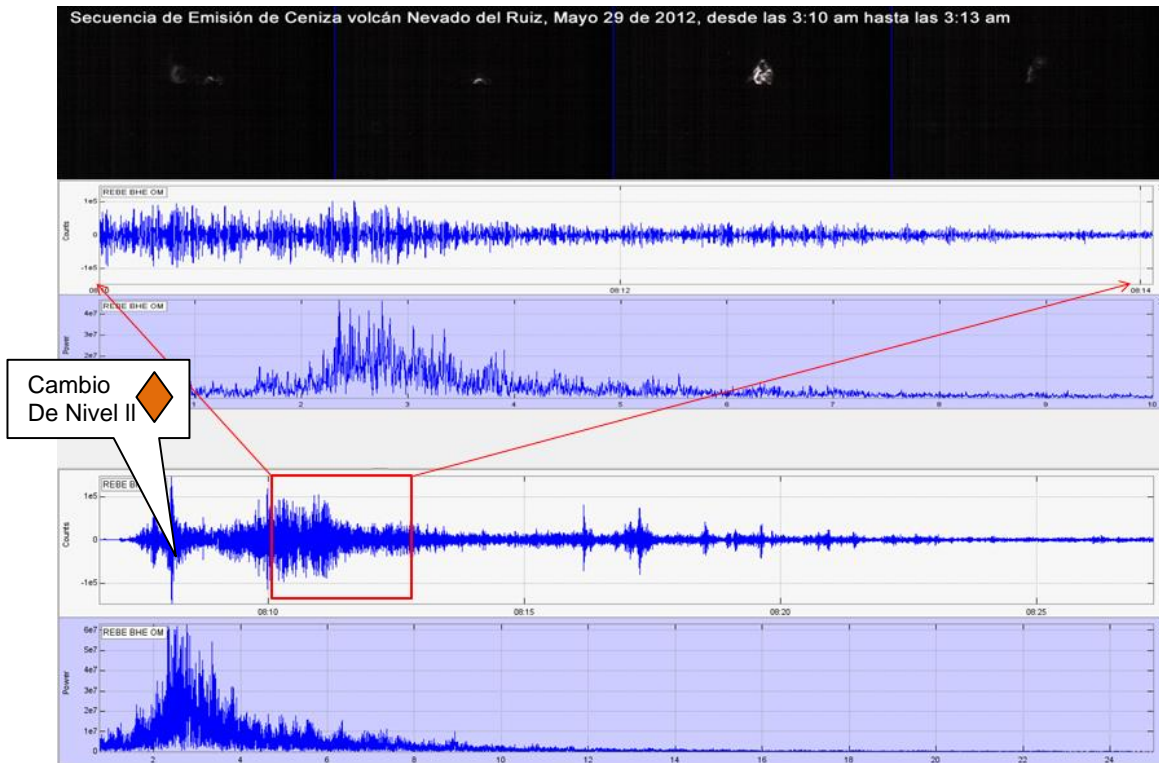
Figura 22. Señales sísmicas asociadas a las emisiones de ceniza registradas los días 16,19 de Abril, 10 y 22 de Mayo y 30 de Julio de 2012.

Asociado con la actividad registrada en el VNR, principalmente durante el primer semestre de 2012 se registraron dos eventos eruptivos considerables; el primero de ellos corresponde a una pequeña emisión de ceniza y/o explosión ocurrida el 29 de Mayo a las 03:07 (Figura 23 y Figura 24), la señal sísmica tuvo una duración aproximada de 16 minutos, y fue seguida por el registro continuo de tremor volcánico de alta frecuencia (3 – 6 Hz) y desplazamientos reducidos desde  $6.62 \text{ cm}^2$  hasta  $59 \text{ cm}^2$ , posteriormente se

reportó caída de ceniza hacia el Occidente y Noroccidente del cráter, alcanzando más de 100 km de distancia, en los departamentos de Caldas, Risaralda, Antioquia y Norte del Valle del Cauca. Por tal motivo, se determinó realizar el cambio de Nivel Amarillo (III): Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica a Nivel Naranja (II): Erupción probable en término de días o semanas.

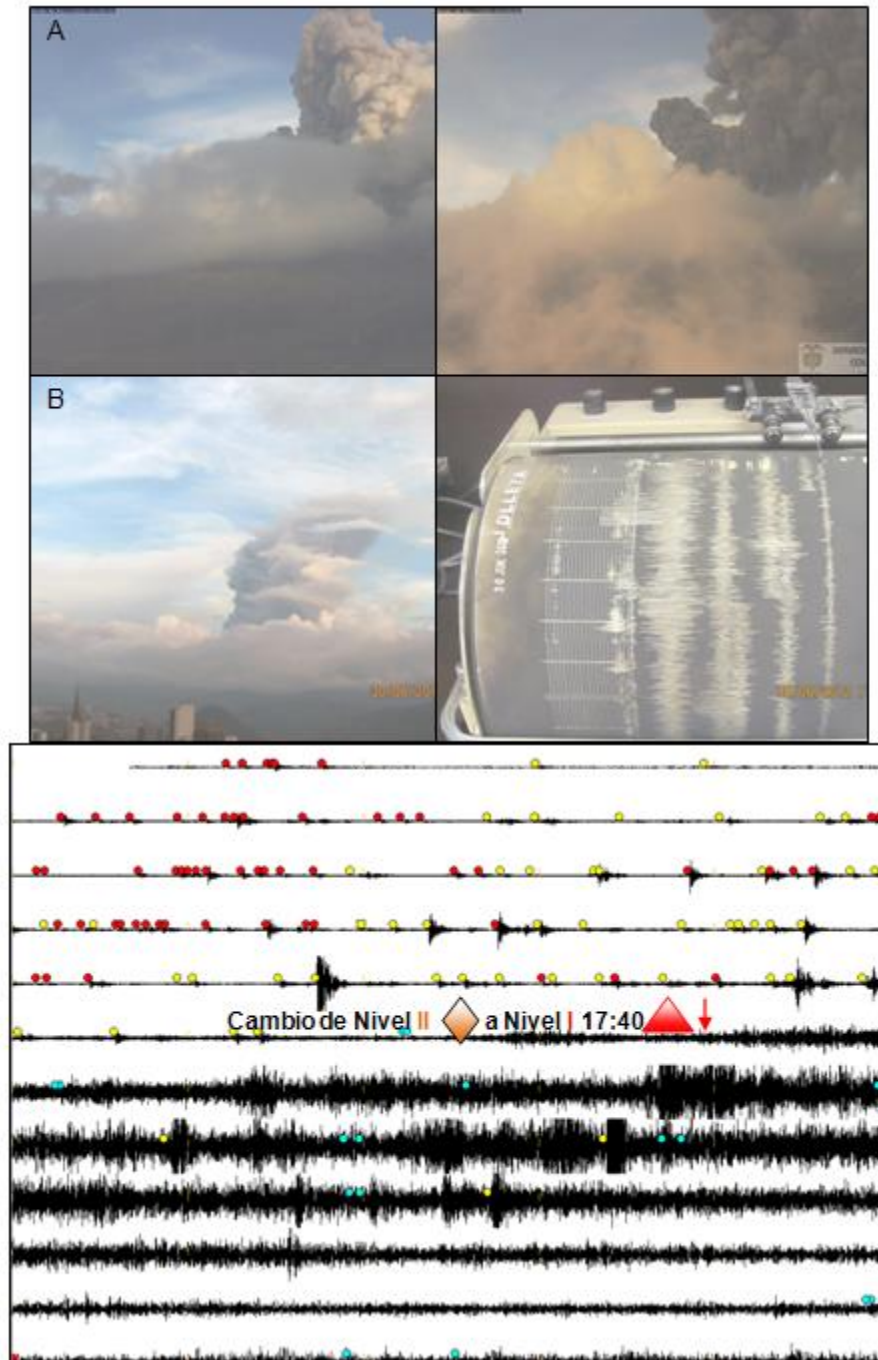


**Figura 23.** Registro digital de la señal de tremor, y tremor bandedado, registrado el 29 Mayo de 2012, asociadas con emisión de cenizas.

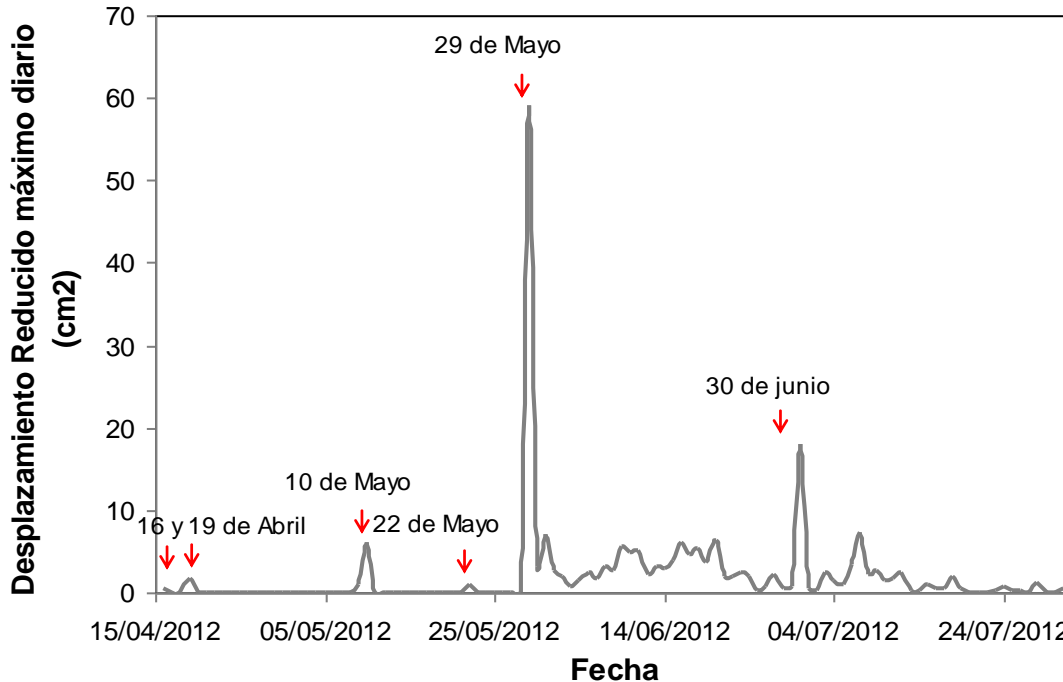


**Figura 24.** Registro digital de la señal de tremor. 29 de Mayo de 2012, asociadas con emisión de cenizas. En el recuadro rojo, al igual que en las fotos en la parte superior se observa el momento de emisión a la superficie.

El segundo episodio, inicio a las 17:33 del día 30 de Junio donde se registró una señal de tremor de baja amplitud, la cual fue aumentando paulatinamente hasta alcanzar un pico máximo a las 17:40 con un desplazamiento reducido de  $20 \text{ cm}^2$ , producto de la cual se realizó el cambio de nivel de **Naranja (II)** a **Rojo (I)**. La columna de gases asociada alcanzó una altura de aproximadamente 8000 m sobre la cima del volcán (Figura 25). Dicha columna presentó un color gris oscuro y una dispersión preferencial hacia el Occidente y Suroccidente del volcán, de donde se recibieron reportes de caída de ceniza en los sectores cercanos, así como en los municipios de Chinchiná, Santa Rosa de Cabal, Pereira, Mistrató, Apía, Santuario y Palestina. La señal sísmica asociada a la erupción, tuvo una duración mayor que los procesos de emisión de cenizas registrados los días 16 y 19 de Abril, 10 y 22 de Mayo y 30 de Julio de 2012. En la Figura 26, se presenta el desplazamiento reducido máximo diario de las señales de tipo tremor, donde se pueden apreciar los eventos importantes de emisión de ceniza.



**Figura 25.** Señal sísmica y registro fotográfico tomado desde las cámaras web ubicadas en sector Gualí (a) y en las instalaciones del OVSM (b), asociadas a la erupción registrada el 30 de Junio de 2012.



**Figura 26.** Desplazamiento reducido máximo diario asociados a la señal de tremor volcánico durante el 2012 en el Volcán Nevado de Ruiz.

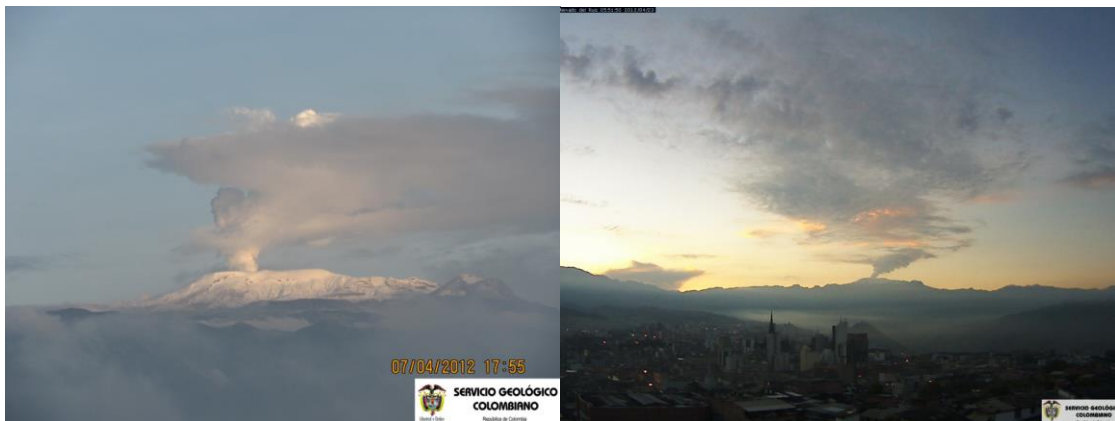
### 1.2.3 Actividad superficial (la columna de gas y señales sísmicas asociadas a la actividad glacial)

Durante el año 2012 se registraron eventos relacionados con pequeñas avalanchas de rocas, material piroclástico de caída, y/o hielo-nieve, generadas por el fenómeno de deshielo en la parte alta del volcán, así como por procesos asociados a la dinámica glacial y a la remoción del material volcánico depositado, el cual es movilizado por lluvias y por deshielo del casquete glacial.

En el transcurso del año se registró un incremento en las salidas de columnas de vapor relacionadas con la actividad fumarólica en el cráter, así como también se observó un aumento en la altura de la columna. Los días 6 y 8 de Marzo en sobrevuelos realizados con la colaboración de la Fuerza Aérea Colombiana, se verificó la presencia de ceniza sobre el glaciar, en proximidades del borde del cráter y hacia el flanco Oriental del mismo, estas emisiones de ceniza pueden estar asociadas con algunas señales sísmicas registradas desde el 22 de Febrero de 2012 (Figura 27). En la Figura 28 se pueden observar columnas con alturas sobresalientes, correspondientes al mes de Abril, cuando se alcanzaron columnas de más de 3000 metros de altura. En general, la columna mostró un color blanco durante los primeros meses del año hasta el 29 de Mayo, a partir de esta fecha mostró un color gris asociado con emisiones constantes de gas y ceniza durante un periodo que se prolongó por varios meses. La columna estuvo deflectada la mayor parte del tiempo hacia el Occidente, Suroccidente y Noroccidente del volcán, en concordancia con el régimen de vientos que imperó en la zona a lo largo del año.

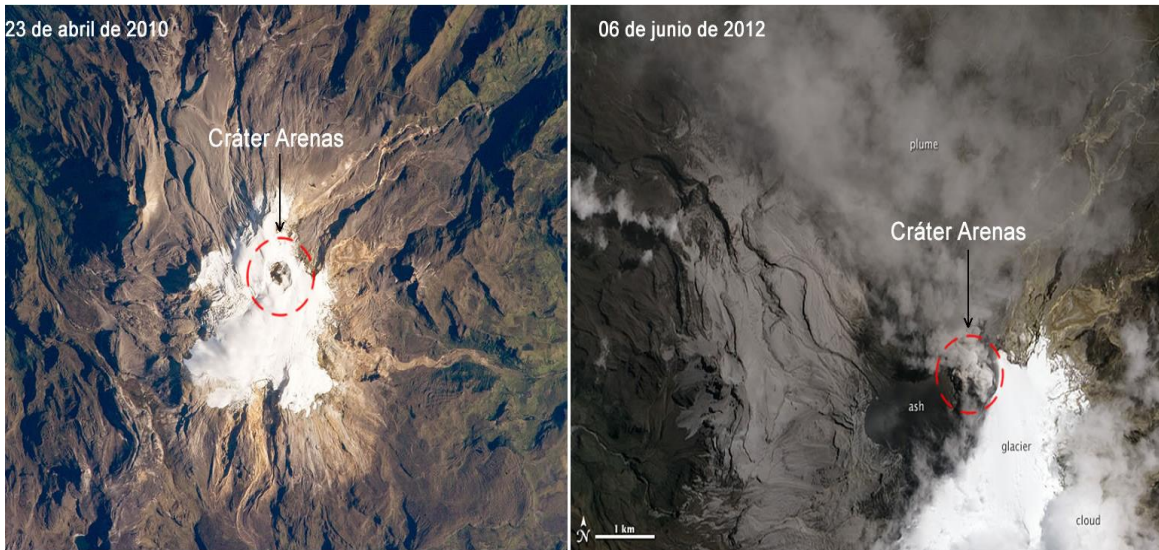


**Figura 27.** Columna de gas en el Volcán Nevado del Ruiz. Esta fotografía fue tomada durante un sobrevuelo el día 8 de marzo. Nótese la capa delgada de ceniza volcánica sobre el glaciar.



**Figura 28.** Columna de gas y vapor en el Volcán Nevado del Ruiz. Fotografías tomadas desde el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales, los días 7 y 23 de Abril de 2012. La columna alcanzó más de 3000 m de altura el día 23 de Abril.

En la Figura 29 se pueden apreciar de manera detallada los cambios superficiales durante el mes de Junio de 2012, con una comparación de imágenes de satélite tomadas por la NASA (adquiridas por el Advanced Land Imager (ALI) a bordo del satélite Earth Observing-1-EO-1), donde se aprecia el casquete glacial del Volcán Nevado del Ruiz completamente limpio en el 2010 y su estado posterior a la emisión de ceniza del 29 de mayo y los días siguientes, con un gran depósito de ceniza en los flancos N, NW, W y SW. Apréciase el gran depósito en el sector SW y la gran dispersión de ceniza hacia el NW llegando hasta la ciudad de Manizales.



**Figura 29.** Comparación de imágenes de satélite tomadas por la NASA.

En la Figura 30 se pueden apreciar algunas fotografías destacadas de la actividad eruptiva ocurrida entre Mayo y Julio de 2012.



**Figura 30.** Columna de gas y ceniza en el Volcán Nevado del Ruiz. La altura máxima alcanzada fue de 8000 m. Estas fotografías fueron tomadas desde las cámaras web que monitorean la actividad superficial del volcán y a partir de sobrevuelos realizados en cooperación con la FAC (Fuerza Aérea Colombiana), Junio de 2012.

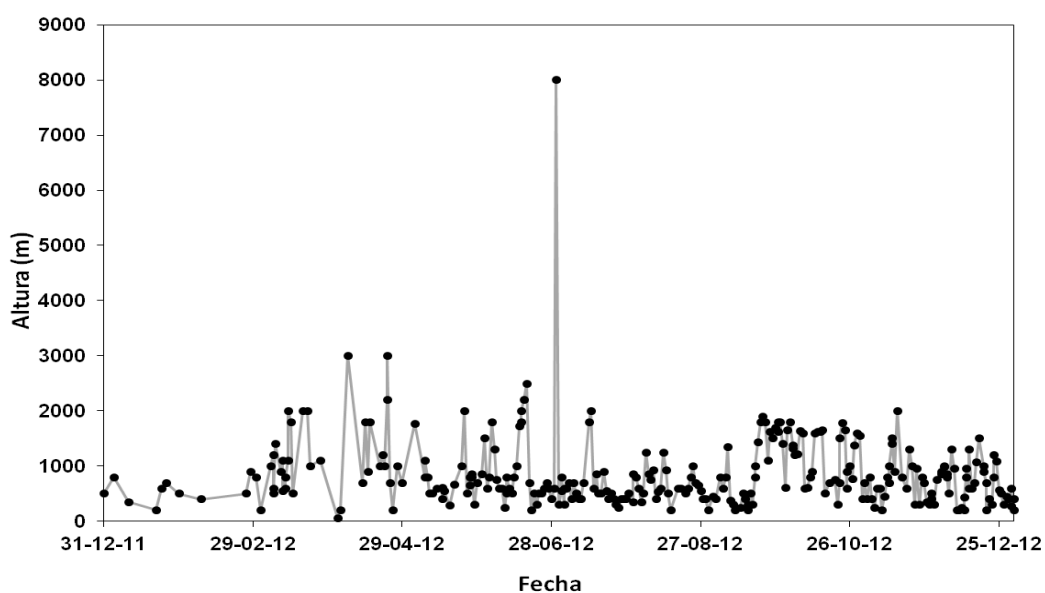


Adicionalmente, se destacan observaciones realizadas los días 14 y 30 de Septiembre, donde se pudo apreciar, mediante las cámaras web de monitoreo permanente ubicadas en el área del volcán, vapores de gases azulosos asociados a emisiones de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) descendiendo por el cañón del Rio Azufrado (Figura 31). Estas emisiones se pudieron observar repetidas veces durante todo el año.



**Figura 31.** Apreciaciones visuales de la mañana del 30 de Septiembre donde se observó gas de color azuloso asociado a emisiones de Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ).

Las imágenes capturadas por las cámaras web instaladas en el área del volcán, y las apreciaciones visuales realizadas desde el observatorio, permitieron observar que la columna de gases y ceniza tuvo una altura promedio de 850 m durante el año 2012 y alcanzó una altura máxima observada de 8000 m sobre la cima del volcán el día 30 de Junio, correspondiente a la pluma asociada con el evento eruptivo ocurrido a las 16:40 (hora local) (Figura 32).



**Figura 32.** Altura de gases y ceniza observada de Enero a Diciembre de 2012 a partir de apreciaciones visuales desde el OVSM y de las cámaras instaladas en el área del volcán.

### 1.3 DEFORMACIÓN

Durante el 2012 operaron correctamente seis estaciones GPS permanentes, enfocadas al monitoreo e investigación de procesos deformativos en el Volcán Nevado del Ruiz, así como siete inclinómetros electrónicos. Durante el 2012, se instalaron dos nuevas estaciones GPS en los flancos Norte y Sur de la estructura volcánica, con el fin de complementar la red de GPS actual. La Figura 33 muestra la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz.

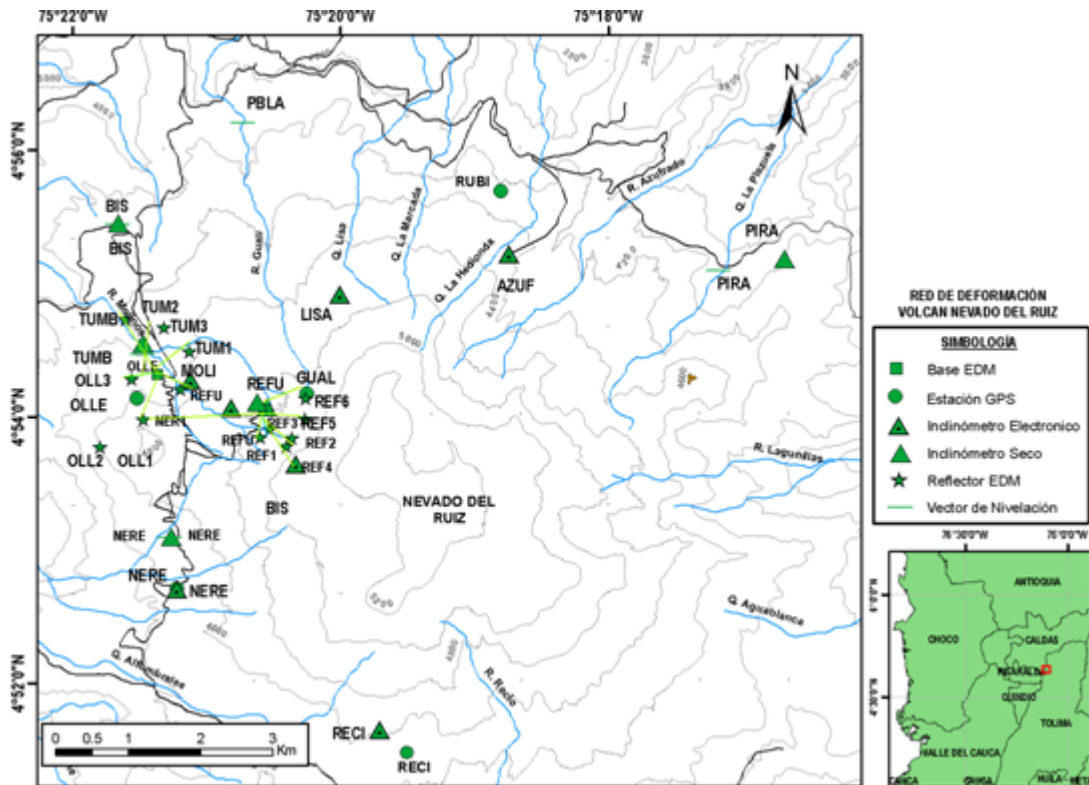


Figura 33. Red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz.

A partir de las estaciones GPS GUAL, NERE, OLLE, RUBI, SINN, y MZAL, se inició un nuevo procesamiento de los datos con los software Trimble 4DControl y GAMIT-GLOBK, mejorando de esta manera el monitoreo e investigación del fenómeno volcánico, encontrando una excelente correlación con los procesos deformativos que ha presentado el volcán durante el 2012 (Figura 34, Figura 35, Figura 36 y Figura 37), para el procesamiento GPSD y a partir del software Gamit Globk (Figura 38a, Figura 38b y Figura 38c).

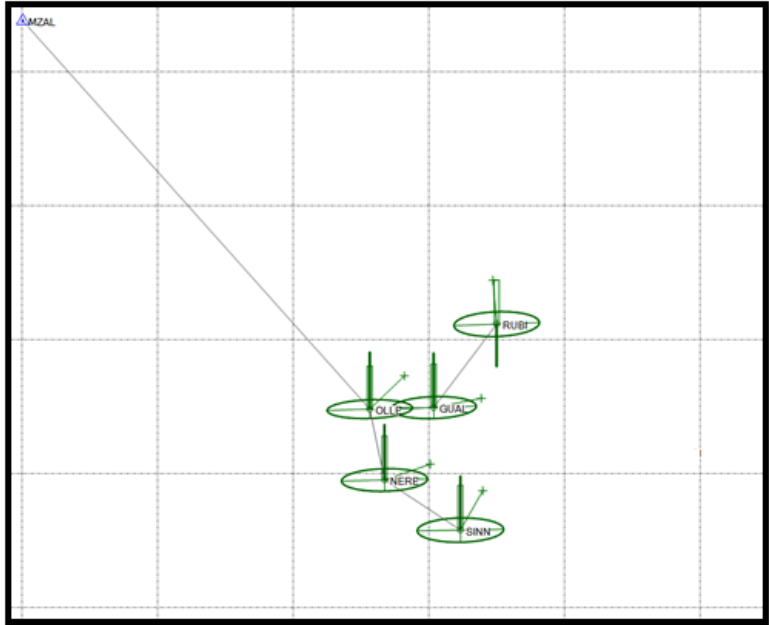


Figura 34. Elipses de error asociadas al post-procesamiento GPSD, Volcán Nevado del Ruiz, 2012.

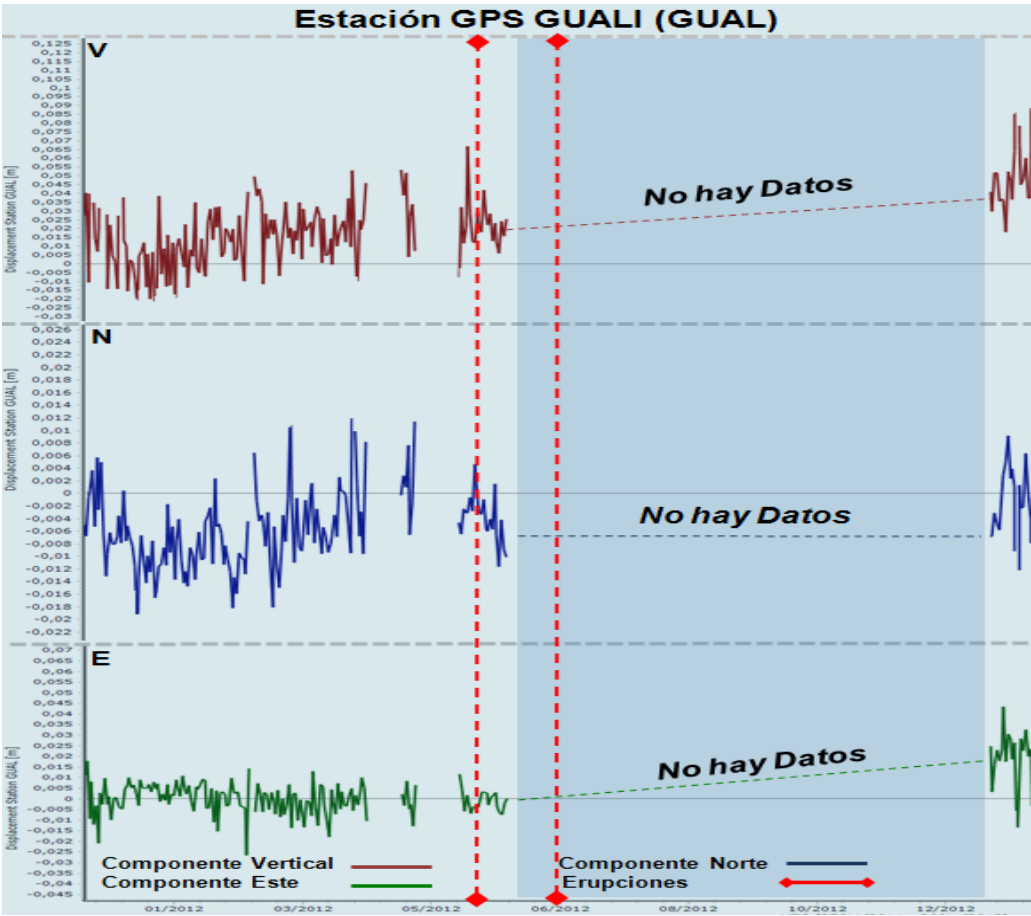


Figura 35. Serie de Tiempo, GPS GUAL a partir de procesamiento diferencial con el software T4DControl, Volcán Nevado del Ruiz, 2012.

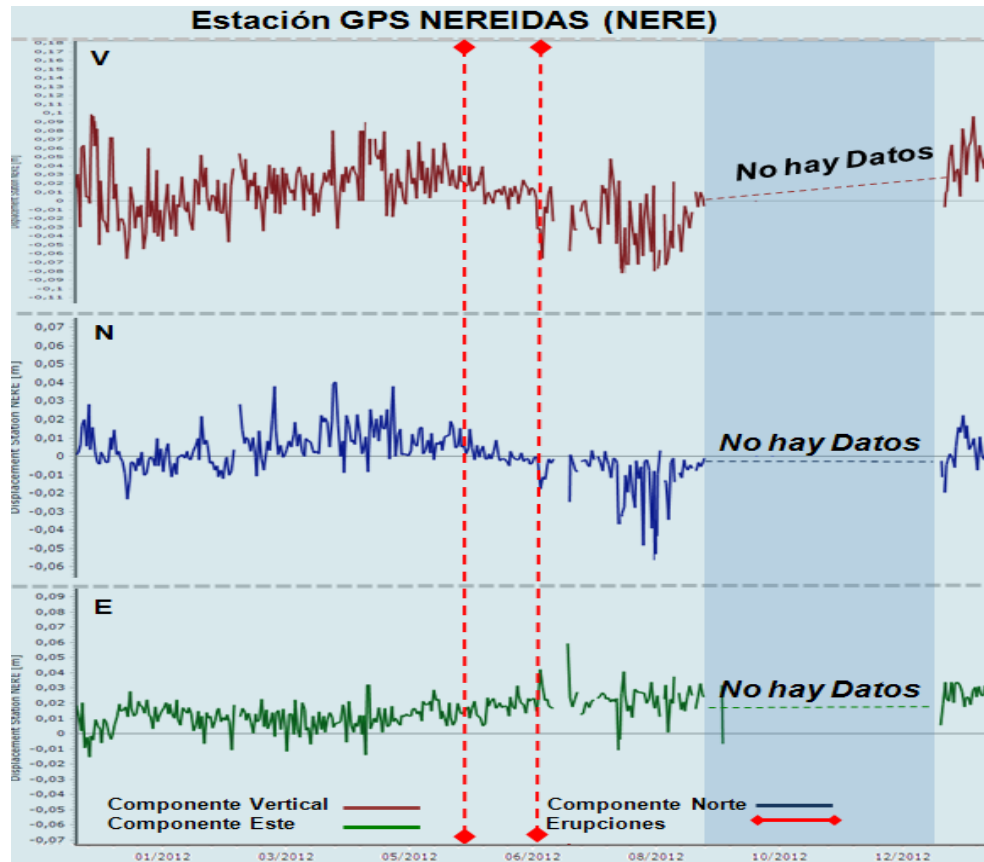


Figura 36. Serie de Tiempo, GPS NERE a partir de procesamiento diferencial con el software T4DControl, Volcán Nevado del Ruiz, 2012.

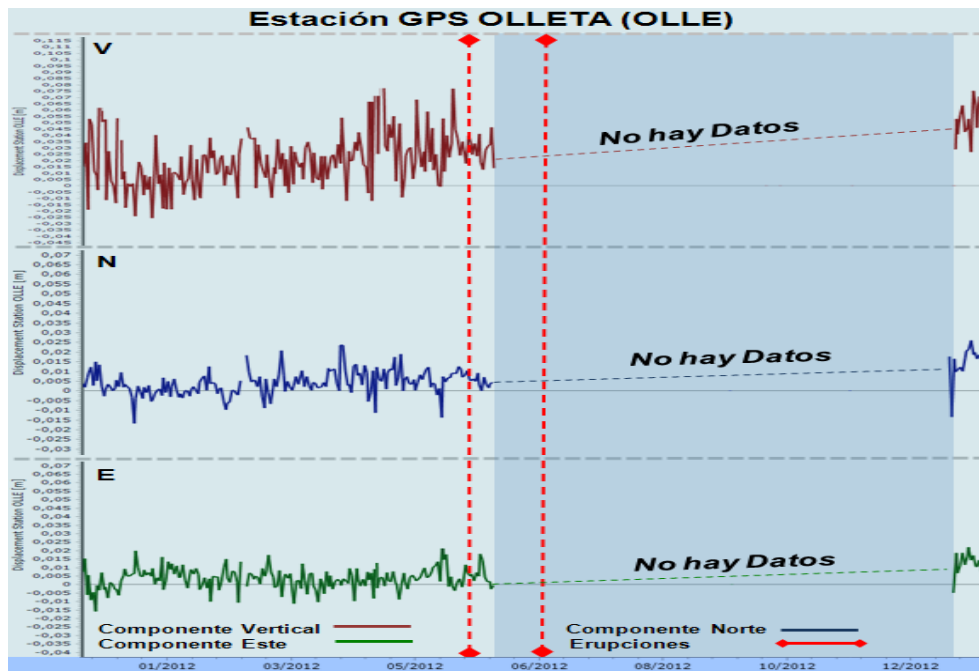
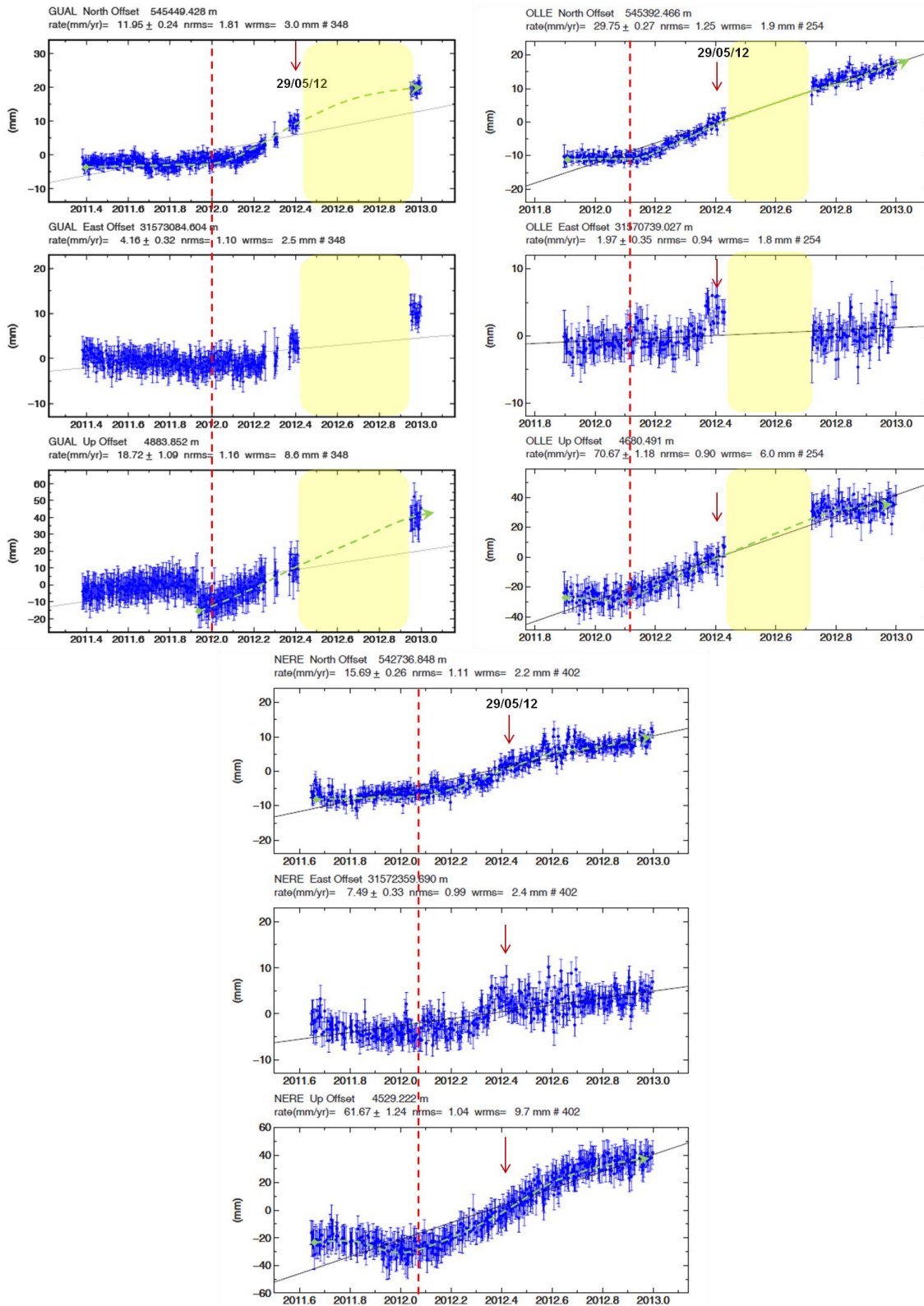


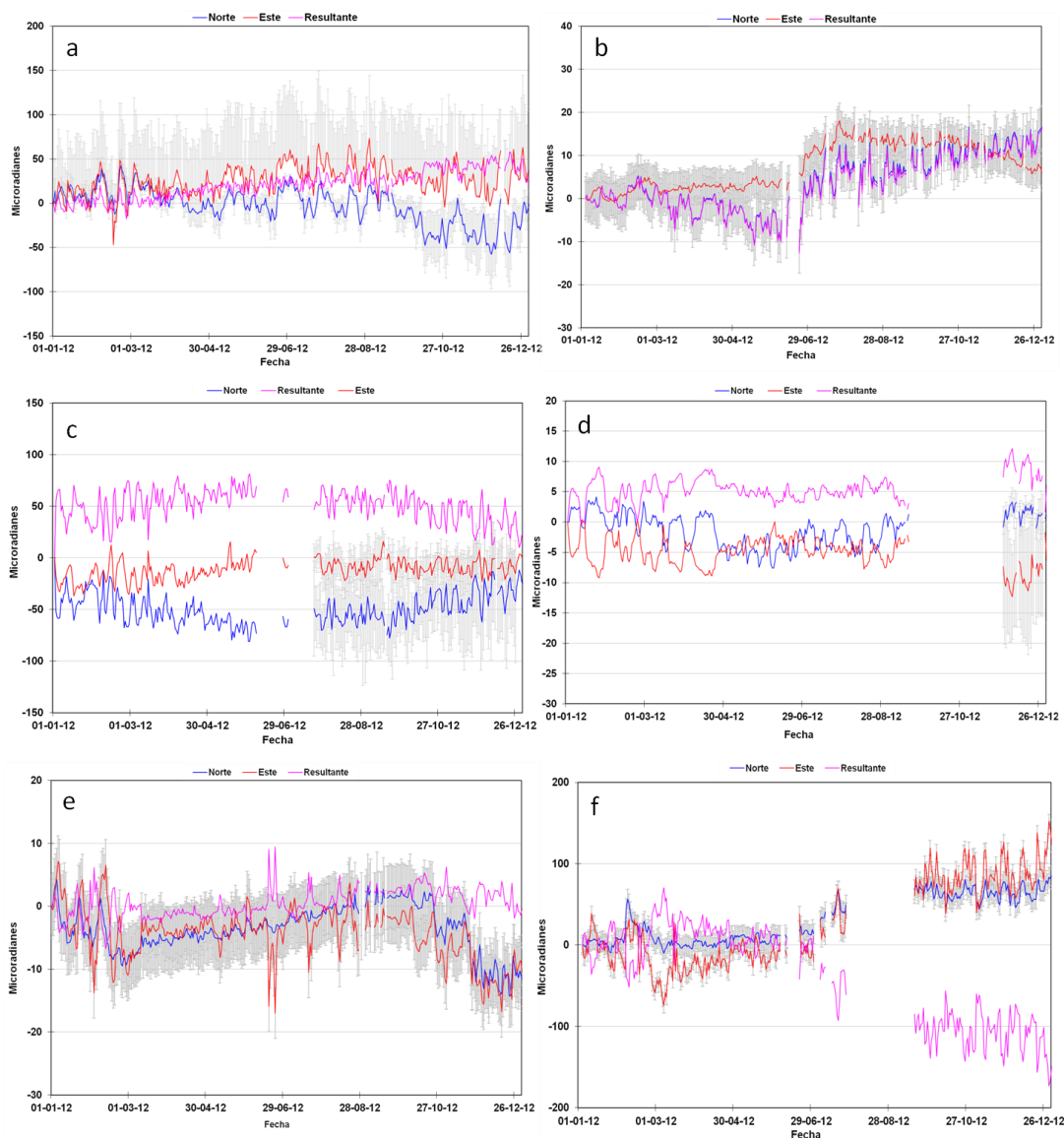
Figura 37. Serie de Tiempo, GPS OLLE a partir de procesamiento diferencial con el software T4DControl, Volcán Nevado del Ruiz, 2012.



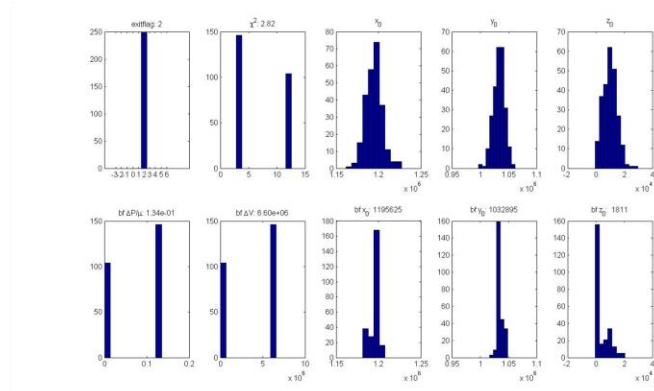
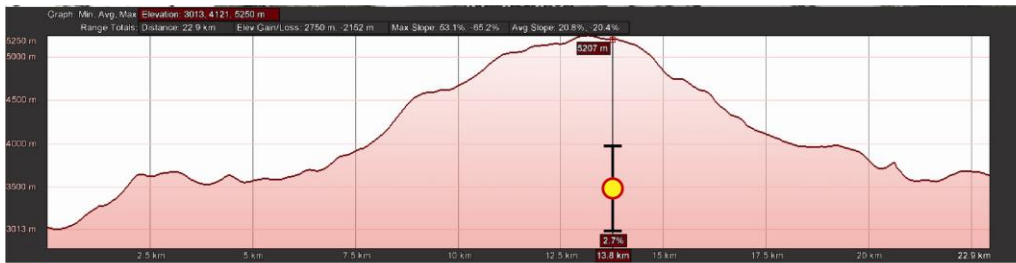
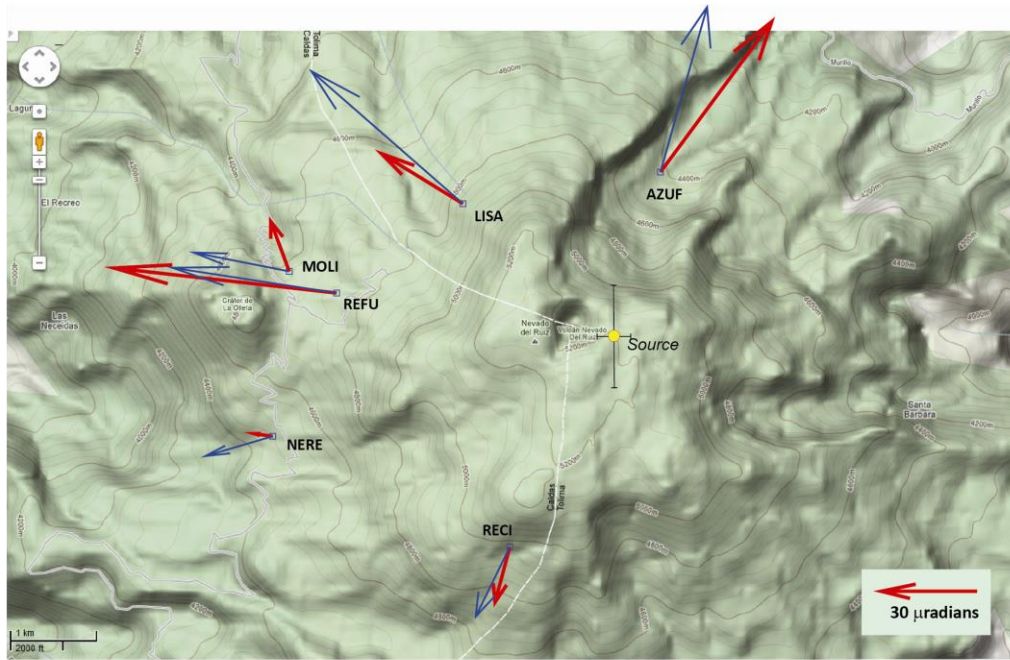
**Figura 38.** Series de Tiempo, GPS a) GUAL, b) OLLE Y c) NERE, a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Nevado del Ruiz, 2012.

La Figura 39 muestra el comportamiento de todos los inclinómetros electrónicos instalados en el Volcán Nevado del Ruiz, en la cual los inclinómetros electrónicos NERE y MOLI han mostrado en general estabilidad en sus dos componentes sin registrar cambios significativos.

Por otra parte, los inclinómetros electrónicos AZUF, LISA, RECI y REFU de la red de monitoreo de la deformación de la superficie volcánica, registraron algunos cambios asociados a un proceso deformativo localizado cerca al cráter Arenas. A partir de dichos cambios de inclinación se determinó la posible fuente de deformación asociada (Figura 40).



**Figura 39.** Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul), Este (E) (Rojo) y Resultante (Magenta) de los inclinómetros electrónicos a) AZUF, b) LISA, c) MOLI, d) NERE, e) RECI, f) REFU de la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz, 2012.



**Figura 40.** Modelamiento de la fuente de deformación a partir de inclinómetros electrónicos. Volcán Nevado del Ruiz, 2012.

Durante el año se ocupó las bases EDM (Medición Electrónica de Distancias) REFUGIO y OLLETA, las cuales vienen registrando un posible proceso deformativo; en correlación con los demás parámetros monitoreados Figura 41 y Figura 42.

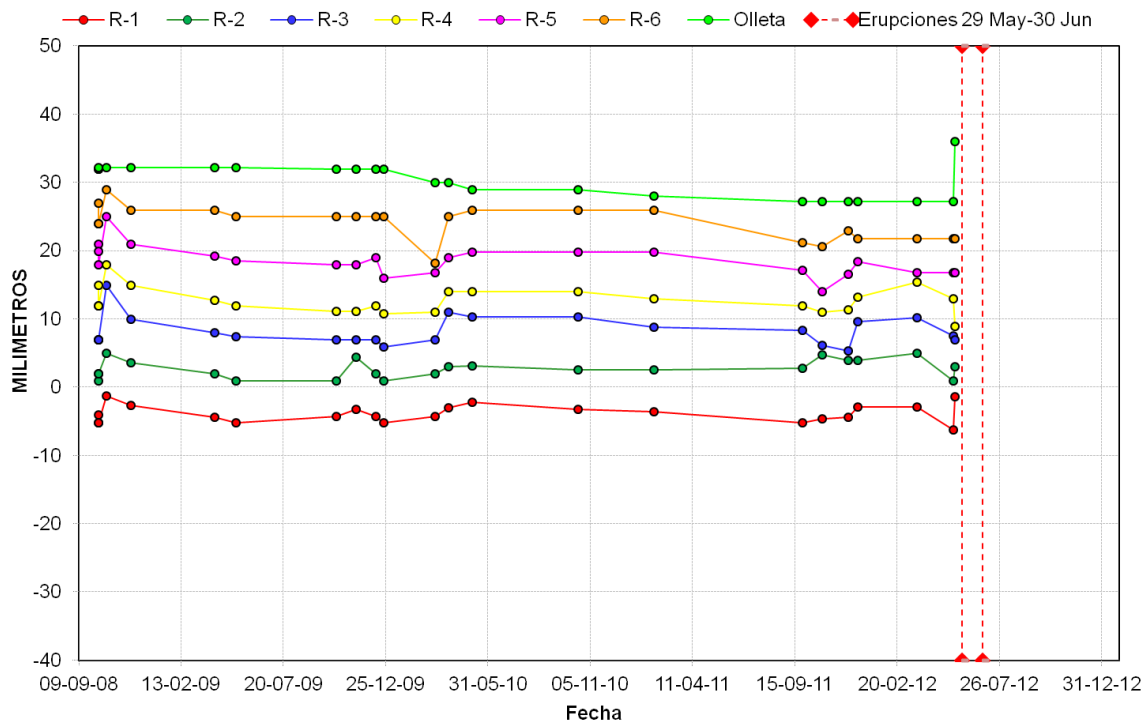


Figura 41. Ocupaciones de la Base EDM REFUGIO, Volcán Nevado del Ruiz, 2012.

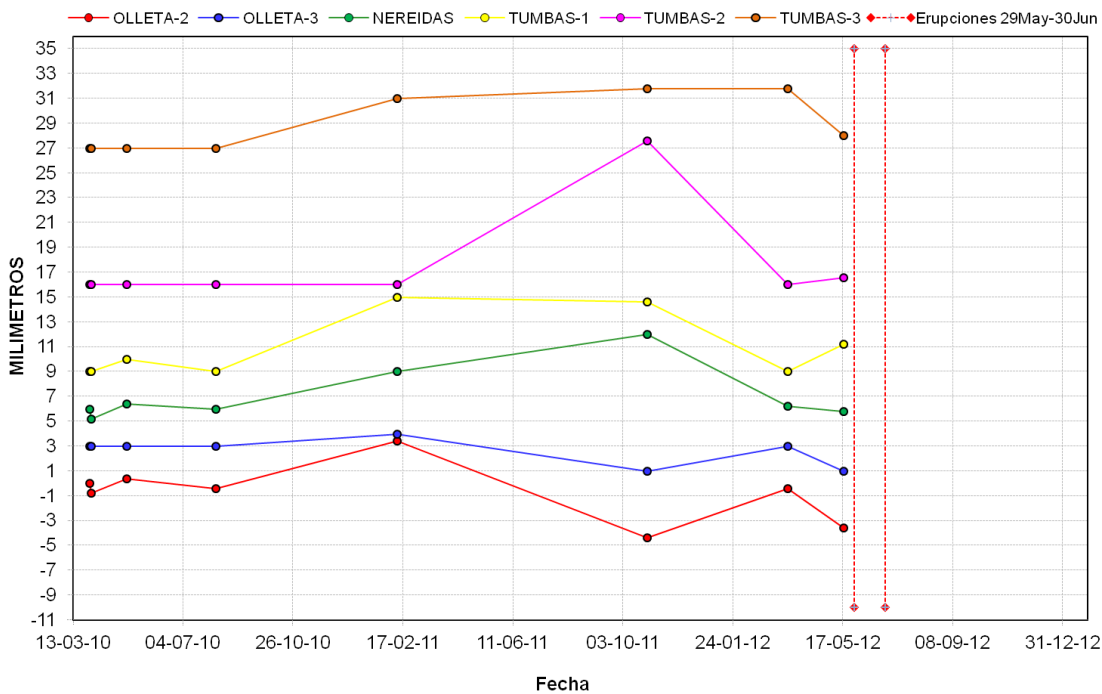


Figura 42. Ocupaciones de la Base EDM OLLETA, Volcán Nevado del Ruiz, 2012.



## 1.4 GEOQUÍMICA

Durante el año 2012 el grupo de Geoquímica del OVSM realizó muestreos, análisis in situ y en el laboratorio de las Fuentes Termales Hotel T y AGUAS CALIENTES, también se realizó monitoreo permanente de las estaciones de Gas Radón al igual que el cálculo y análisis de emisiones de  $SO_2$  tanto de las estaciones telemétricas SCAN DOAS como de las imágenes satelitales generadas por el satélite AURA/OMI. En la Figura 43 se presenta el mapa con las estaciones geoquímicas en el VNR.

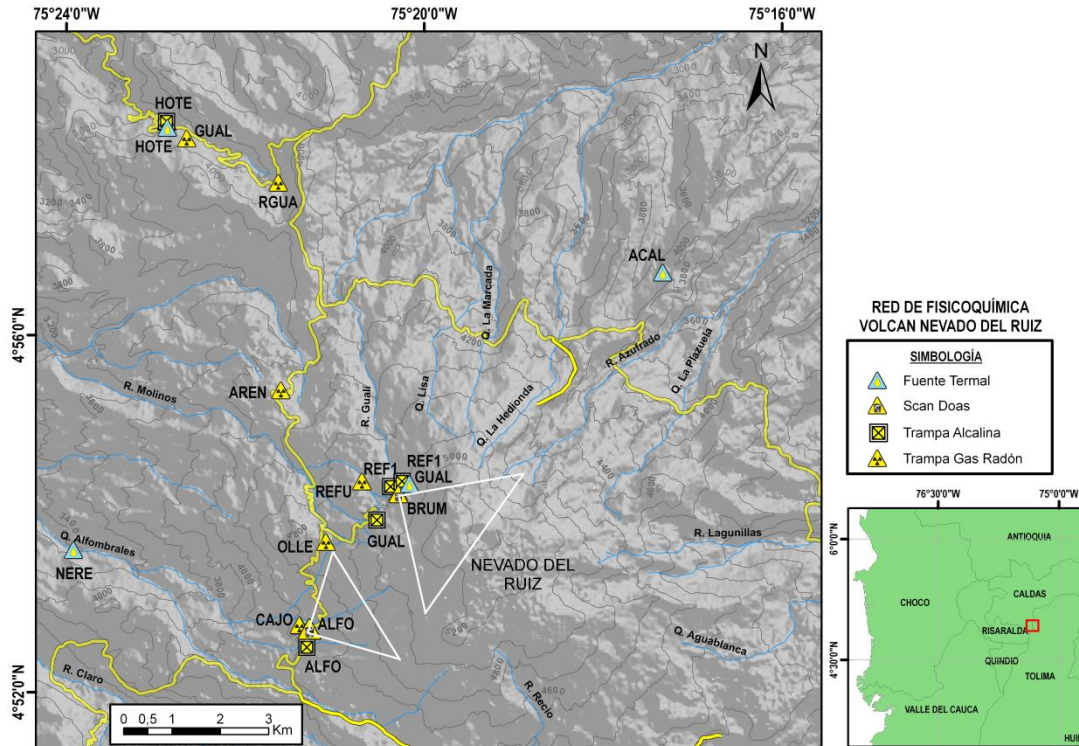
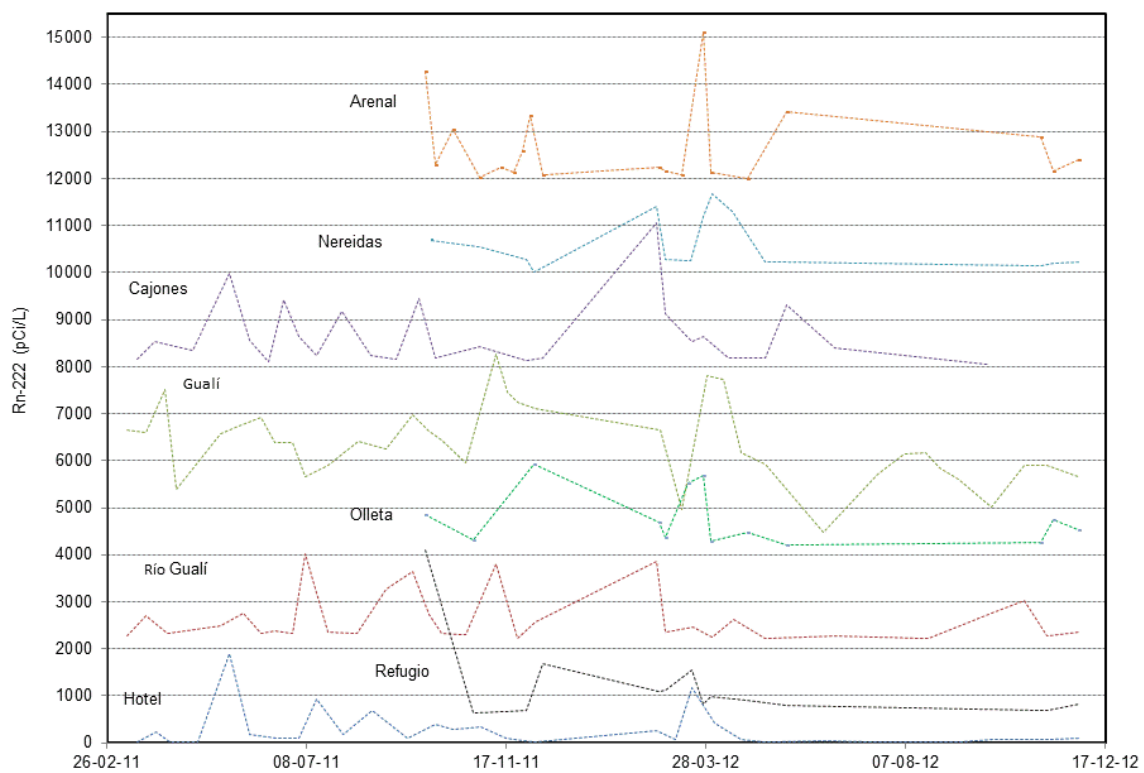


Figura 43. Red Geoquímica del Volcán Nevado del Ruiz en el año 2012.

### 1.4.1 Emisiones de Gas Radón

Durante el año 2012 se monitorearon las estaciones existentes de Gas Radón: GUALÍ, RÍO GUALÍ, OLLETA, ARENAL, REFUGIO, HOTEL T, NEREIDAS Y CAJONES. Los resultados del monitoreo muestran que se presentaron algunas variaciones en la concentración de Radón en suelo (Figura 44). Las mediciones se iniciaron en el mes de Febrero, se encontraron incrementos significativos en las estaciones CAJONES, NEREIDAS, HOTEL Y RÍO GUALÍ, para el mes de abril se aprecian incrementos importantes en las estaciones ARENAL Y NEREIDAS, las demás estaciones registraron estabilidad en sus valores, en el mes de Mayo debido al Nivel Naranja solo se pudo realizar una medida de la concentración de gas radón, apreciándose incrementos importantes en las estaciones ARENAL Y CAJONES, los cambios registrados pueden estar relacionados con la actividad sísmica durante el mes, en el mes de Julio continua el Nivel Naranja de actividad debido a esto solo se pudo realizar una medida de la

concentración de gas radón en cada una de estas estaciones, se aprecian incrementos en la concentración de gas radón en las estaciones GUALÍ Y RÍO GUALÍ, en las estaciones HOTEL T Y CAJONES la concentración de gas radón disminuyó su valor con respecto a su línea base, las estaciones NEREIDAS, REFUGIO, ARENAL Y OLLETA no tienen datos de concentración de gas radón debido a que se encuentran ubicadas en el área de amenaza alta del volcán y en Nivel Naranja no es posible tener acceso hacia estas zonas. Para el mes de Agosto la concentración de gas Radón en las estaciones del Volcán Nevado del Ruíz presentó variaciones en la estación GUALÍ que registró incremento en la concentración, en las estaciones HOTEL T Y RÍO GUALÍ la concentración de gas radón se mantuvo estable, en el mes de Septiembre las estaciones registraron estabilidad en sus valores. Los incrementos presentados en la concentración de gas radón pueden estar relacionados con la sismicidad volcano-tectónica registrada en el VNR durante el año 2012.



**Figura 44.** Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones ARENAL, NEREIDAS, CAJONES, GUALÍ, OLLETA, RÍO GUALÍ, REFUGIO Y HOTEL Volcán Nevado del Ruiz. 2012.

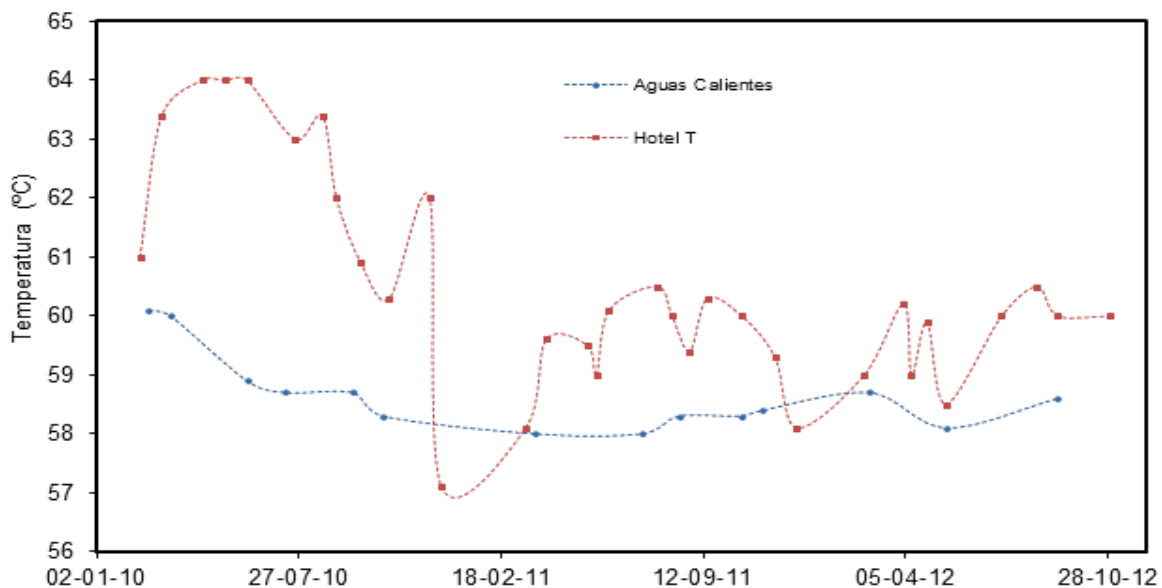
En los primeros días del mes de Diciembre se realizó la instalación de 3 estaciones Telemétricas para la medida de Gas Radón usando los equipos Radón Mobile Head, los cuales son puestos a una profundidad de 1,5 metros y envían impulsos a una tarjeta de adquisición, luego éstos impulsos son convertidos a valores de concentración de radón en pCi/L. Las estaciones instaladas se presentan en la Tabla 1.

Estación	Latitud	Longitud	Altura msnm
Azufrado (VNR)	4º 55' 46.7" N	75º 17' 36.3" W	4053
Guali (VNR)	4º 56' 19.44" N	75º 20' 36.62" W	4073
Alfombrales (VNR)	4º 52' 34.14" N	75º 21' 12.52" W	4485

**Tabla 1.** Estaciones Telemétricas de Gas Radón instaladas en el Volcán Nevado del Ruiz. Diciembre de 2012.

### 1.4.2 Fuentes Termales (FT)

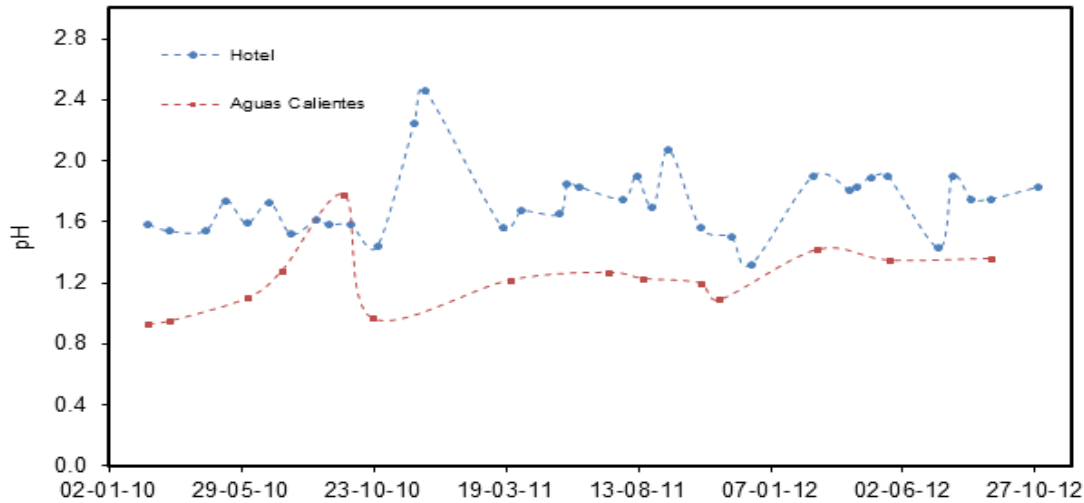
En el año 2012 se realizó monitoreo periódico en dos fuentes termales, HOTEL T Y AGUAS CALIENTES. Los valores en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales durante todo el año presentaron algunos cambios. En la Figura 45 se aprecia el comportamiento de la temperatura en el tiempo para las dos FT, allí se aprecia que en el mes de Marzo no se registró variaciones importantes en las medidas tomadas, la temperatura de la fuente termal HOTEL T presentó un pequeño incremento en el mes de Julio pasando de registrar 58,5 °C en el mes de Mayo a 60 °C en la medida tomada el día 12 de Julio, en el mes de Septiembre se reanudo el monitoreo de la fuente termal AGUAS CALIENTES que desde el mes de Mayo no se había monitoreado debido al Nivel Naranja de Actividad del VNR, no obstante sus valores en temperatura no evidenciaron cambios significativos.



**Figura 45.** Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: HOTEL Y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. 2012.

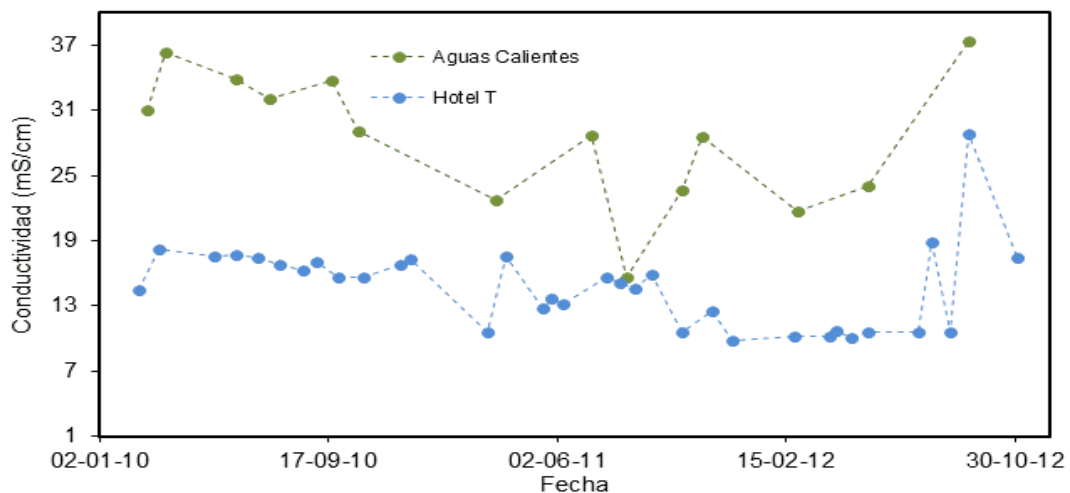
En lo referente al pH, en la Figura 46 se aprecia el comportamiento de dicho valor en el tiempo, en el mes de Febrero se incrementó para las dos FT, en HOTEL se registró un valor de 1,90 y para la FT AGUAS CALIENTES el valor fue de 1,42, las mediciones

realizadas en el mes de Abril se mantuvieron constantes sin presentar variaciones considerables, en la fuente termal HOTEL T para el mes de Julio se evidencio una disminución en su valor registrando un valor de 1.43 teniendo en cuenta que el valor promedio para el mes anterior era de 1.9.



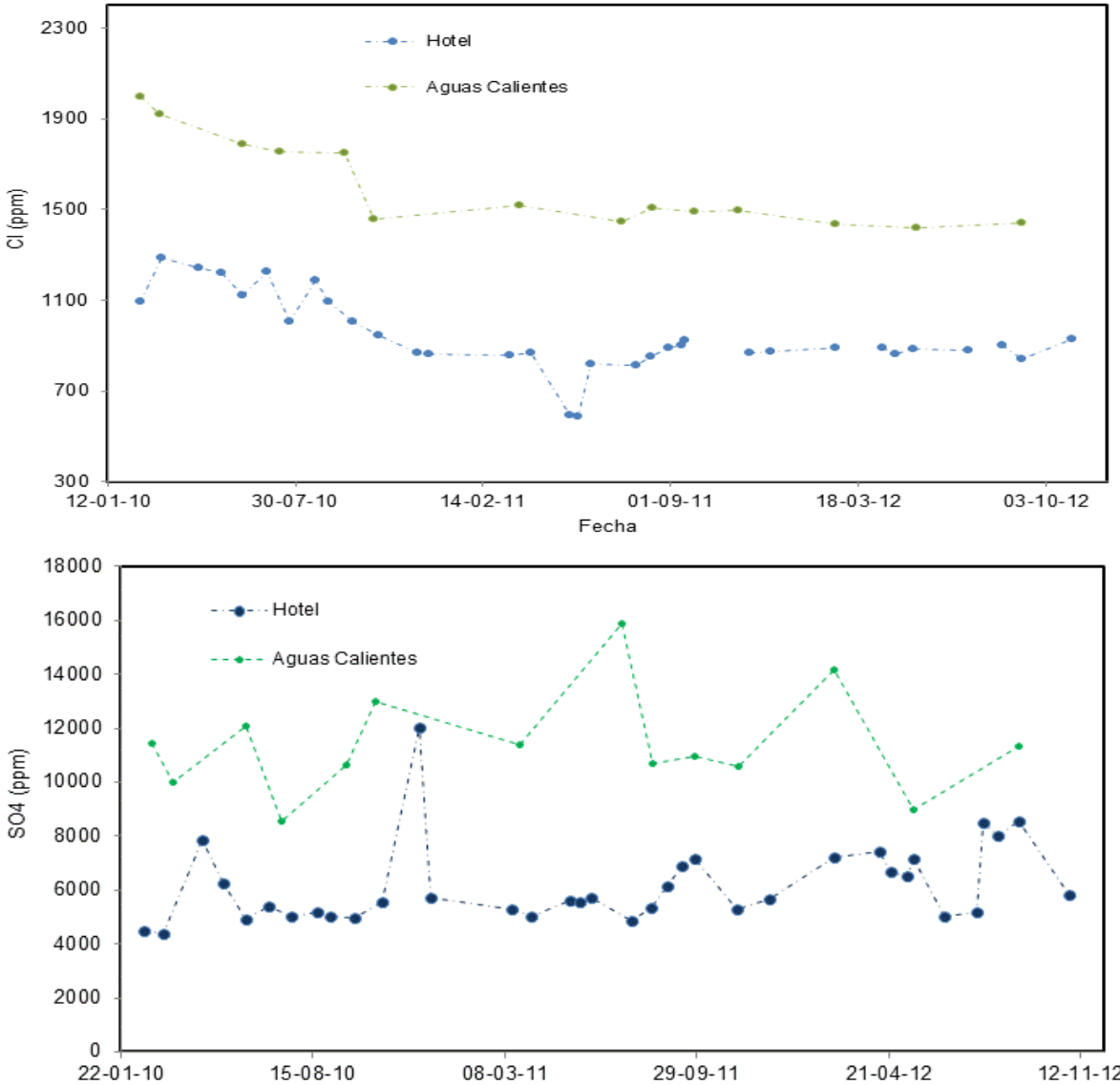
**Figura 46.** Variación del pH en Fuentes Termales HOTEL T Y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. 2012.

La conductividad eléctrica de las fuentes termales monitoreadas durante los primeros meses del año 2012 ha venido presentando variaciones importantes, este parámetro mantuvo un valor promedio en 10 mS/cm en la fuente termal Hotel T, para el mes de Septiembre éste parámetro presentó variaciones importantes, se presentó un incremento, alcanzando los valores más altos desde el 2009, la fuente termal Hotel registró un valor de 28,8 mS/cm y Aguas Calientes de 37,4 mS/cm, estas variaciones pueden estar relacionadas con los procesos de recarga que se lleven a cabo en los focos termales así como el bajo nivel de precipitaciones que se ha registrado durante los meses de Abril a Septiembre. (Figura 47).



**Figura 47.** Variación de la conductividad eléctrica en Fuentes Termales HOTEL T Y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. 2012.

Respecto al contenido de aniones mayoritarios (Figura 48), en el mes de Febrero no se presentaron variaciones en el contenido de Cloruros, mientras que la concentración de Sulfatos presentó incrementos para las dos FT, siendo más fuerte el incremento en AGUAS CALIENTES, en donde el valor medido para este mes fue de 14143 ppm, en el mes de Mayo se presentaron variaciones en el contenido de sulfatos para las dos fuentes termales, los valores disminuyeron respecto de las medidas de meses anteriores, mientras que la concentración de Cloruros no presentó variaciones, en el mes de Agosto se registró disminución en el contenido de Cloruros y aumento en el contenido de Sulfatos.



**Figura 48.** Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales HOTEL Y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2012.

### 1.4.3 Flujo de SO<sub>2</sub>. Estaciones SCAN DOAS, Mobile DOAS Y AURA/OMI

Durante el año 2012 se contó con el funcionamiento de las estaciones SCAN DOAS en los sectores de BRUMA, ALFOMBRALES Y AZUFRAO, en la Figura 49 se aprecia el mapa con la ubicación de las estaciones SCAN DOAS que se tienen en el VNR.

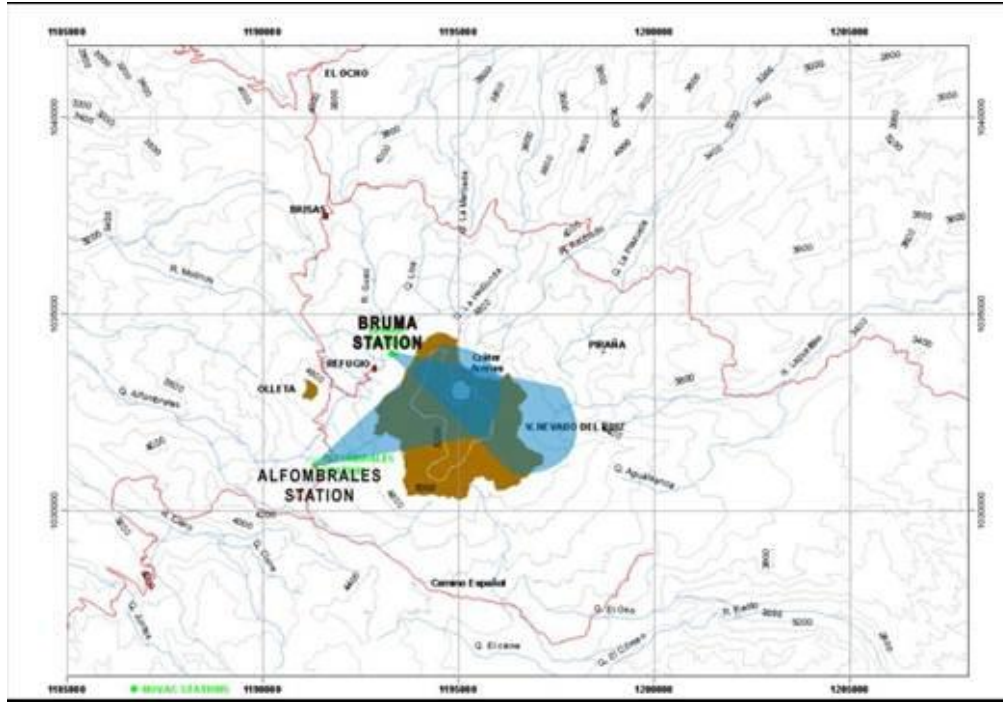
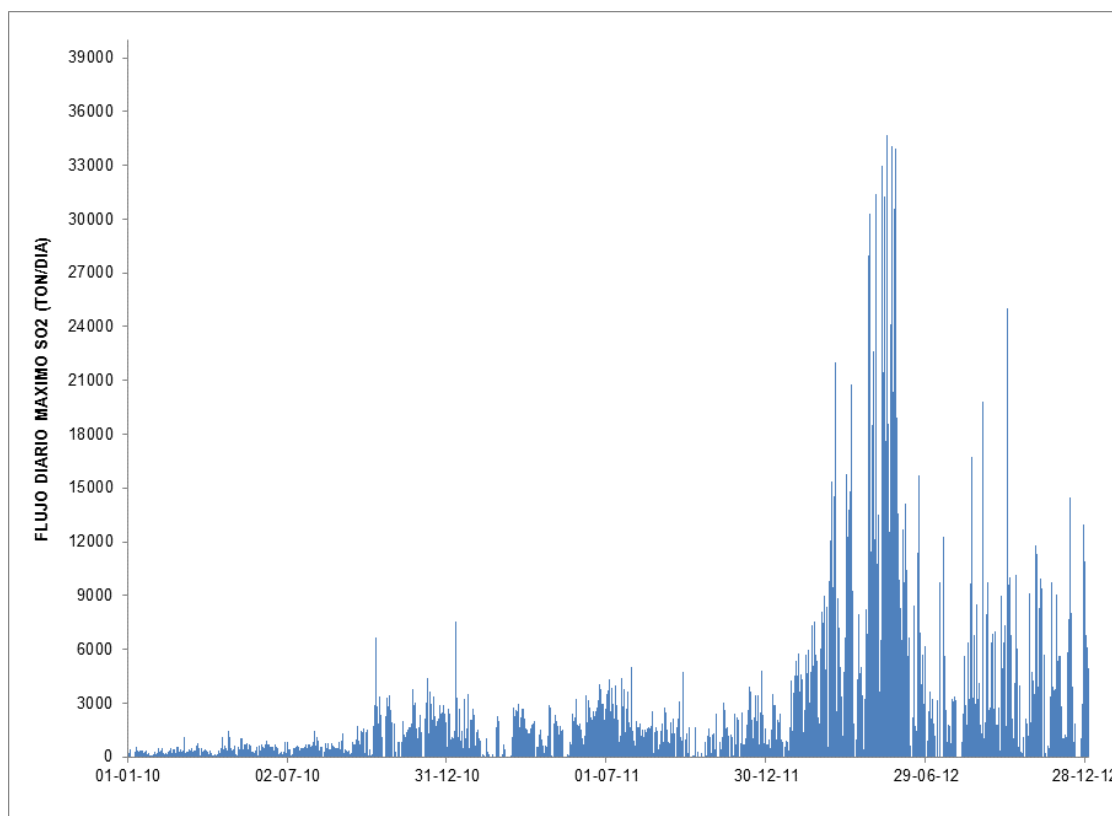


Figura 49. Mapa de Ubicación de las Estaciones SCAN DOAS. Volcán Nevado del Ruiz, 2012.

Durante el mes de Febrero los valores de flujo de SO<sub>2</sub> presentaron incrementos importantes. El máximo valor registrado en el mes fue de 7556 Ton/día. Éste fue calculado el día 22 de Febrero en la estación BRUMA, el máximo registrado en la estación ALFOMBRALES fue de 5977 Ton/día el día 15, este incremento en la descarga de SO<sub>2</sub> está relacionado con el incremento en la actividad sísmica que presentó el VNR durante el mes de Febrero y el flujo se asocia al incremento en el movimiento de fluidos (gases) al interior del edificio volcánico. Los cálculos de flujo se realizaron teniendo en cuenta las condiciones de viento (dirección y velocidad) que genera el IDEAM mediante el Modelo WRF 00Z a 20 Km de resolución y a una altura estimada de pluma de 1000 m para BRUMA y de 1300 m para ALFOMBRALES. Para el mes de Marzo se continua registrando incremento importante en los valores de flujo de SO<sub>2</sub>, el máximo valor registrado en el mes fue de 21900 Ton/día éste fue calculado el día 17 de Marzo en la estación BRUMA. Durante el mes de Abril se registraron incrementos importantes en los valores de flujo de SO<sub>2</sub>, para los días 4, 5, 22, 24, 25, 26 y 29 de Abril de 2012 los niveles de flujo de SO<sub>2</sub> del Volcán Nevado del Ruiz registrados por las estaciones SCAN\_DOAS BRUMA Y ALFOMBRALES fueron los más altos registrados desde el 2010, se destaca el flujo máximo registrado el día 26 de Abril de 2012 que alcanzó un valor de 30285 Ton/día, este flujo fue registrado por la estación BRUMA y ocurrió a las 08:58:37 de la mañana hora local, cabe anotar que este ha sido el máximo valor de flujo registrado desde la instalación de las estaciones SCAN\_DOAS, el promedio de SO<sub>2</sub> en ese día fue de 9497 Ton/día. Para el mes de Mayo los flujos calculados la gran mayoría del mes superaron las 17000 Ton/día, se destacan los flujos registrados los días 12, 15 y 21 de Mayo de 2012

que superaron las 30000 Ton/día. Las estaciones BRUMA Y AZUFRADO debido a la caída de ceniza dejaron de funcionar el día 4 y 17 de Junio respectivamente, a pesar que no se contó con todos los datos de los escaneos se destacan los flujos registrados los días 2,5,6,19 y 20 de Junio de 2012 que superaron las 10000 Ton/día. Durante el mes de Agosto se contó con el funcionamiento de la estación SCAN DOAS ALFOMBRALES, se destacan incrementos importantes en los valores de flujo de SO<sub>2</sub> los días 1, 11, 12, 17, 21, 26, y 27 de Agosto de 2012 que superaron las 3000 Ton/día, los días 16 y 22 de Agosto el flujo de SO<sub>2</sub> superó las 6000 Ton/día y el día 20 de Agosto se registró un flujo superior a las 16000 Ton/día. Entre los días 1 al 23 de Septiembre la Estación ALFOMBRALES registró un flujo máximo de SO<sub>2</sub> de 19000 Ton/día y un flujo promedio diario de 1620 Ton/día, las estaciones BRUMA Y AZUFRADO se restablecieron, entre los días 24 y 30 de Septiembre el flujo de SO<sub>2</sub> máximo que se calculó fue de 25000 Ton/día. En el mes de Octubre los flujos de SO<sub>2</sub> se mantuvieron en niveles medio altos, especialmente los primeros días del mes, se alcanzó un flujo máximo de 10175 Ton/día el día 2 de Octubre, se alcanzó un flujo máximo de 11943 Ton/día el día 8 de Noviembre, en el mes de Diciembre Los flujos de SO<sub>2</sub> se mantuvieron en niveles medio altos, en la Figura 50 se presenta la variación del flujo de SO<sub>2</sub> con el tiempo.



**Figura 50.** Flujo Diario Máximo de SO<sub>2</sub>. Volcán Nevado del Ruiz, 2012.

Los días 20,21, 22, 26 y 30 de Junio se realizaron medidas de las descargas de SO<sub>2</sub> con equipos móviles, se utilizaron dos equipos: Móvil DOAS y FlySpec. En la Figura 51 y Figura 52 se presentan las rutas que se tomaron y los resultados obtenidos para cada una de las medidas con el equipo MovilDOAS. Las medidas tomadas en la ruta Manizales-Armenia, mostraron que los flujos de SO<sub>2</sub> se mantienen en niveles altos, mayores a las 4000 Ton/día.

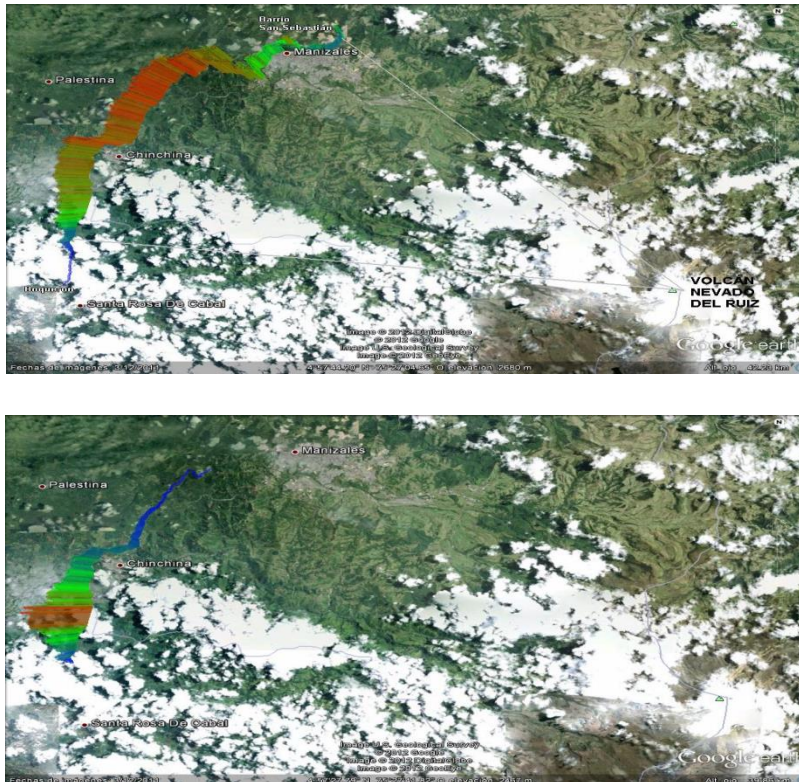


Figura 51. Ruta de medida de las descargas de SO<sub>2</sub> para los días 20, 21 y 22 de Junio de 2012. Volcán Nevado del Ruiz.

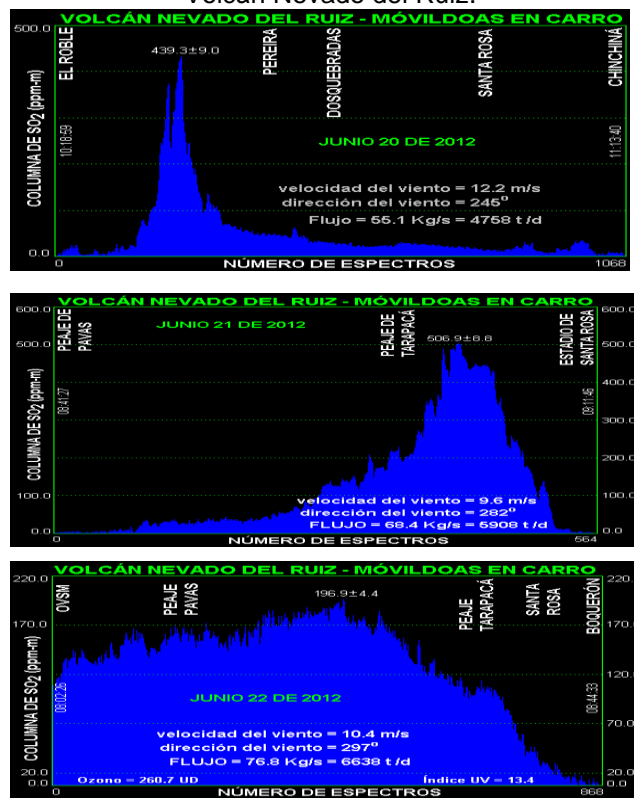


Figura 52. Flujo calculado para las descargas de SO<sub>2</sub>, medidas con Equipo MóvilDOAS. Volcán Nevado del Ruiz.



El día 31 de Octubre se realizó medición de  $\text{SO}_2$  con equipo Móvil DOAS. La ruta seleccionada para realizar la medición fue desde la ciudad de Manizales hacia el Parque Nacional Natural Los Nevados, sectores Refugio y Cajones, en este trayecto se registró un flujo máximo de 8860 Ton/día y se alcanzó la máxima concentración en el sector de Tumbas (Figura 53).

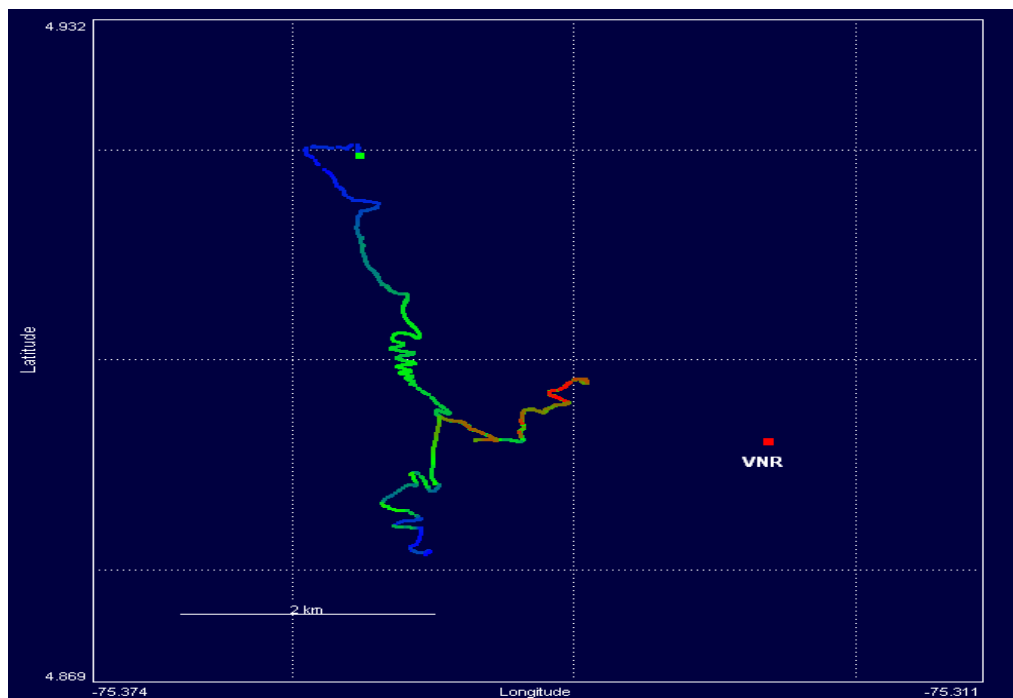


Figura 53. Ruta de medición flujo de  $\text{SO}_2$ .

Las descargas de  $\text{SO}_2$  originadas en el Volcán Nevado del Ruiz también se observaron en imágenes satelitales durante el año 2012, en la Figura 54 se aprecian algunas imágenes OMI (Ozone Monitoring Instrument), que también evidenciaron la constante desgasificación del VNR, en las imágenes se aprecia la descarga de  $\text{SO}_2$  y la dispersión de la misma de acuerdo al régimen de vientos dominante durante el mes.

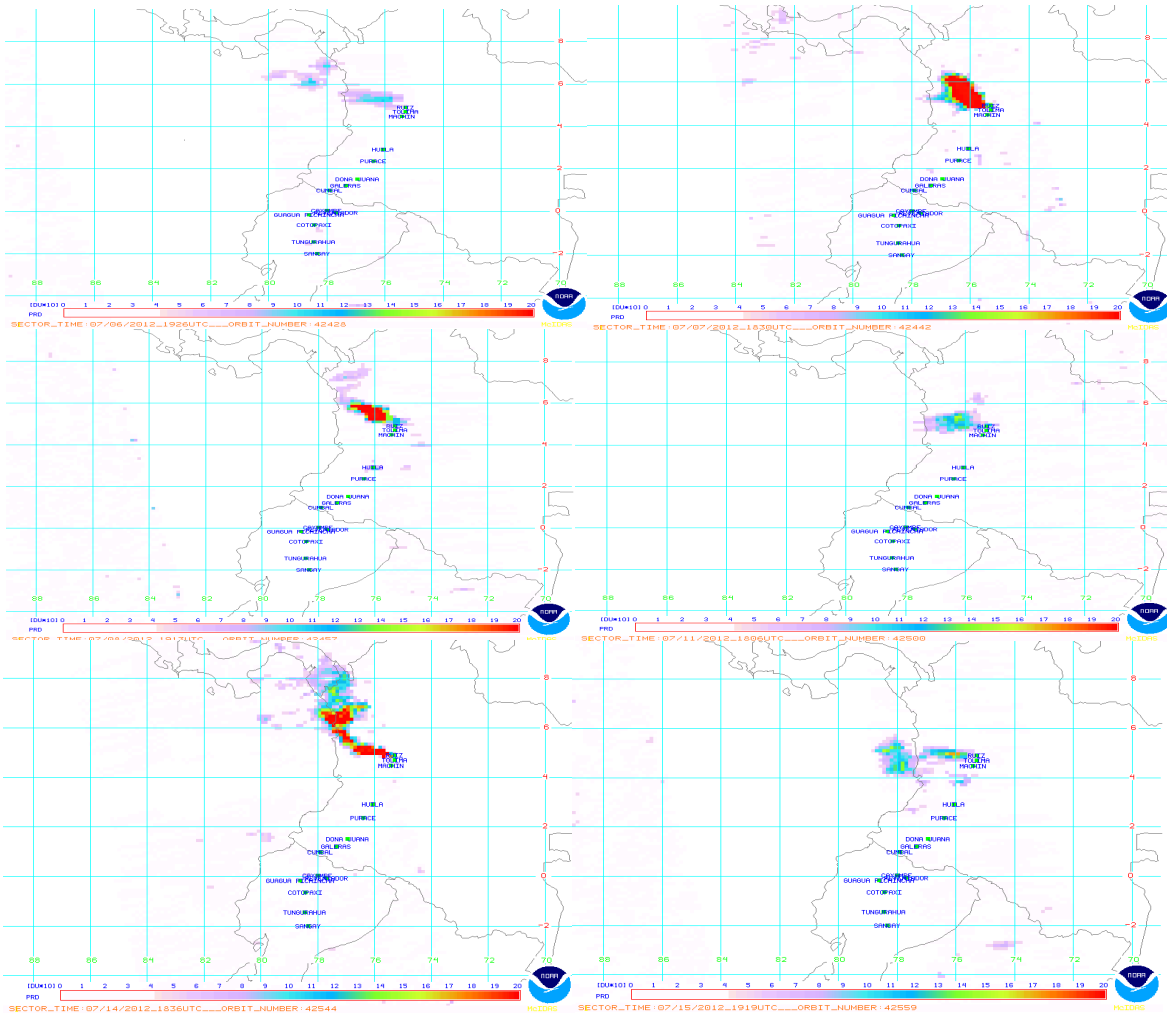


Figura 54. Imágenes OMI para la descarga de SO<sub>2</sub>. Volcán Nevado del Ruiz. 2012.

## 2. VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT)

### 2.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia telemétrica del OVSM, durante el año 2012 fue de **73.1%**.

Durante el año se realizó una visita las estaciones de NIDO DE AGUILA y ESMERALDA Figura 55, sin embargo a los repetidores de estas, CISNE y OLLETA fue necesario realizar diferentes visitas con el fin de mejorar la calidad de los enlaces.

Las visitas a las estaciones dieron lugar a la toma de datos con el fin de verificar la respuesta instrumental.



**Figura 55.** Estación Banda Ancha Esmeralda.

## **2.2 SISMOLOGÍA**

El Volcán Nevado del Tolima durante el año 2012 mantuvo un nivel bajo de actividad. La red de monitoreo (Figura 56) registró un total de 123 sismos de baja energía. Se clasificaron 70 eventos sísmicos asociados al fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico y 53 sismos relacionados con la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos (Figura 57). El sismo de mayor magnitud registrado en el año corresponde al evento de fractura ocurrido el 18 de Abril de 2012 a las 11:52 (hora local), el cual alcanzó una magnitud local de 1.2  $M_L$  y estuvo localizado a 0.9 km al noreste del cráter, a una profundidad de 2.68 km; este evento representa el máximo de energía liberada en todo el año (Figura 58). Durante el año 2012, no se presentaron enjambres, y el máximo de sismos registrados por día fue de 18, el 17 de Septiembre de 2012, estos eventos fueron en general de muy baja energía.

La actividad sísmica en el VNT, se distribuyó alrededor del cráter, principalmente hacia el flanco norte del volcán, a profundidades entre 0.5 y 8 km, con una mayor concentración entre 2 y 4 km (Figura 59).

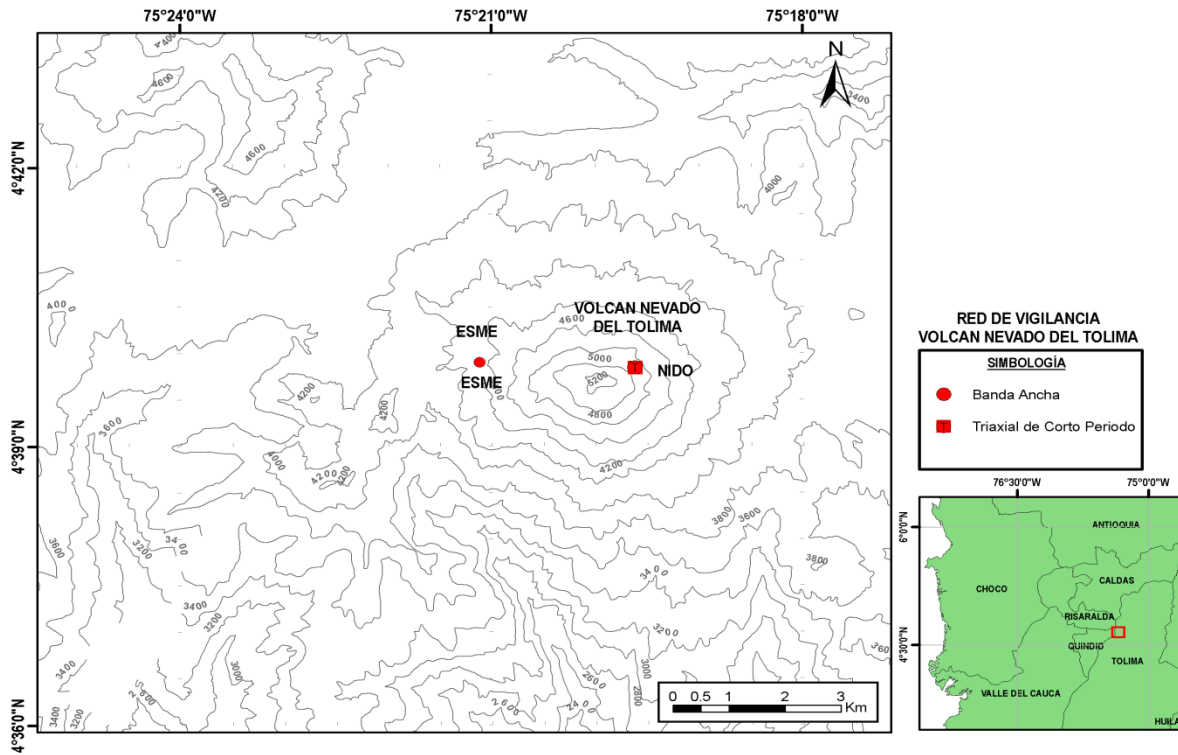


Figura 56. Red de vigilancia sísmica, Volcán Nevado del Tolima.

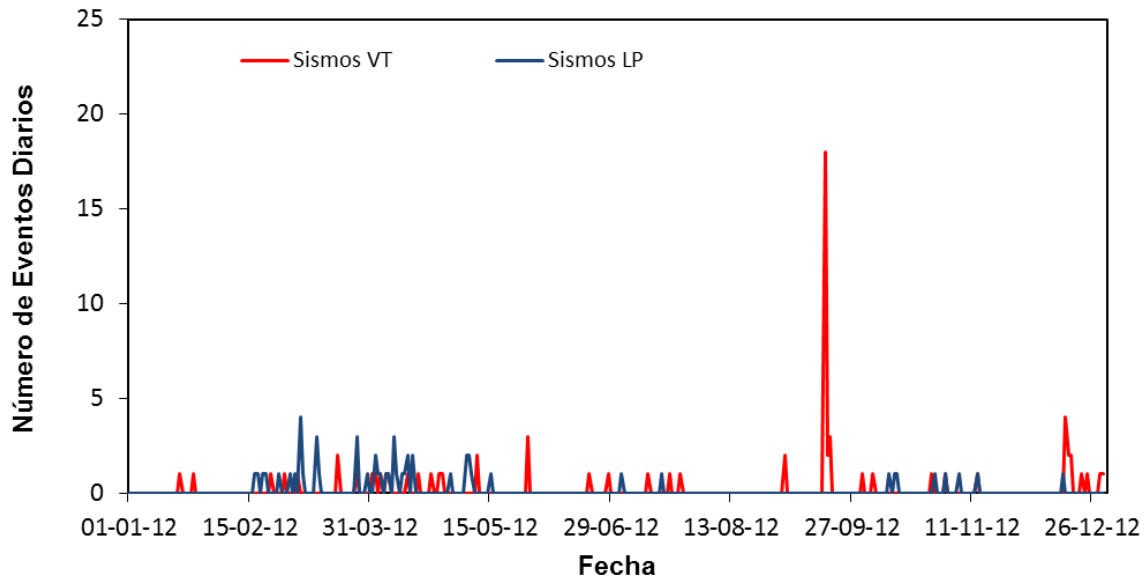
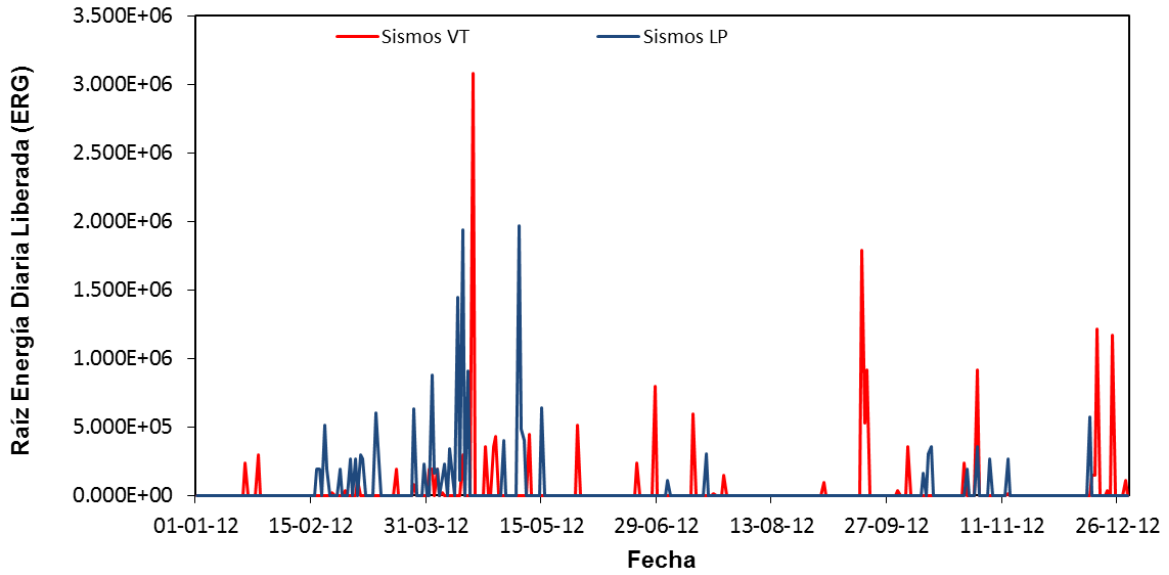
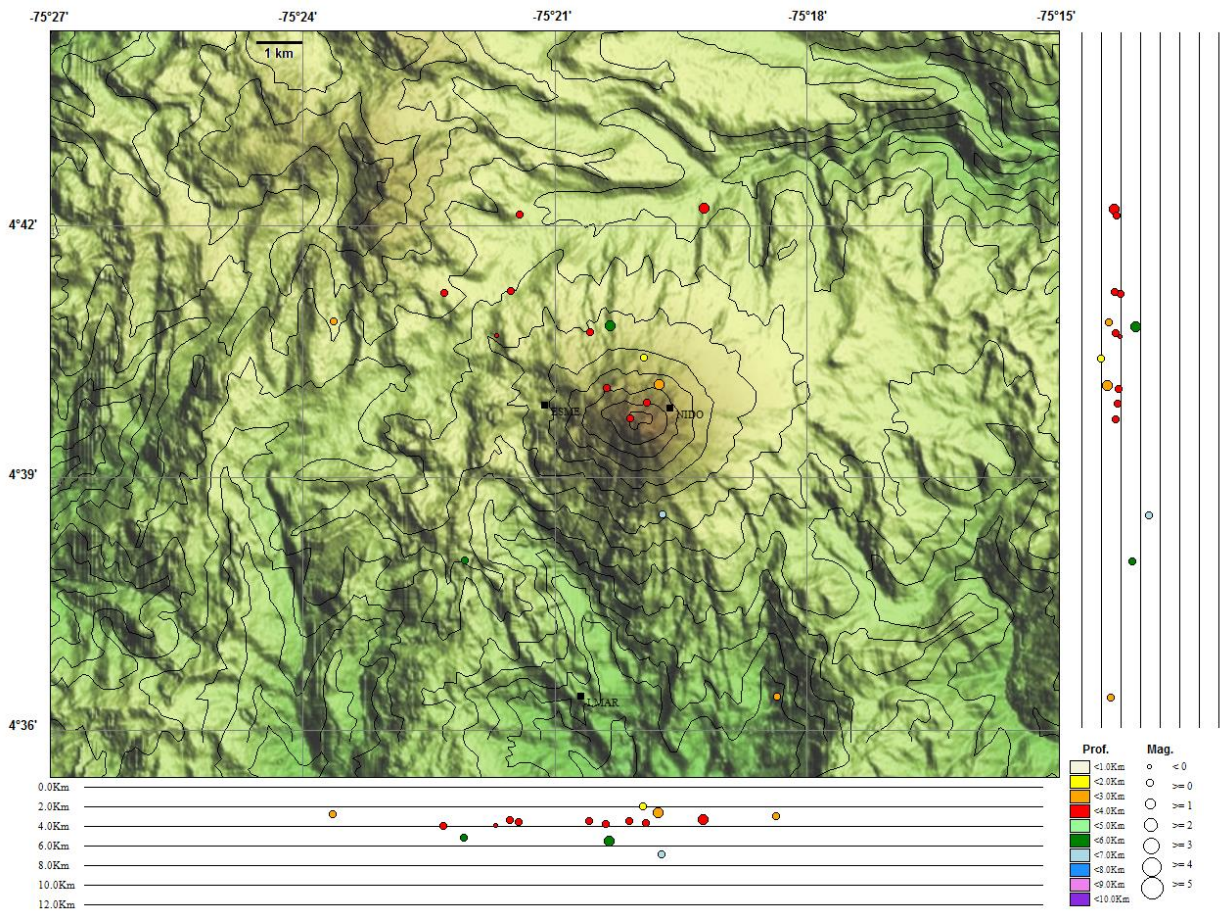


Figura 57. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Nevado del Tolima, Enero - Diciembre de 2012.



**Figura 58.** Energía diaria liberada en el Volcán Nevado del Tolima, Enero - Diciembre de 2012.



**Figura 59.** Mapa de localización hipocentral sismos volcano-tectónicos (círculos de colores), Volcán Nevado del Tolima, Enero a Diciembre de 2012. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas.

Con relación a la sismicidad de fluidos tipo LP, se destaca el sismo registrado el 14 de Abril a las 01:15 (hora local), el cual alcanzó la mayor duración del año, con 29 s. Los eventos LP mostraron en su mayoría frecuencias entre 4 y 6 Hz.

### **2.2.1 Señales asociadas a la actividad glacial**

Durante todo el año se registraron señales asociadas a pequeñas avalanchas de roca y/o hielo-nieve, producidas por el fenómeno de deshielo en la parte alta del volcán, debido a la dinámica natural del casquete glacial, y a las variaciones en las temperaturas y al régimen pluviométrico en la zona. Enero, Octubre y Diciembre fueron los meses con mayor número de señales registradas de este tipo, entre tanto Junio y Julio de 2012 presentaron los registros más bajos.

Las señales sísmicas asociadas a la actividad glacial, a lo largo del año 2012, mostraron en general un carácter energético bajo, sin embargo sobresale el evento registrado el 11 de Enero a las 14:26 (hora local), el cual tuvo una duración de 230 s.

### **2.3 DEFORMACIÓN**

Durante el 2012 se contó con el funcionamiento del inclinómetro electrónico ESME (Figura 60). El cual presenta un constante ascenso principalmente en la componente Norte, mientras que la componente Este presenta fluctuaciones del orden de 25  $\mu$ rad, lo cual puede estar asociado con procesos de compensación de masas glaciares, así como de cambios bruscos de temperatura en el lugar (Figura 61).

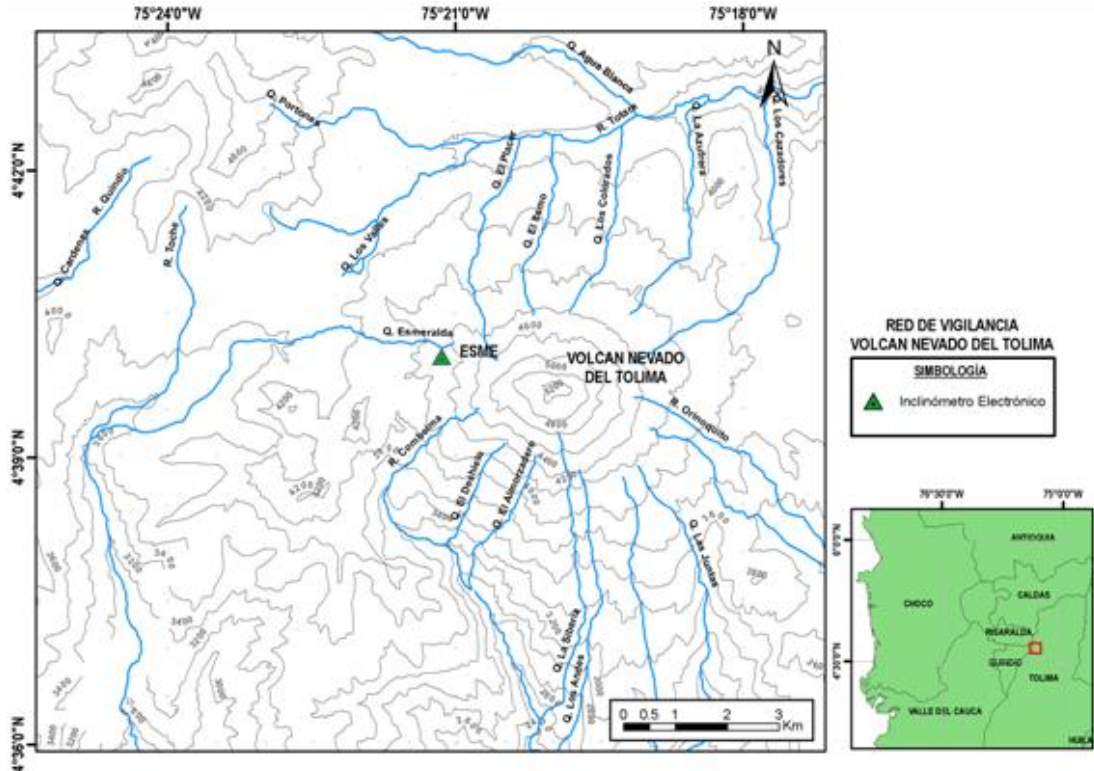


Figura 60. Red de deformación del Volcán Nevado del Tolima.

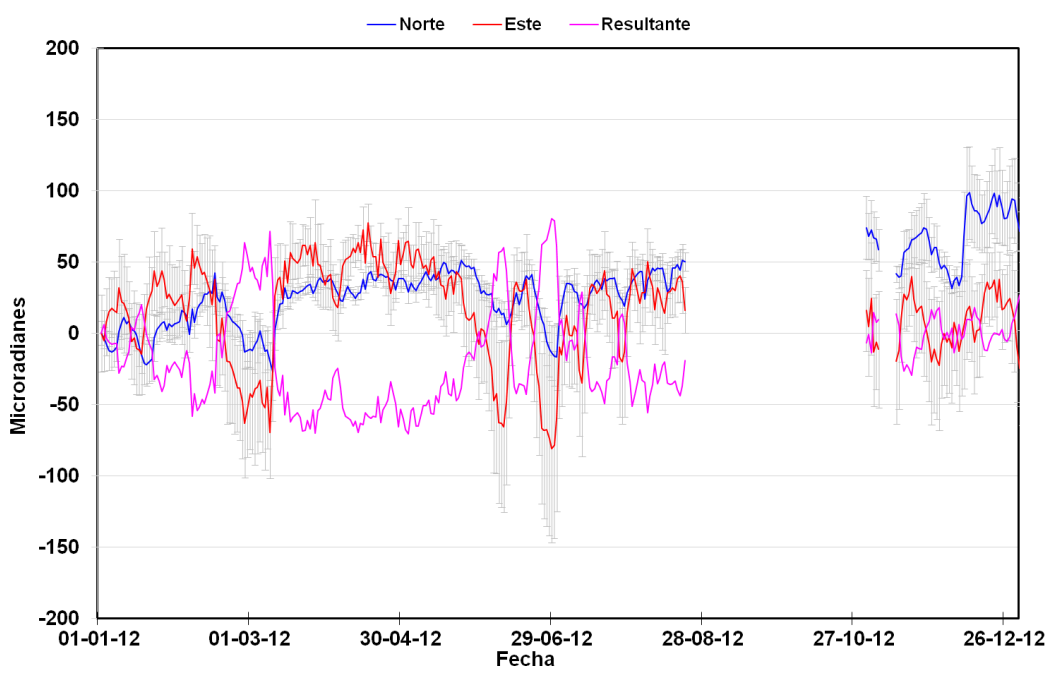


Figura 61. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónicos ESME Volcán Nevado del Tolima, 2012.

### 3. VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM)

#### 3.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia telemétrica del OVSM, durante el año 2012 fue de **81.6%**.

Durante el año 2012 se continúa mejorando la red de vigilancia en el Volcán Cerro Machín, así como el mantenimiento de los sistemas existentes, se cambió sensor Banda Ancha ANILLO ya que este presentaba problemas en una de sus componentes (Figura 62).



**Figura 62.** Sensor Banda Ancha de Anillo.

Se realizaron mantenimientos preventivos periódicos sobre la troncal entre el OVSM y el Nodo CIELO ROTO, estos correspondieron principalmente a la verificación de antenas, cables, conectores, protecciones RF.

Se realizaron así mismo mantenimientos preventivos periódicos del nodo CIELO ROTO y los enlaces que llegan a este tanto en el sistema de bajo muestreo serial como en el equipo TCP IP y mejoras continuas en el uso del radio espectro, al igual que en la troncal CIELO ROTO - Base IBAGUE.

Dado que el grupo de Deformación instaló en el volcán estaciones GNSS LA SECRETA, MORAL y LAGUNA, posterior a ello incorporó el sistema de transmisión con el fin de tener estos datos en el OVSM, véase (Figura 63).





**Figura 63.** GNSS MORAL Y LA SECRETA.

La red de estaciones analógicas también tuvo lugar a mantenimientos tanto correctivos como preventivos, siendo así los repetidores de LAJAS y CIELO ROTO y las estaciones CIMA, MORAL, SILENCIO, SAN JUAN, SAN LORENZO, SANTA MARTA.

A fin de año, se realizó la instalación de tres estaciones de radón, cuyo periodo de muestreo es de un minuto, los datos de este parámetro se monitorea en el OVSM de manera continua de tal manera que permita un conocimiento inmediato del mismo, en la Figura 64 se puede apreciar el sensor destinado a este objetivo y su adecuación.



**Figura 64.** Sensor de Radón.

También se realizaron mantenimientos en la estación Banda Ancha y Cámara TOCHE, (Figura 65), así como el magnetómetro de AGUAS CALIENTES.



**Figura 65.** Estación Banda Ancha y Cámara TOCHE.

## **3.2 SISMOLOGÍA**

Durante el año 2012, la actividad sísmica del Volcán Cerro Machín mostró un comportamiento relativamente estable en comparación al año anterior. Esta actividad estuvo caracterizada esencialmente por sismos volcano-tectónicos asociados a fracturamiento de roca en el edificio volcánico.

### **3.2.1 Sismos volcano-tectónicos**

La red de estaciones sismológica registró un total de 2042 VT (Figura 66). Estos eventos ocurrieron a profundidades entre 1 y 18 km y fueron localizados en el edificio volcánico (Domo principal) y en sectores proximales (fuentes sismogénicas Moralito y Moral) y distales a éste (fuente sismogénica Tapias) (Figura 66 y Figura 67).

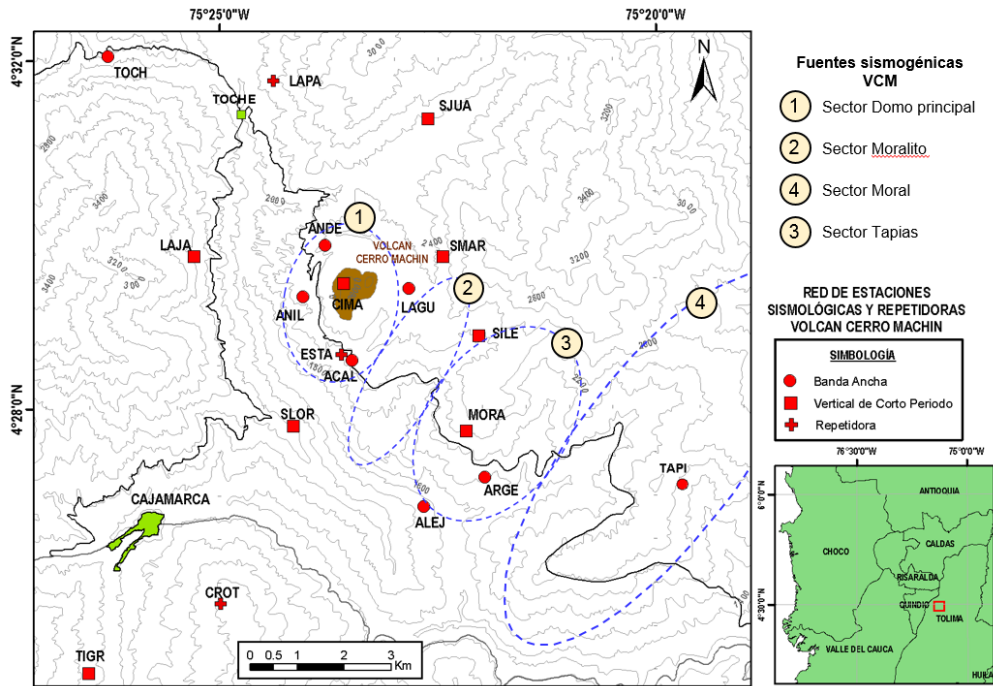
En cuanto al número de eventos y energía sísmica diarios se observa que durante este año, la sismicidad en el VCM presentó niveles bajos tanto en número como en energía sísmica liberada. El 96% del año (333 días) la actividad de tipo VT fue <10 VTs/día y presentó valores de energía sísmica <1.5E+08 erg (Figura 68 y Figura 69).

Algunos incrementos en la sismicidad significativos en número se registraron el 30 de Diciembre (197 VTs), el 2 de Marzo (156 VTs), el 10 de Septiembre (109 VTs), el 15 de Enero (95 VTs) y el 7 de Abril (63 VTs) (Tabla 2).

Los eventos sísmicos con mayor energía sísmica liberada, se registraron durante el enjambre sísmico del 7-8 de Octubre entre las 21:26 y 01:04 horas locales (Figura 70). Éstos ocurrieron al SE del domo principal en el sector de Tapias a una profundidad promedio de 13 km y presentaron valores de magnitud de 4.6 y 3.9  $M_L$ . Estos eventos fueron sentidos tanto en las inmediaciones al volcán, como en los municipios de Cajamarca e Ibagué (Tolima) y en algunos municipios del departamento de Quindío, Risaralda y Caldas.

Otros eventos sísmicos de relativamente de alta energía durante el año, ocurrieron los días 17 de Octubre (3.27  $M_L$  a 11.29 km), 16 de Diciembre (3.22  $M_L$  a 14.58 km) y 14 de Diciembre (3.14  $M_L$  a 12.86 km) al SE del domo principal en el sector de Tapias. Estos eventos fueron también reportados como sentidos por personas tanto en las inmediaciones al volcán, como en los municipios de Cajamarca e Ibagué (Tolima) y en

algunos municipios del departamento de Quindío, Risaralda y Caldas. En el sector sur del domo principal, también se registraron eventos de relativamente alta energía los días 9 de Septiembre ( $2.73M_L$  a 3.73 km) y 11 de Abril ( $2.76 M_L$  a 4.82 km), los cuales fueron reportados como sentidos en las inmediaciones al volcán.



**Figura 66.** Red de estaciones sismológicas en el Volcán Cerro Machín a Diciembre de 2012. En líneas punteadas azules fuentes sísmicas.

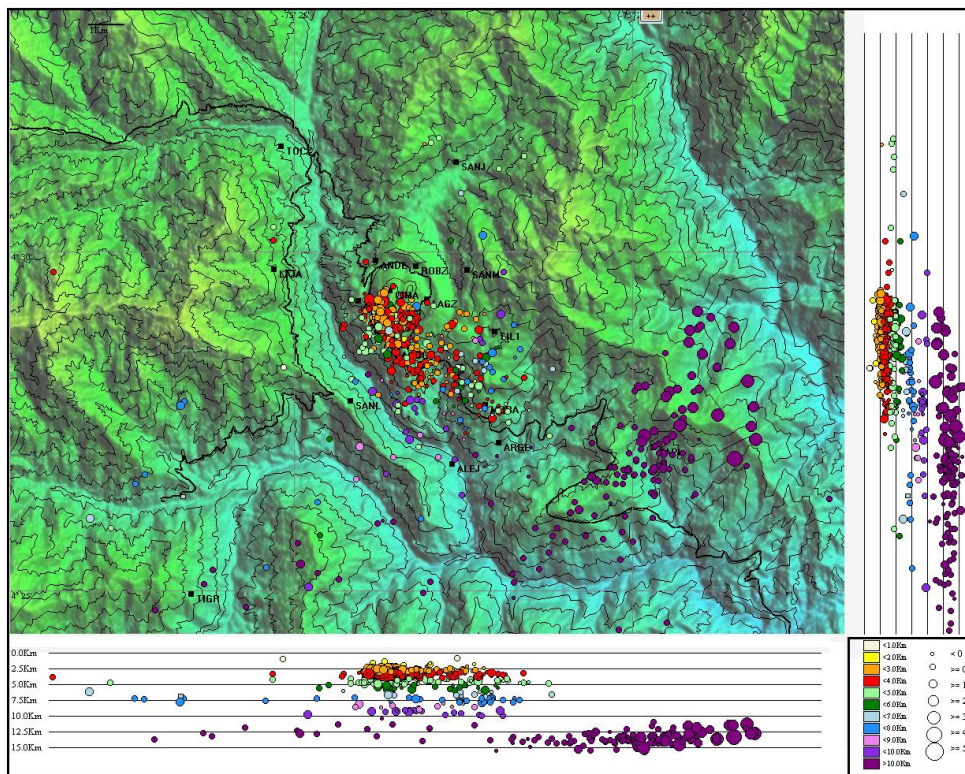


Figura 67. Localización epicentral e hipocentral de los eventos de tipo VTs registrados durante el año 2012 en el VCM.

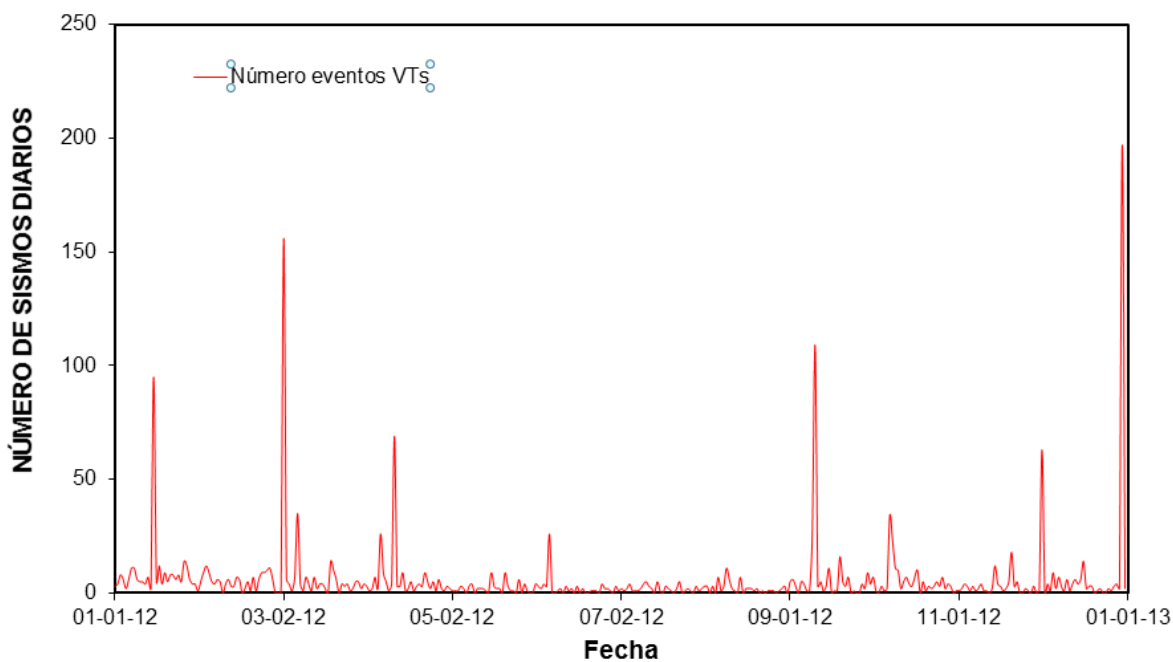
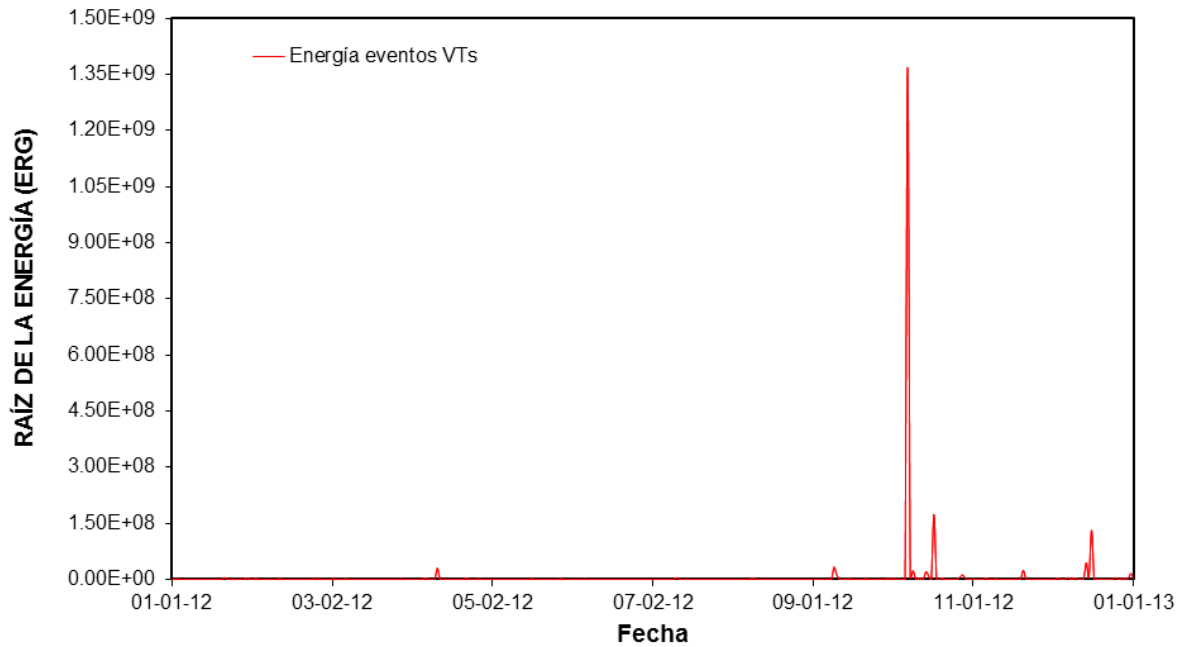
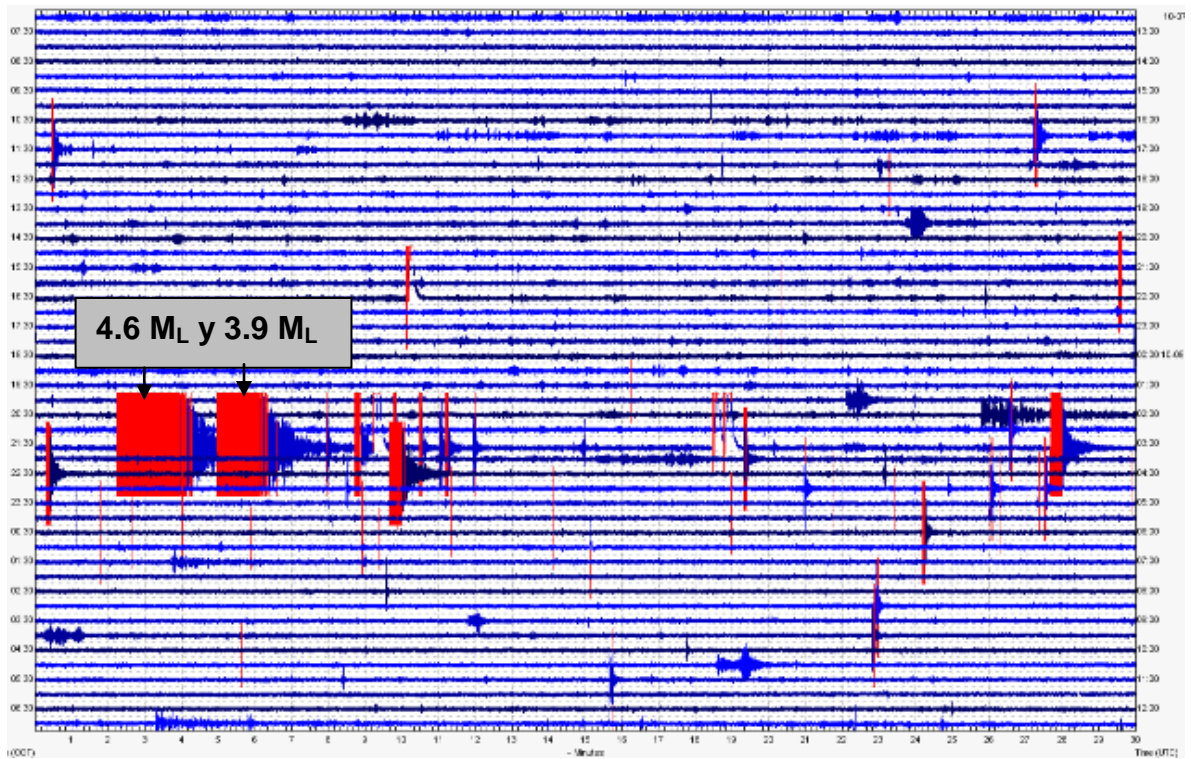


Figura 68. Número de eventos de tipo VTs registrados durante el año 2012 en el VCM.



**Figura 69.** Energía sísmica liberada por los eventos de tipo VTs registrados durante el año 2012 en el VCM.



**Figura 70.** Sismograma digital correspondiente al enjambre sísmico ocurrido entre el 07 y 08 de Octubre de 2012. Izquierda señales sísmicas de los dos eventos de mayor magnitud registrados durante el año.

ACTIVIDAD SÍSMICA VCM – ANUALIDAD 2012				
Mes	No. VTs	Localización actividad sísmica	Evento destacado	Enjambres sísmicos
Enero	286	-Domo principal, sector Sur y SE a 2.3 - 6 km de profundidad. -Sector <u>Moralito</u> -Moral a 5 - 18 km de profundidad	Día: 21/01/2012 Hora local: 04:42 Magnitud Richter: 1.46 Profundidad: 3.73 km	Enjambre del 15/01/2012, entre 03:29 y 04:30 hora local. No VTs: 96. Magnitud máxima: 0.80 ML Localizado en domo principal sector SSE, con
Febrero	151	-Domo principal, sector Sur y SE a 1.8 - 6 km de profundidad. -Sector <u>Moralito</u> a 6 - 10 km de profundidad.	Día: 02/02/2012 Hora local: 04:52 Magnitud Richter: 1.6 Profundidad: 7.86 km	
Marzo	305	-Domo principal, sector Sur y SE a 1 - 14 km de profundidad. -Sector <u>Moralito</u> a 3 - 15 km de profundidad.	Día: 07/03/2012 Hora local: 15:35 Magnitud Richter: 1.12 Profundidad: 3.11 km	Enjambre del 02/03/2012, entre 12:00 y 14:00 hora local. No VTs: 156. Magnitud máxima: 0.43 ML Enjambre del 07/03/2012, entre 13:17 y 15:05 hora local. No VTs: 33. Magnitud máxima: 1.12 ML
Abril	197	- Domo principal, sector Sur y SE a 2 - 6km de profundidad. -Sector <u>Moralito</u> -Moral entre 2 – 9km.	Día: 11/04/2012 Hora local: 06:55 Magnitud Richter: 2.76 Profundidad: 4.82 km Sismo sentido	Enjambre del 11/04/2012, entre 03:41 y 08:09 hora local. No VTs: 56. Magnitud máxima: 2.76 ML. Localizado en domo principal sector SSW.
Mayo	65	-Domo principal, sector Sur y SE a 1 - 16 km de profundidad. -Sector Tapias a 10 – 18 km de profundidad.	Día: 28/05/2012 Hora local: 12:03 Magnitud Richter: 1.4 Profundidad: 4.82 km	
Junio	71	-Domo principal (sector SW) a 1 - 15 km de profundidad.	Día: 06/06/2012 Hora local: 03:15 Magnitud Richter: 0.97 Profundidad: 2.60 km	Enjambre del 05/06/2012, entre 00:00 y 04:00 hora local. No VTs: 20. Magnitud máxima: 0.97 ML. Localizado en domo principal en el sector SW.
Julio	58	-Domo principal, sector Sur y SE a 1 - 15 km de profundidad	Día: 11/07/2012 Hora local: 14:08 Magnitud Richter: 1.53 Profundidad: 3.03 km	
Agosto	66	-Sector Sur y SE a 1.8 - 6 km de profundidad. -Sector <u>Moralito</u> a 6 - 12 km de profundidad. -Sector Tapias a 12 – 15 km de profundidad.	Día: 09/08/2012 Hora local: 20:26 Magnitud Richter: 1.31 Profundidad: 9.40 km	

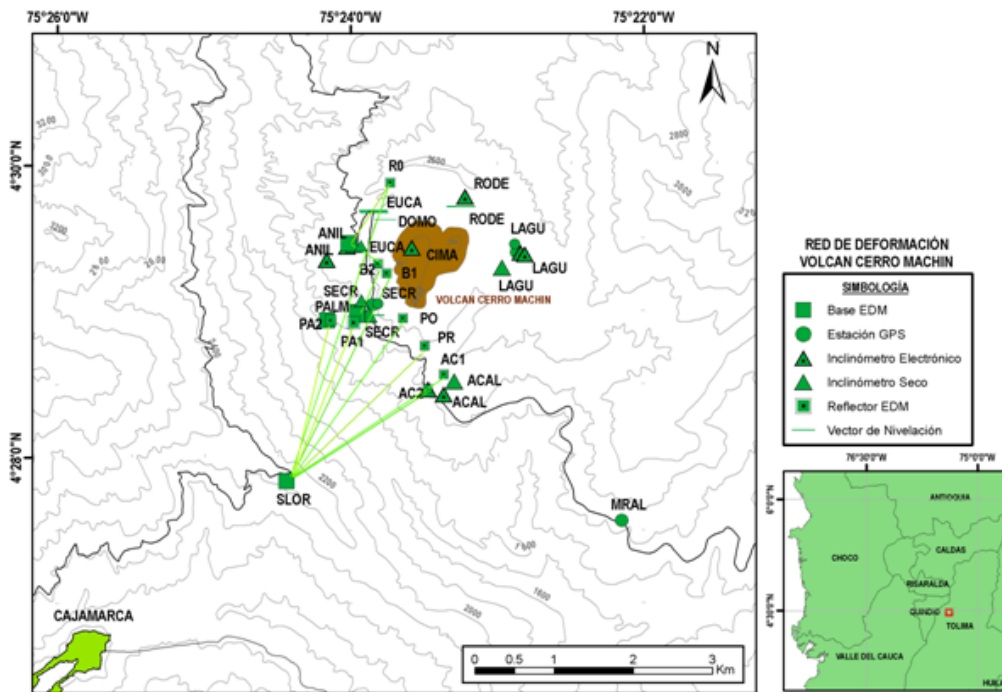
**Tabla 2.** Actividad sísmica registrada en el Volcán Cerro Machín (VCM) durante el año 2012.

<b>Septiembre</b>	236	-Domo principal (sector SW) a 2 - 5 km de profundidad. -Sector <u>Moralito</u> a 6 - 15 km de profundidad.	Día: 09/09/2012 Hora local: 07:31 Magnitud Richter: 2.73 Profundidad: 3.73 km	Enjambre del 09/09/2012, entre 07:30 y 08:10 hora local. No <u>VTs</u> : 26. Magnitud máxima: 2.73 ML. Localizado en domo principal sector SW, con profundidad promedio de 3 km.  Enjambre del 10/09/2012, entre 07:18 y 16:30 hora local. No <u>VTs</u> : 135. Magnitud máxima: 1.93 ML. Localizado en domo principal sector SSW, con profundidad promedio de 3 km.
<b>Octubre</b>	169	-Domo principal, sector Sur a 2 - 6 km de profundidad. -Sector <u>Moralito</u> -Moral a 3 - 10 km de profundidad. -Sector Tapias a 12 - 15 km de profundidad.	Día: 07/10/2012 Hora local: 21:32 Magnitud Richter: 4.82 Profundidad: 13.25 Sismo sentido  Día: 07/10/2012 Hora local: 21:35 Magnitud Richter: 3.93 Profundidad: 12.83 km Sismo sentido  Día: 17/10/2012 Hora local: 12:13 Magnitud Richter: 3.27 Profundidad: 11.29 km Sismo sentido	Enjambre del 07-08/10/2012, entre 21:26 y 07:52 hora local. No <u>VTs</u> : 39. Magnitudes máximas: 4.82 y 3.93 ML. Localización al SE del domo principal en el sector de Tapias, con una profundidad promedio de 13 km.
<b>Noviembre</b>	85	-Domo principal a 2 - 5 km de profundidad. -Sector <u>Moralito</u> -Moral a 9 - 12 km de profundidad. -Sector Tapias a 12 - 15 km	Día: 20/11/2012 Hora local: 17:54 Magnitud Richter: 1.8 Profundidad: 3.28 km	
<b>Diciembre</b>	353	-Domo principal, sector Sur y SE a 2 - 6 km de profundidad. -Sector Tapias a 9 - 15 km de profundidad.	Día: 16/12/2012 Hora local: 19:16 Magnitud Richter: 3.22 Profundidad: 14.58 km Sismo sentido  Día: 14/12/2012 Hora local: 16:51 Magnitud: 3.14 ML Profundidad: 12.86 km Sismo sentido  Día: 07/12/2012 Hora local: 05:47 Magnitud: 2.26 ML Profundidad: 15.05 km Sismo sentido	Enjambre del 01/12/2012, entre 07:34 y 08:58 hora local. No <u>VTs</u> : 63. Magnitud máxima: 0.21 ML. Localización sector <u>Moralito</u> con una profundidad promedio de 3 km.  Enjambre del 30/12/2012, entre 06:05 y 07:57 hora local. No <u>VTs</u> : 194. Magnitud máxima: 1.47 ML. Localización sector SSE del domo principal con una profundidad promedio de 3.5 km.

**Tabla 3.** Continuación actividad sísmica registrada en el Volcán Cerro Machín (VCM) durante el año 2012.

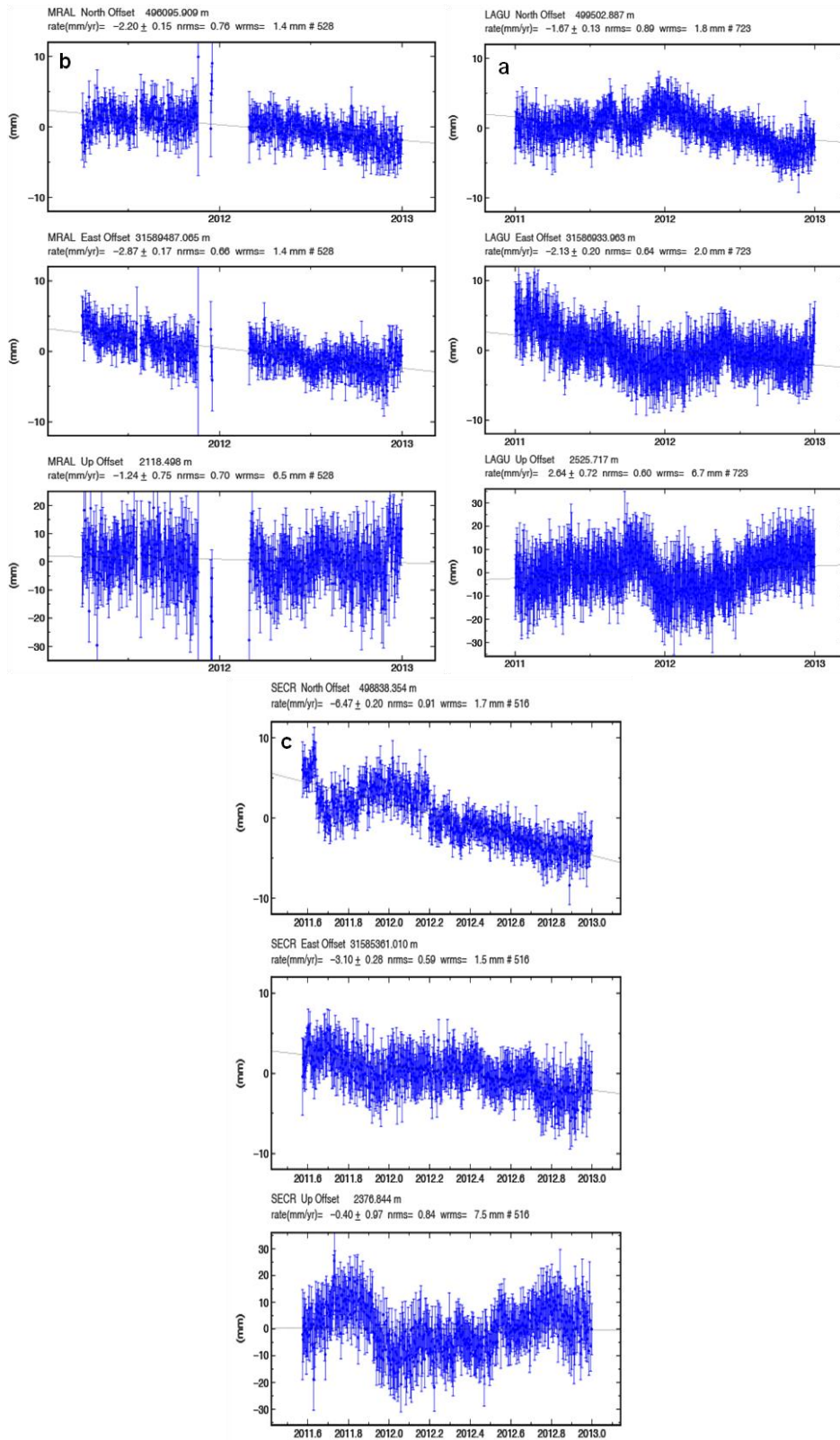
### 3.3 DEFORMACIÓN

Durante el 2012 operaron correctamente cuatro estaciones GPS permanentes y cuatro de los cinco inclinómetros electrónicos instalados en el volcán. La Figura 71 muestra la red de deformación del Volcán Cerro Machín. Las estaciones GPS LAGU, MRAL SECR y VPIJ muestran en general líneas bases estables, sin registrar procesos deformativos importantes en la estructura volcánica (Figura 72).



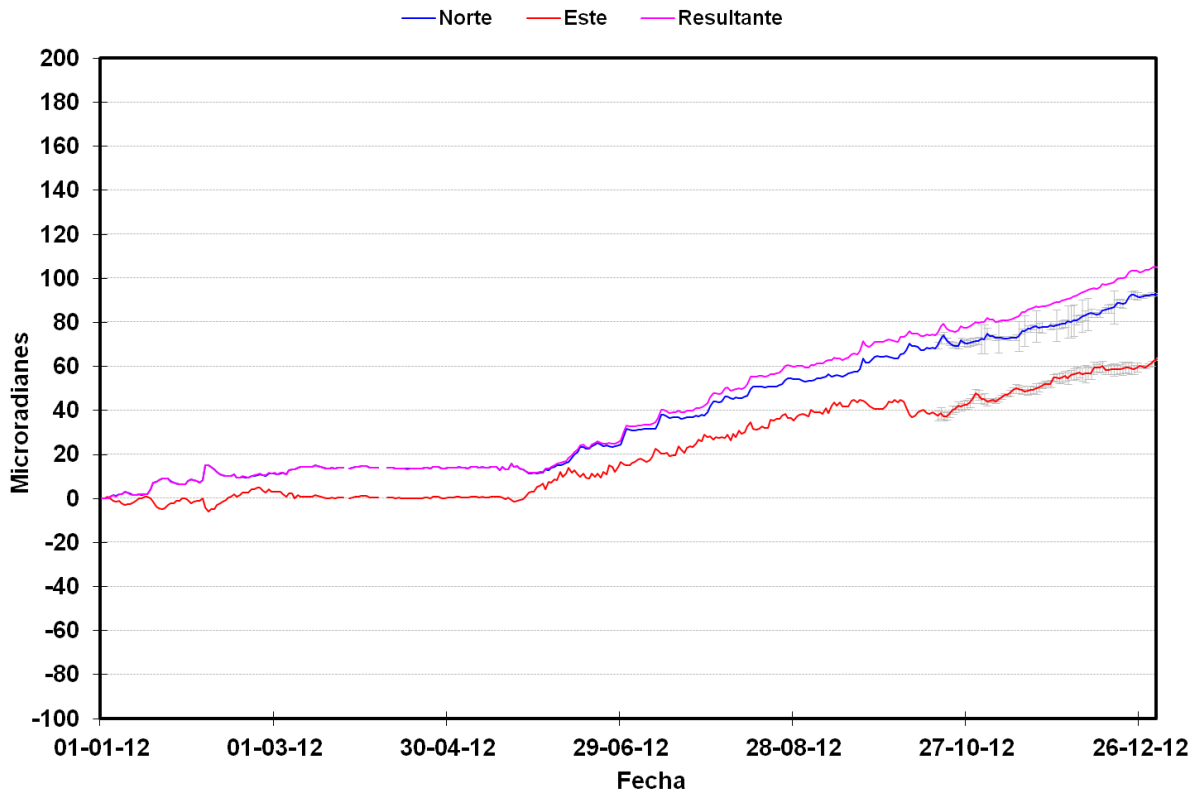
**Figura 71.** Red de deformación del Volcán Cerro Machín.





**Figura 72.** Series de Tiempo, GPS a) MRAL, b) LAGU Y c) SECR, a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Cerro Machín, 2012.

El comportamiento de los inclinómetros electrónicos ANIL, LAGU y RODE se caracterizaron por mostrar en general estabilidad en sus dos componentes. La componente Norte y Este del inclinómetro CIMA viene presentando un constante ascenso desde su instalación en Marzo de 2011, registrado un cambio acumulado en la resultante de las componentes (N y E) hasta Diciembre de 2012 de 104  $\mu\text{rad}$  (Figura 73).

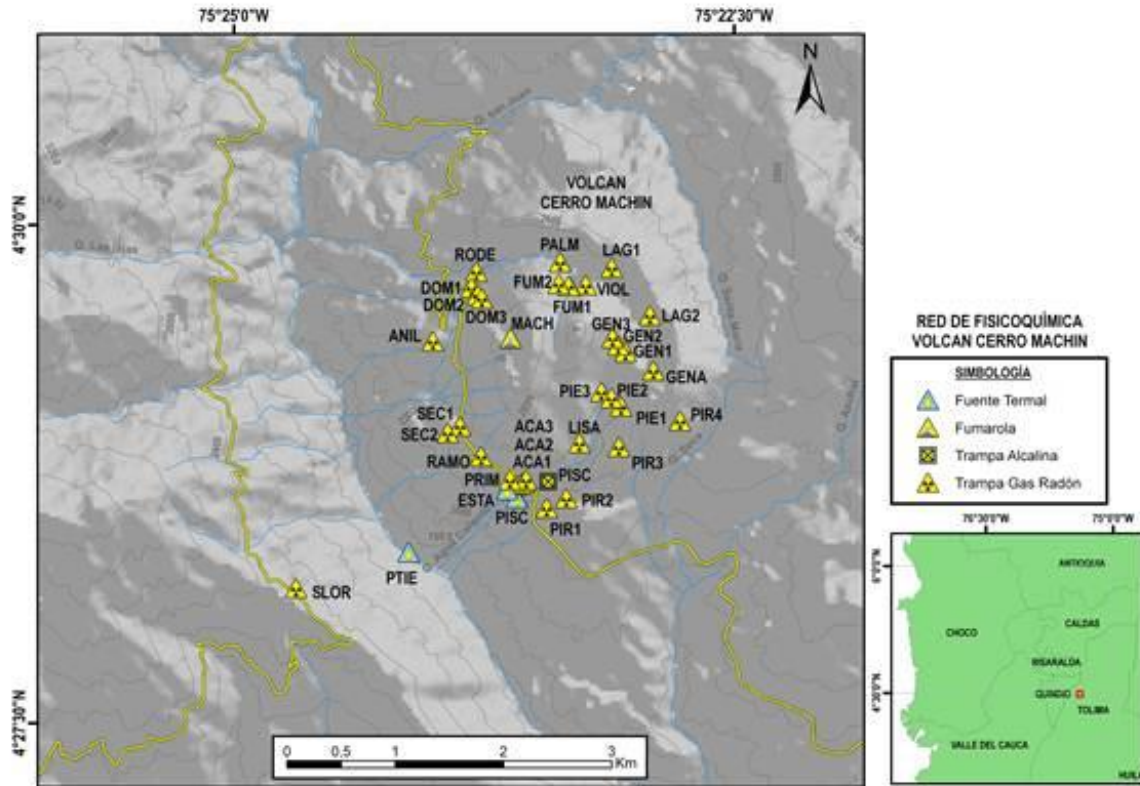


**Figura 73.** Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CIMA Volcán Cerro Machín, 2012.

### 3.4 GEOQUÍMICA

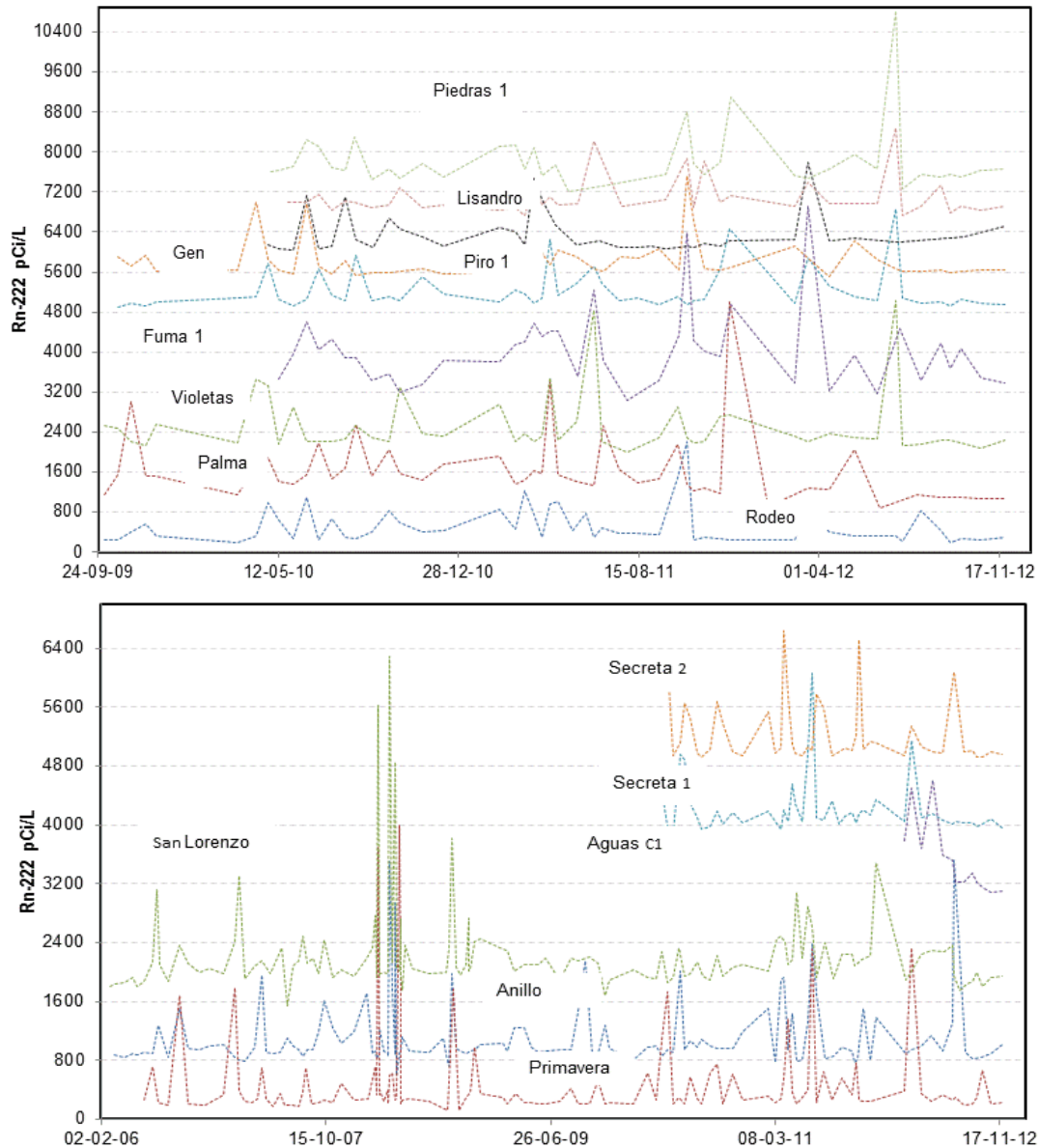
#### 3.4.1 Medidas de Gas Radón

El día 15 de Febrero se reinstalaron las estaciones de monitoreo de Gas Radón en el VCM. En la Figura 74 se aprecia el mapa con las estaciones geoquímicas.



**Figura 74.** Mapa estaciones Geoquímicas, Volcán Cerro Machín.

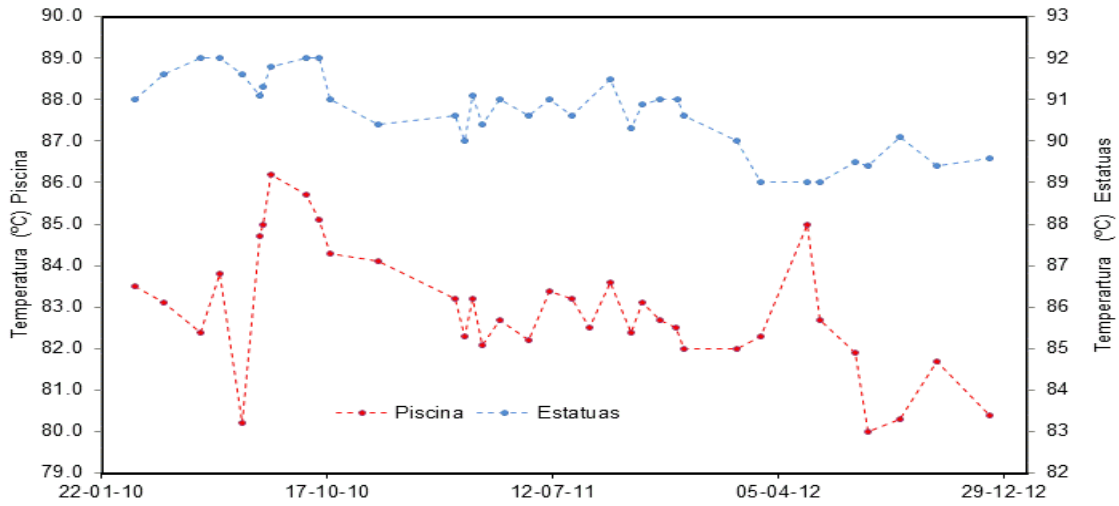
Durante los primeros meses del año 2012 se llevaron a cabo campañas de medición en las estaciones de gas Radón y los valores de desgasificación se mantuvieron constantes dentro de su línea base, en el mes de Mayo la concentración de gas Radón registró incrementos en sus valores de concentración en las estaciones FUMA 1, LAS PALMAS, SAN LORENZO Y AGUAS CALIENTES 1, mientras que las demás estaciones mostraron estabilidad, sin registrar cambios considerables. En el mes de Julio se presentaron variaciones en la concentración de gas Radón en el suelo en la mayoría de estaciones, tales como, PIEDRAS 1, LAGUNA 1, LISANDRO, VIOLETAS, Y ANILLO, en la segunda medida realizada al final del mes de Julio la concentración de radón en suelo disminuyó para las estaciones mencionadas anteriormente, excepto en la estación Anillo, en donde se presentó un incremento importante, la concentración de gas Radón en el suelo en el mes de Agosto se incrementó en las estaciones RODEO, LAS PALMAS, PIEDRAS 1 Y LISANDRO; las estaciones FUMA 1, SECRETA 2, ANILLO Y PRIMAVERA registraron disminución en la concentración de gas radón, mientras que las estaciones VIOLETAS, SECRETA 1, AGUAS CALIENTES 1, PIRO 1, GENA Y SAN LORENZO mantuvieron concentraciones de gas radón constantes con respecto a las medidas obtenidas en el mes de Julio. En los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre la desgasificación de gas Radón en las estaciones del Volcán Cerro Machín se mantuvo estable sin presentar variaciones significativas, en la Figura 75 se aprecia el comportamiento de la desgasificación de gas Radón en suelo en el año 2012 en el Volcán Cerro Machín.



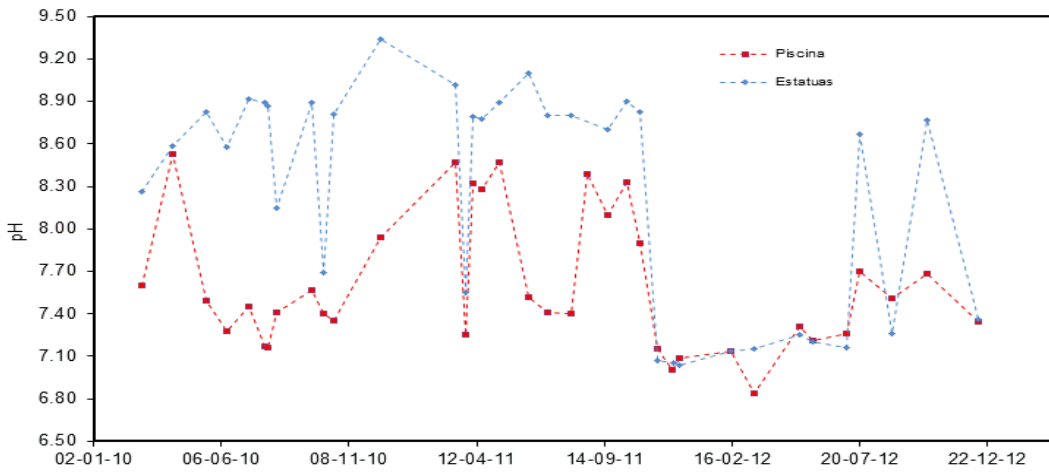
**Figura 75.** Variación de los niveles de Radón en suelo. Volcán Cerro Machín. 2012.

### 3.4.2 Fuentes Termales (FT)

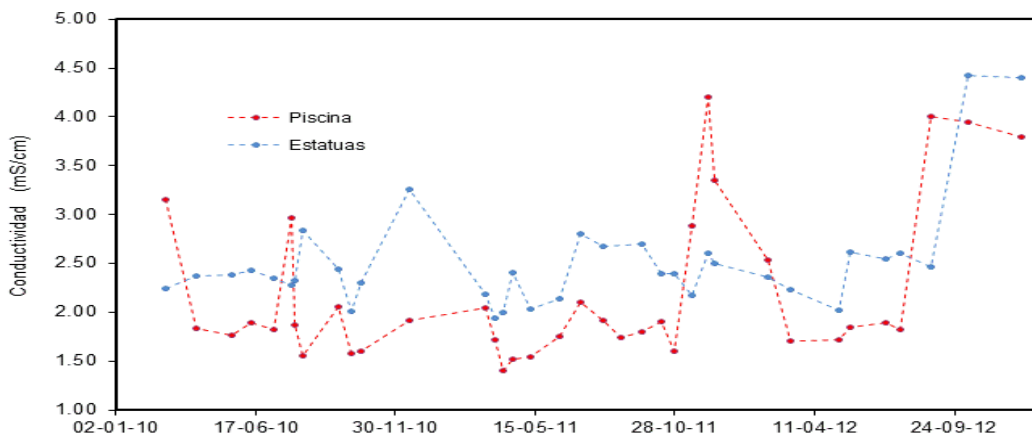
En el año 2012 se realizó monitoreo periódico en dos fuentes termales, PISCINA y ESTATUAS. La temperatura en las FT PISCINA y ESTATUAS durante el año 2012 se mantuvo en valores estables sin presentar cambios significativos, el pH de las dos fuentes termales se mantuvo constante dentro de su línea base durante casi todos los meses, se resalta en el mes de Octubre un pequeño incremento en los dos manantiales termales, siendo más evidente en ESTATUAS, las variaciones que se han presentado en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Cerro Machín en el año 2012 se presentan en las Figura 76, Figura 77 y Figura 78.



**Figura 76.** Variación de Temperatura Fuentes Termales Piscina y Estatuas. Volcán Cerro Machín. 2012.

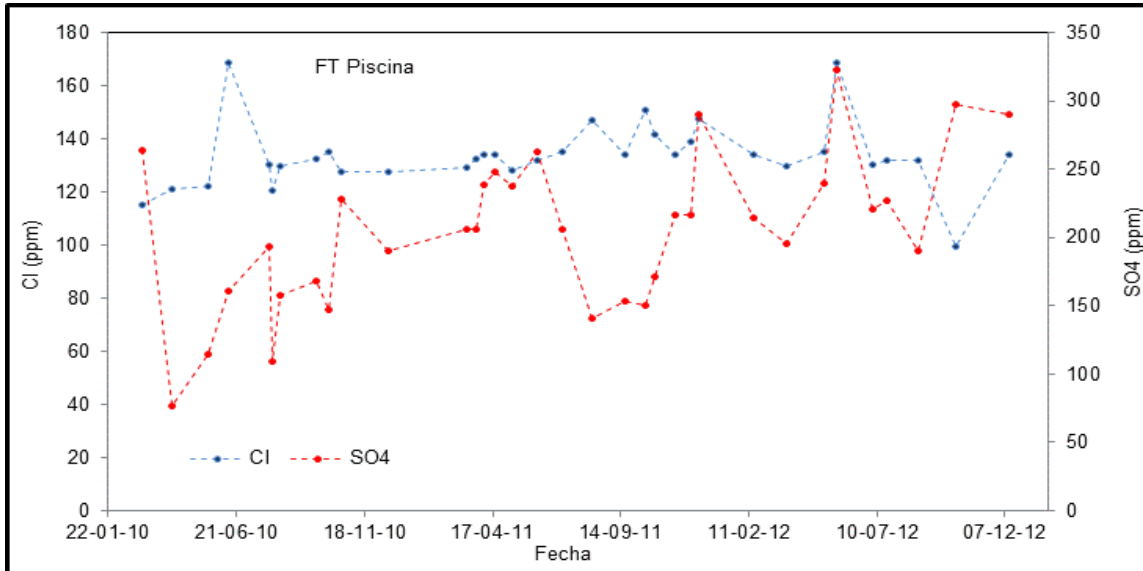


**Figura 77.** Variación de pH Fuentes Termales Piscina y Estatuas. Volcán Cerro Machín. 2012.



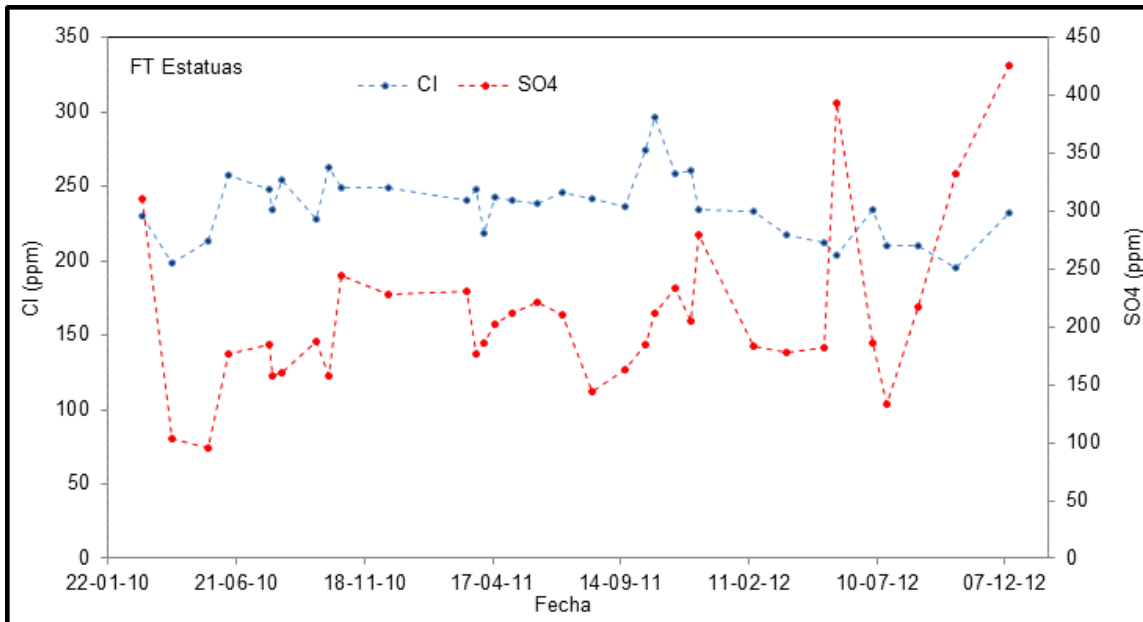
**Figura 78.** Variación de la Conductividad Eléctrica Fuentes Termales Piscina y Estatuas. Volcán Cerro Machín. 2012.

En lo referente a la concentración de aniones mayoritarios, se aprecia que el contenido de cloruros y sulfatos para la fuente termal PISCINA presentó estabilidad durante todo el año, aunque se destaca una leve disminución en la concentración de Cloruros en el mes de Octubre los valores registrados se encuentran dentro de sus líneas base, el comportamiento de aniones en la fuente termal PISCINA se aprecia en la (Figura 79).



**Figura 79.** Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuente Termal Piscina. Volcán Cerro Machín. 2012.

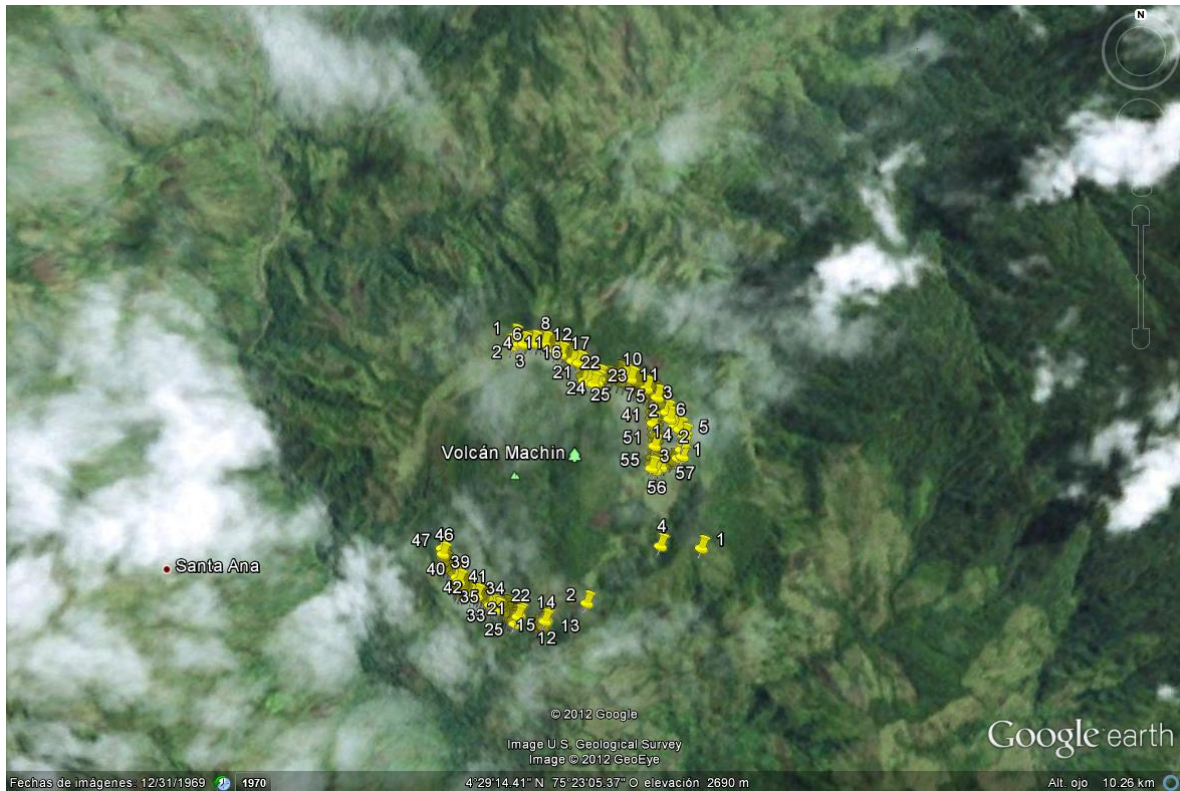
Para la FT Estatuas se presentó variación en el contenido de aniones, especialmente en sulfatos, el contenido de Cloruros presentó disminución, pero se encuentra dentro de sus valores promedio, en la Figura 80 se aprecia el comportamiento con el tiempo.



**Figura 80.** Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuente Termal Estatuas. Volcán Cerro Machín. 2012.

### 3.4.3 Medida del flujo de CO<sub>2</sub>.

Durante los días 19 y 20 de Septiembre se continuó con la campaña de medición del flujo de CO<sub>2</sub> en suelo en el VCM. Se realizaron medidas en los flancos SW, NE y SE. En la Figura 81 se aprecia un Mapa de localización de los puntos de medición, se usó Google Earth para su ubicación.



**Figura 81.** Mapa de localización de los puntos de medición de flujo de CO<sub>2</sub> en suelo. Volcán Cerro Machín. Septiembre de 2012.

En la Tabla 4 se aprecian algunos de los valores de flujo de CO<sub>2</sub> que se registraron durante las medidas, los cálculos se realizaron usando la herramienta Fluxrevisión del programa desarrollado por West System para el sistema LICOR 820. Los datos muestran que en algunos sectores se presentan flujos altos (ver datos resaltados en color naranja), esto indica posibles anomalías de desgasificación difusa en suelo, en próximas campañas se realizará monitoreo en los sitios donde se han registrado dichas anomalías.

POIN T	LONGITUDE	LATITUD E	PRESSUR E	TEMPERATUR E	CO2_SLOPE [ppm/s]	CO2_FLUX [mol/m <sup>2</sup> /day]	CO2_r <sup>2</sup>
1	-75.376.606	4.480.749	786.2	19	0.31584	0.17405	0.996
2	-75.384.370	4.476.703	786.2	19	205.422	113.199	0.985
3	-75.387.451	4.474.800	786	19	0.57886	0.3189	0.959
4	-75.379.373	4.480.893	786	19	1071.874	590.513	0.98
5	-75.387.583	4.474.858	786.1	19	170.724	0.94066	0.996
6	-75.387.505	4.474.940	786.1	19	141.518	0.77974	0.999
7	-75.387.489	4.474.984	786.4	19	849.217	468.085	0.989
14	-75.387.352	4.475.234	786.6	24	2734.373	1482.193	0.939

15	-75.387.180	4.475.415	786.7	24	14898.717	8077.021	0.966
16	-75.387.694	4.474.855	786.7	24	0.35295	0.19135	0.959
17	-75.387.924	4.474.750	785.7	24	0.30391	0.16455	0.995
18	-75.389.585	4.475.199	786.7	24	141.897	0.76926	0.994
19	-75.389.561	4.475.293	786.3	24	101.140	0.54803	0.993
20	-75.389.467	4.475.459	784.8	27	0.9629	0.51555	0.997
38	<b>-75.391.349</b>	<b>4.476.609</b>	<b>784.6</b>	<b>27</b>	<b>10485.720</b>	<b>5612.769</b>	<b>0.959</b>
39	<b>-75.391.691</b>	<b>4.476.823</b>	<b>784.6</b>	<b>27</b>	<b>1379.978</b>	<b>738.671</b>	<b>0.968</b>
40	<b>-75.391.939</b>	<b>4.476.928</b>	<b>783.9</b>	<b>27</b>	<b>266.283</b>	<b>142.408</b>	<b>0.999</b>
41	<b>-75.392.133</b>	<b>4.477.003</b>	<b>783.2</b>	<b>27</b>	<b>3347.196</b>	<b>1788.481</b>	<b>0.998</b>
42	<b>-75.392.395</b>	<b>4.477.002</b>	<b>783.1</b>	<b>27</b>	<b>228.754</b>	<b>122.212</b>	<b>0.993</b>
43	-75.392.594	4.477.204	782.2	27	0.46676	0.24908	0.988
44	-75.392.944	4.477.177	782.2	27	0.49507	0.26419	0.936
49	-75.392.935	4.477.617	779.5	24	0.74122	0.39816	0.975
50	-75.393.078	4.477.842	779.5	24	260.241	139.793	0.954
51	-75.393.330	4.478.081	779	24	160.439	0.86127	0.99
52	-75.393.469	4.478.376	778.6	24	3223.710	1729.671	0.99
53	-75.393.642	4.478.643	778	24	505.754	271.152	0.987
54	-75.393.927	4.478.891	777.5	24	550.454	294.927	0.998
55	-75.394.140	4.479.146	776.8	24	620.370	332.088	0.994
56	-75.394.324	4.479.453	776.3	24	234.383	125.386	0.991
57	-75.394.409	4.479.752	775.8	24	0.93258	0.49857	0.986
58	-75.394.407	4.480.030	776	24	1554.665	831.365	0.985
59	-75.394.458	4.480.431	775.7	24	117.673	0.62902	0.991

**Tabla 4.** Datos de Flujo de CO<sub>2</sub> en suelo. Septiembre de 2012. Volcán Cerro Machín.

#### 3.4.4 Medidas de Flujo de CO<sub>2</sub> en suelo

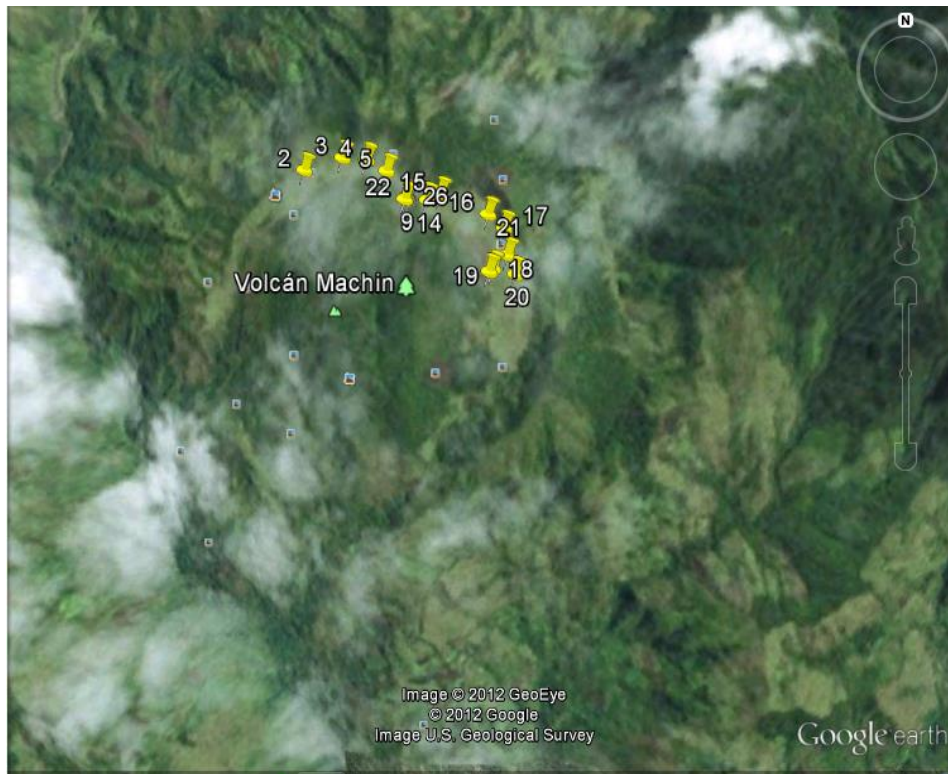
El día 28 de Mayo se realizaron algunas medidas preliminares del flujo de CO<sub>2</sub> en suelo en el VCM. Las medidas se realizaron usando el Equipo LICOR 820 que usa el método de cámara de acumulación para cuantificar el flujo (Figura 82). Las medidas de flujo de CO<sub>2</sub> son importantes en la vigilancia volcánica ya que aportan datos de la desgasificación pasiva que tienen los volcanes, lo cual es un indicador de su estado de actividad. Para poder correlacionar datos de desgasificación es importante realizar campañas de medición periódicas y establecer valores base de flujo y posibles anomalías en zonas cercanas a los volcanes.





**Figura 82.** Equipo de Medición LICOR 820 para medida de Flujo de CO<sub>2</sub> en suelo.

En total se realizaron 28 medidas, en la Figura 83 se encuentra el mapa con cada uno de los puntos en donde se realizaron las medidas, los cuales se encuentran en el sector Norte del VCM.

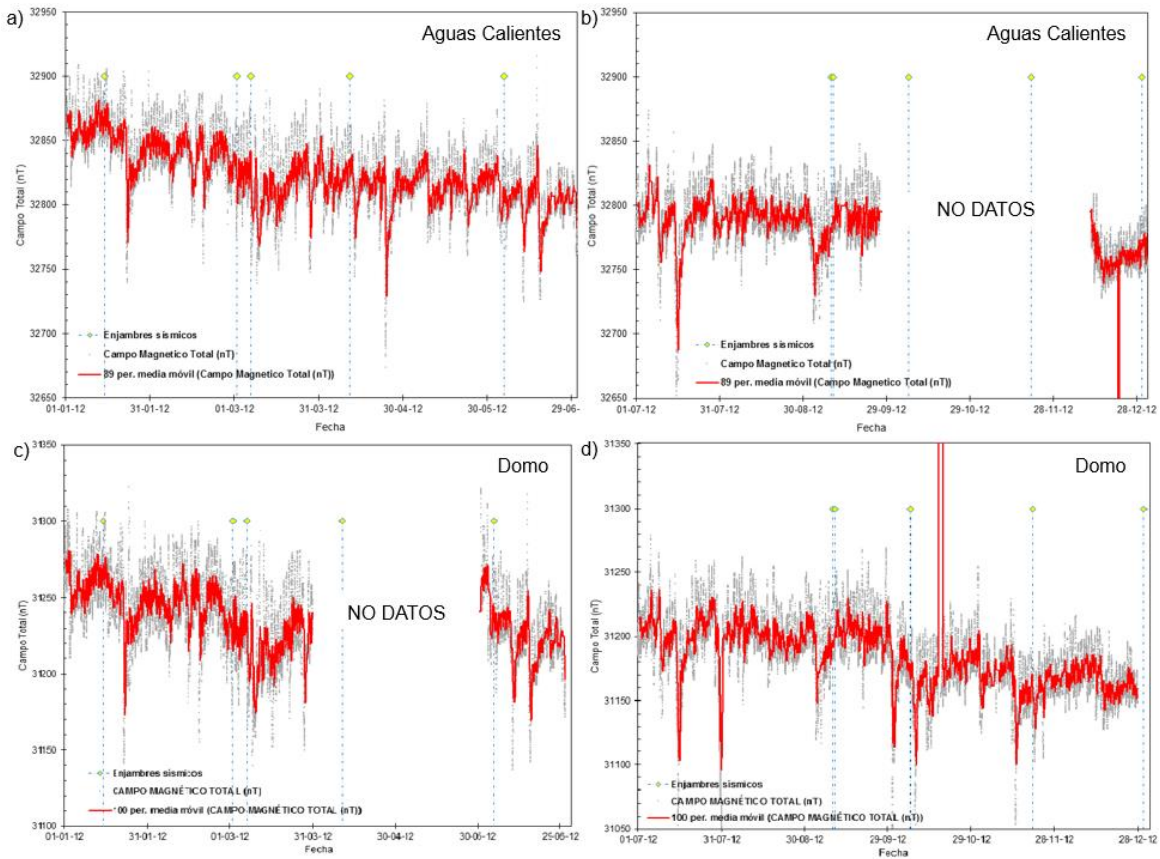


**Figura 83.** Localización de los puntos de medida del flujo de CO<sub>2</sub> en el Volcán Cerro Machín. Mayo de 2012.

## 3.5 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS

### 3.5.1 Magnetometría

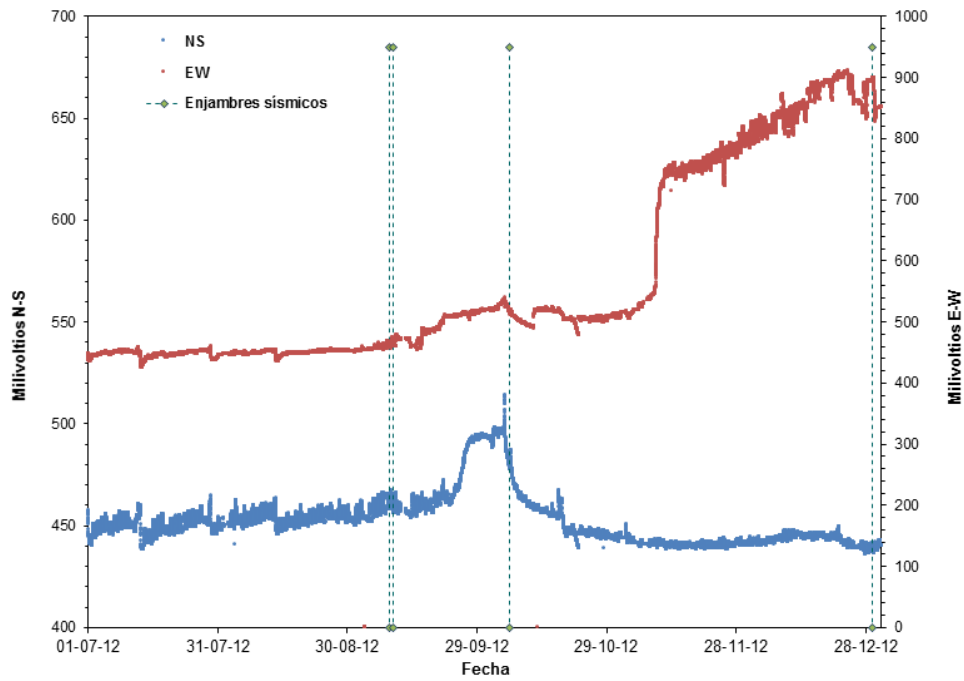
Durante el año 2012, los magnetómetros de las estaciones AGUAS CALIENTES y DOMO del Volcán Cerro Machín, continuaron mostrando una tendencia hacia valores bajos con cambios periódicos en sus componentes, algunas de estas variaciones están asociadas con tormentas solares y alteraciones del campo magnético regional, así como a la estabilización momentánea del sistema por ascenso de magma u otros materiales densos (Figura 84).



**Figura 84.** Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín durante el año 2012. a) Estación AGUAS CALIENTES de Enero 01 – Junio 30 b) Estación AGUAS CALIENTES de Julio 01 – Diciembre 31. c) Estación DOMO de Enero 01 – Junio 30, d) Estación DOMO de Julio – Diciembre de 2012.

### 3.5.2 Potencial espontáneo

La Figura 85 muestra los cambios en el potencial espontáneo en la estación DOMO. Durante el 2012. Se aprecia un incremento significativo de los valores del potencial espontáneo durante el mes de septiembre. A partir de Octubre la curva del potencial medido muestra en la componente N-S un comportamiento estable con tenencia a valores bajos, mientras la componente Este-Oeste mostró un cambio significativo hacia valores altos desde Noviembre.



**Figura 85.** Cambios en el potencial espontáneo en la estación DOMO del Volcán Cerro Machín durante el año 2012.

## 4. VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)

### 4.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia telemétrica del OVSM, durante el año 2012 fue **74.2%**.

Durante este periodo se realizó mantenimiento en el repetidor El DESQUITE, allí se realizó la instalación de radios back to back digital con el fin de mejorar la eficiencia del sistema de radio entre el OVSM y el DESQUITE así como el mantenimiento de la estación sismológica CAJONES, CERRO BRAVO Y PEÑAS BLANCAS.

También se instaló en la cima de Cerro Bravo el repetidor que permite enlazar PITAYO con ALGUACIL y así llevar a señal de las estaciones Banda ancha BILLAR y flujos de lodos de GUALI 3 Y LAGUNILLAS.



Figura 86. Repetidor Cerro Bravo.

### 4.2 SISMOLOGÍA

El Volcán Cerro Bravo durante todo el año 2012 presentó un nivel bajo de actividad. Durante este período la red de vigilancia sísmica de este volcán (Figura 87) registró esporádicamente eventos sísmicos relacionados con actividad de fluidos al interior del edificio volcánico, de carácter profundo (Figura 88 y Figura 89), al igual que algunas señales sísmicas asociadas con pequeñas avalanchas de roca.

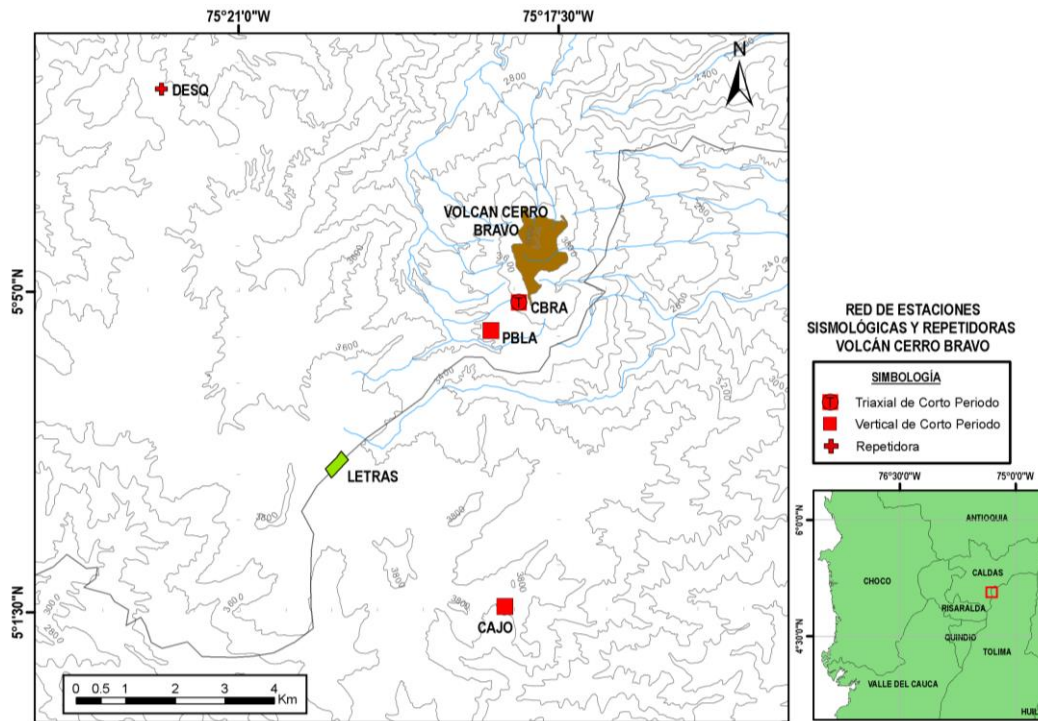
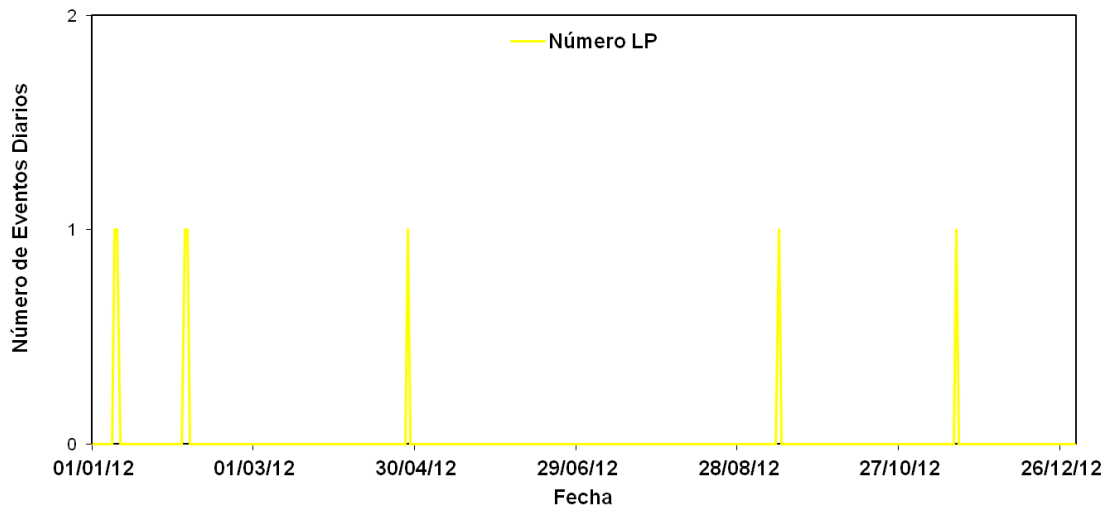
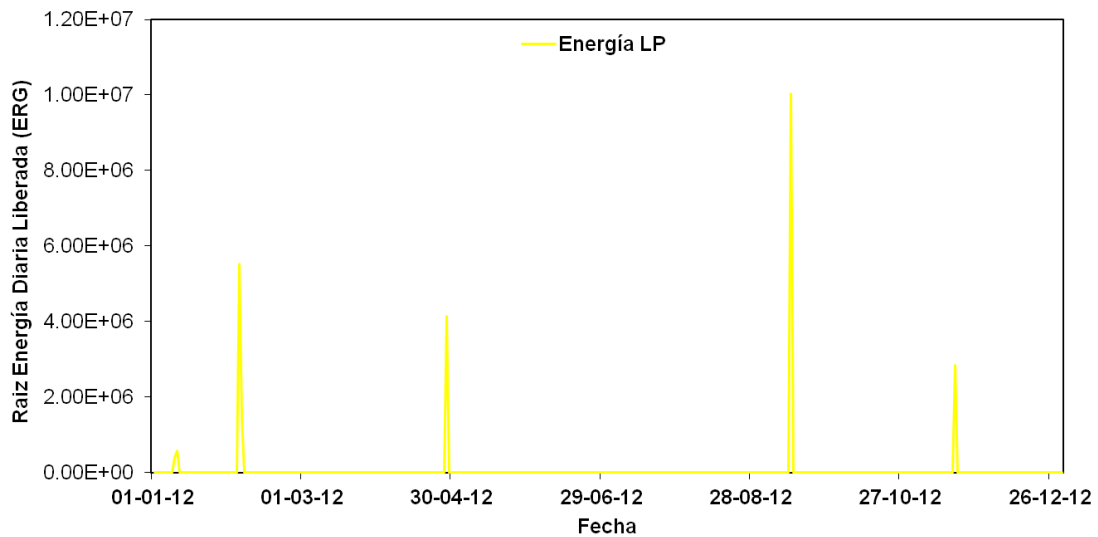


Figura 87. Red vigilancia sísmica, Volcán Cerro Bravo.



**Figura 88.** Numero de Sismos Diarios Volcán Cerro Bravo, 2012.



**Figura 89.** Raíz Energía sísmica diaria liberada, Volcán Cerro Bravo, 2012.

### 4.3 DEFORMACIÓN

Durante 2012 operó correctamente el inclinómetro electrónico CBRA localizado al suroccidente de la estructura volcánica. La Figura 90 muestra la red de deformación del Volcán Cerro Bravo. El comportamiento del inclinómetro electrónico CBRA se caracterizó por mostrar en general estabilidad en sus dos componentes, con un leve cambio a principios del año principalmente en la componente Norte de alrededor de 10  $\mu$ rad (Figura 91).

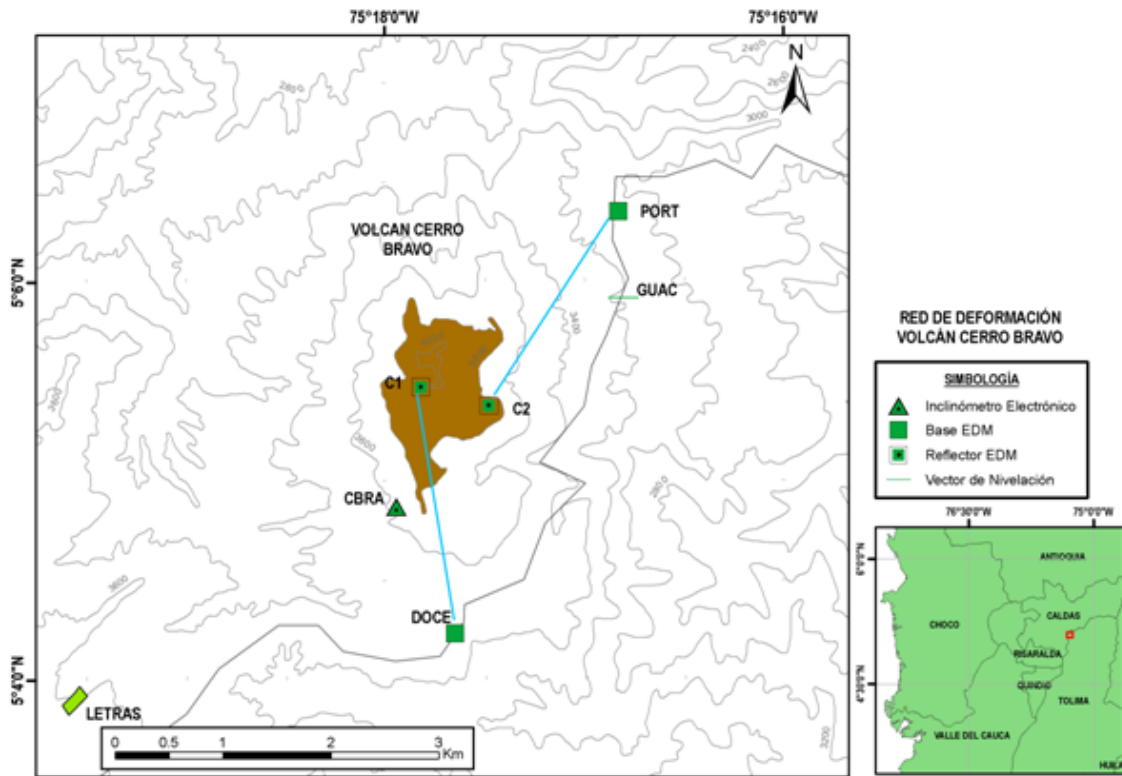


Figura 90. Red de deformación del Volcán Cerro Bravo.

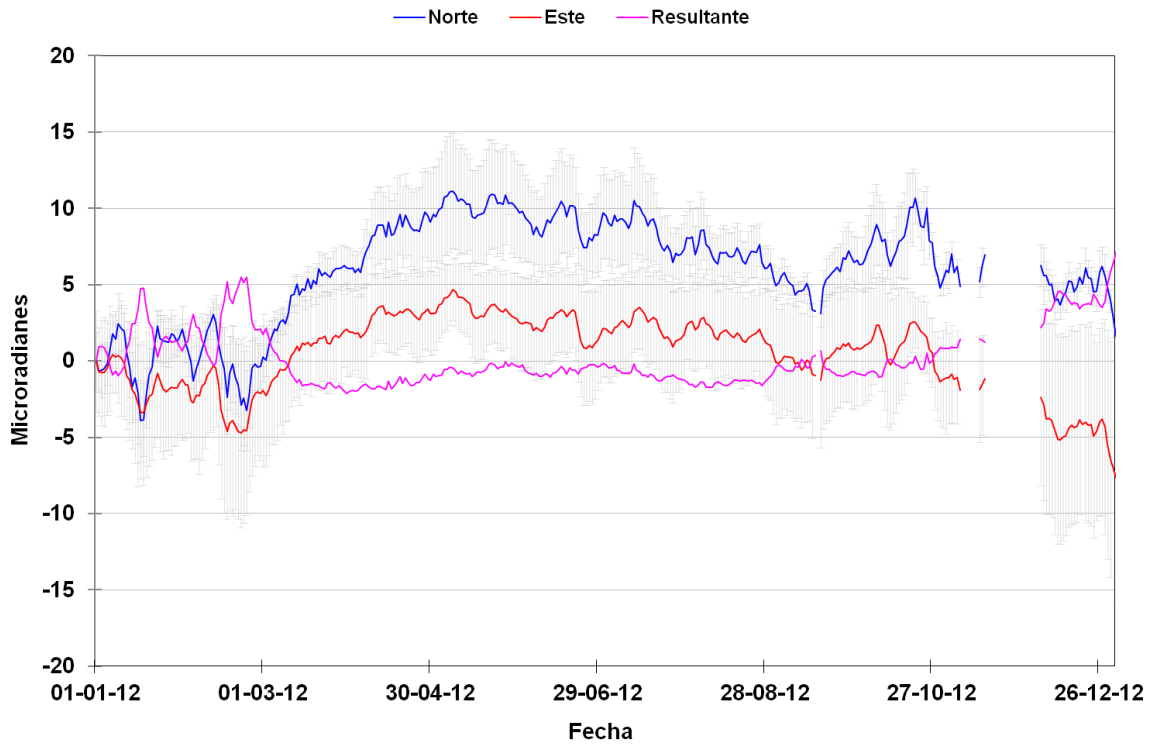
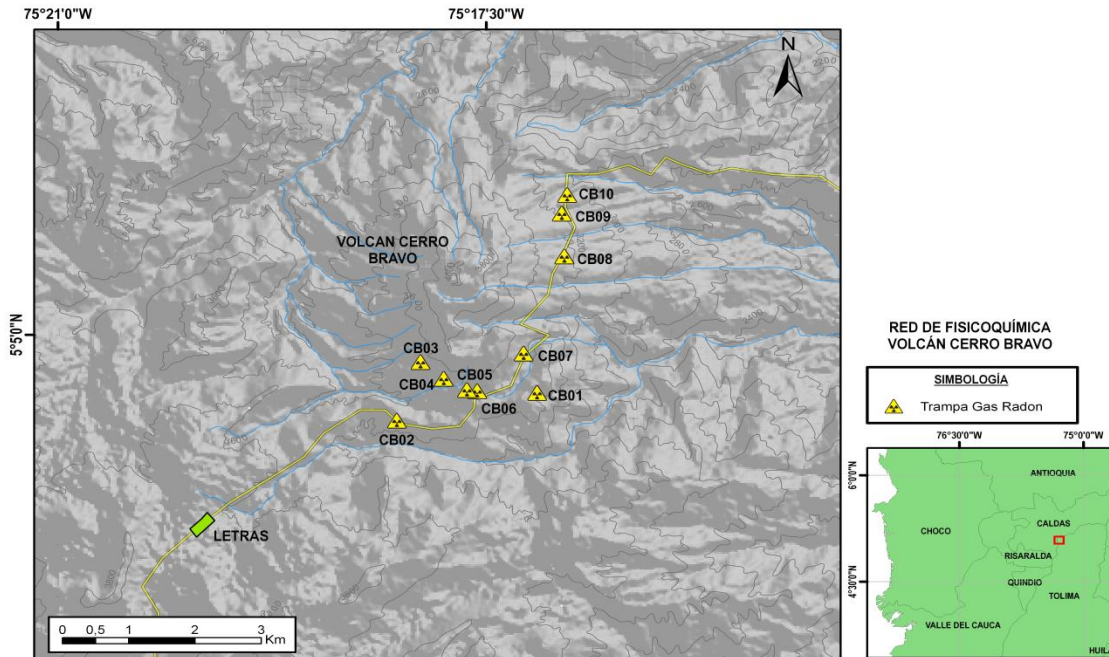


Figura 91. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CBRA Volcán Cerro Bravo, 2012.

## 4.4 GEOQUÍMICA

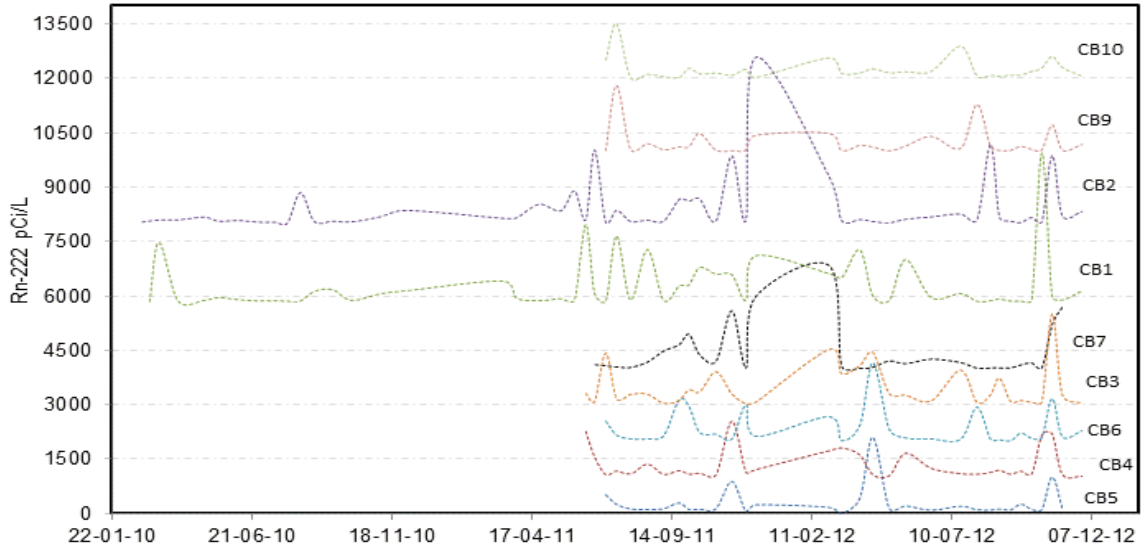
En el mes de Febrero se reinstalaron las 10 estaciones de monitoreo de Gas Radón, en la Figura 92 se aprecia la ubicación de las estaciones en el VCB.



### 4.4.1 Medidas de Gas Radón

Durante el mes de Abril se aprecian pequeños incrementos en las estaciones CB3, CB5 y CB6, en el mes de Julio se aprecian pequeños incrementos en las estaciones CB1, CB2, CB3, CB5 y CB10, en el mes de Agosto se presentaron variaciones en la desgasificación en donde se aprecia incremento en las estaciones CERRO BRAVO 2, CERRO BRAVO 3 Y CERRO BRAVO 4; las estaciones CERRO BRAVO 6, CERRO BRAVO 7 Y CERRO BRAVO 9 registraron disminución en la concentración de gas radón mientras que las estaciones CERRO BRAVO 1, CERRO BRAVO 5 Y CERRO BRAVO 10 mantuvieron concentraciones de gas radón constantes (Figura 93).





**Figura 93.** Variación de los Niveles de Radón en suelo. Volcán Cerro Bravo. 2012.

## **5. VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VPSR)**

### **5.1 RED DE VIGILANCIA**

Durante el año 2012 no se realizaron operaciones de instalación o mantenimiento en este volcán.

### **5.2 SISMOLOGÍA**

En el Paramillo de Santa Rosa a lo largo del año 2012 no se registraron señales sísmicas, ni se reportaron cambios en la actividad de este volcán.

## **6. VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL (VNSI)**

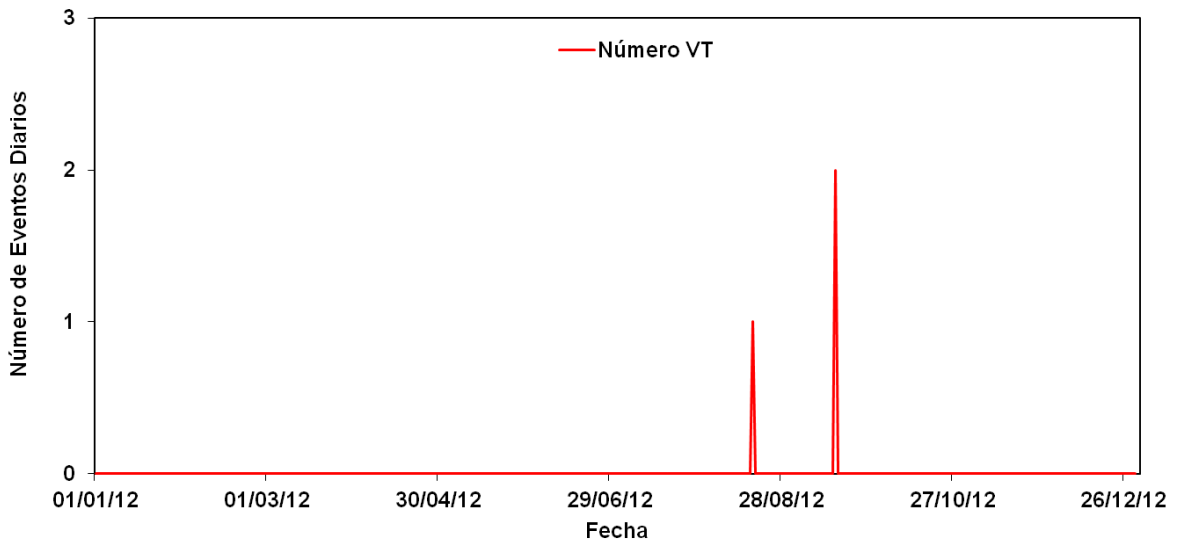
### **6.1 RED DE VIGILANCIA**

El porcentaje de operación para la red de vigilancia telemétrica del OVSM, durante el año 2012 fue **57.9%**.

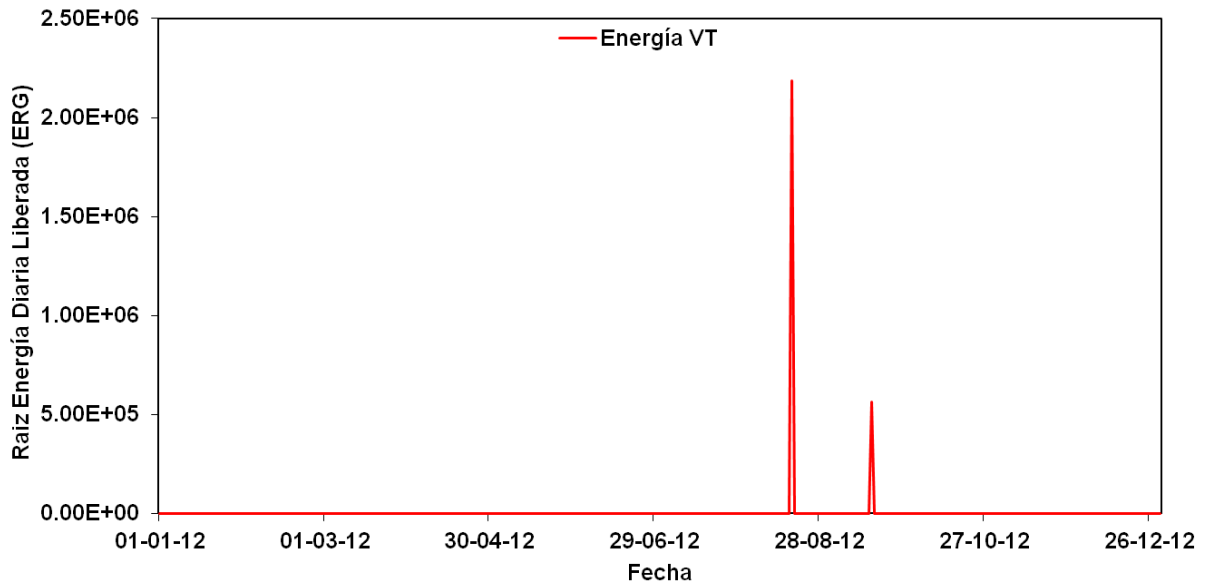
### **6.2 SISMOLOGÍA**

El Volcán Nevado de Santa Isabel, durante el 2012, presentó un nivel bajo de actividad sísmica. Se registraron algunas señales asociadas a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Figura 94 y Figura 95), las cuales se localizaron en los alrededores del edificio volcánico, a profundidades que oscilaron entre 2.0 y 8.0 km (Figura 96). El sismo de mayor magnitud fue registrado el 18 de Agosto a las 04:06 (hora local) con una magnitud coda de 1.49 en la escala de Richter.

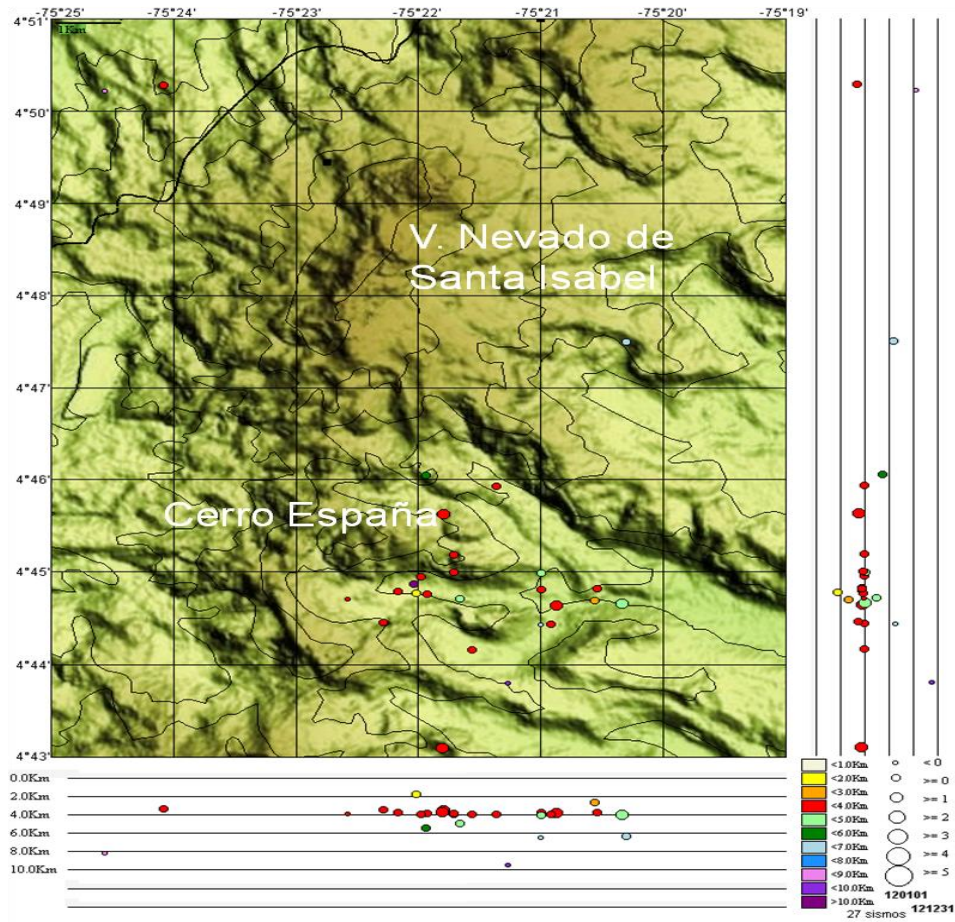
Durante el año se destaca el registro de 42 eventos sísmicos relacionados con fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico, a unos 8 km al suroriente del Volcán Nevado de Santa Isabel, en cercanías al sector conocido como Cerro España, a profundidades que variaron entre 1.8 y 5.0 km. El sismo de mayor magnitud fue registrado el día 8 de Mayo a las 04:16 (Hora Local), con una magnitud de 1.58 en la escala de Richter (Figura 97 y Figura 98).



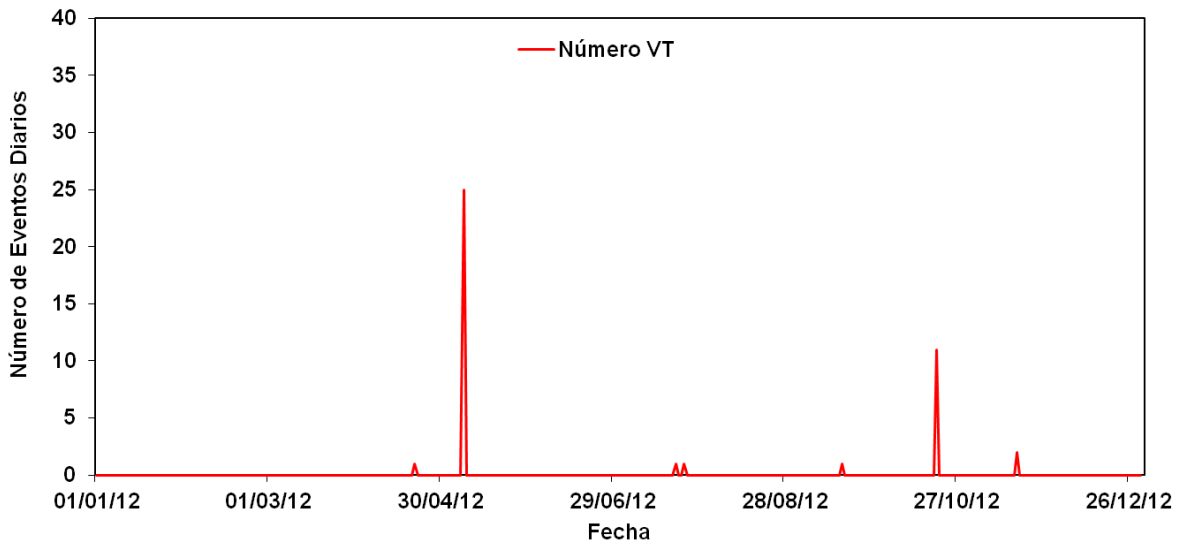
**Figura 94.** Número de Sismos diarios, Volcán Nevado de Santa Isabel, 2012.



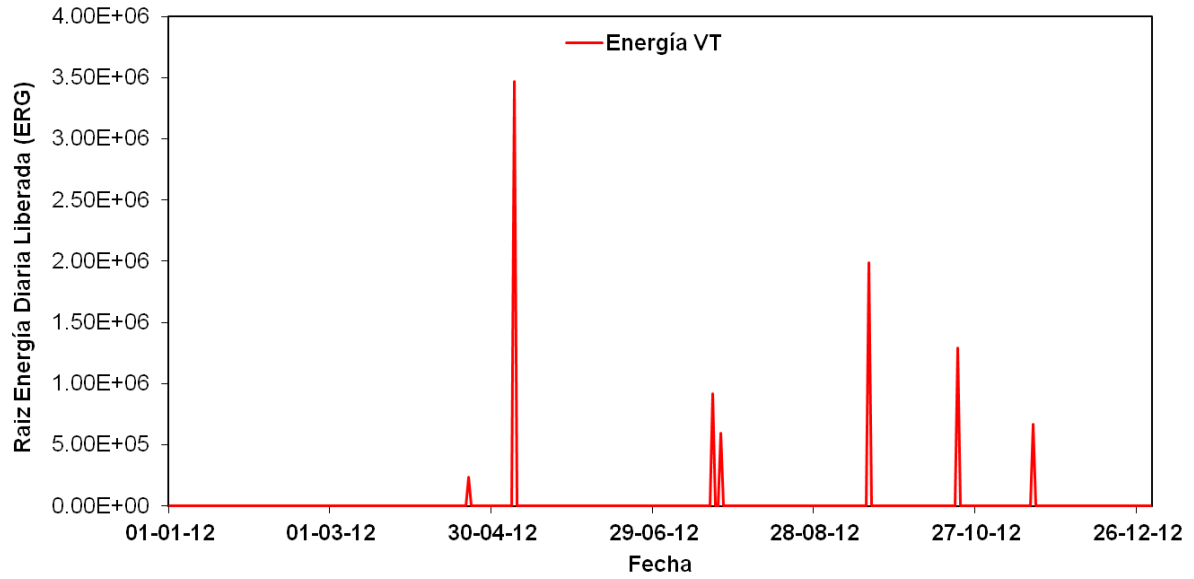
**Figura 95.** Raíz Energía sísmica diaria liberada, Volcán Nevado de Santa Isabel, 2012.



**Figura 96.** Localización hipocentral de sismos VT en el Volcán Nevado de Santa Isabel, 2012.



**Figura 97.** Número de sismos diarios, sector Cerro España, 2012.



**Figura 98.** Raíz Energía sísmica diaria liberada, sector Cerro España, 2012.

### 6.3 DEFORMACIÓN

Durante 2012, se contó con la operación del inclinómetro electrónico CHAV instalado al noroccidente del volcán. La Figura 99 muestra la red de deformación del Volcán Nevado Santa Isabel. El inclinómetro electrónico CHAV no mostró cambios importantes en cuanto a la deformación del edificio volcánico (Figura 100).

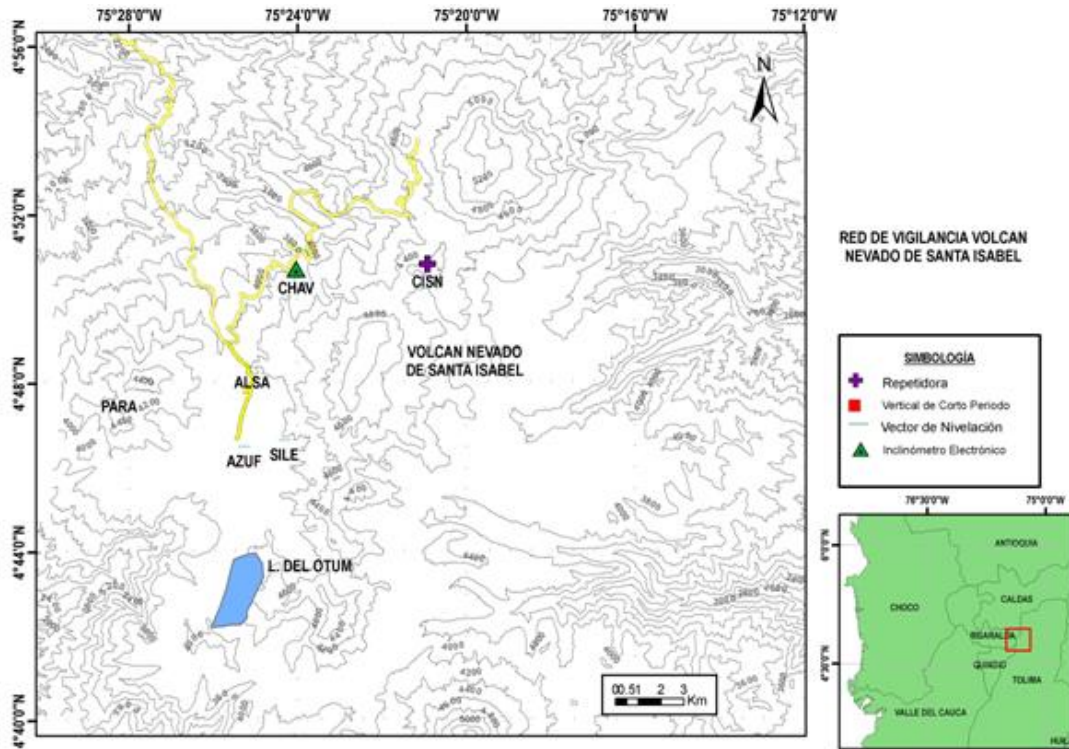


Figura 99. Red de deformación del Volcán Nevado de Santa Isabel.

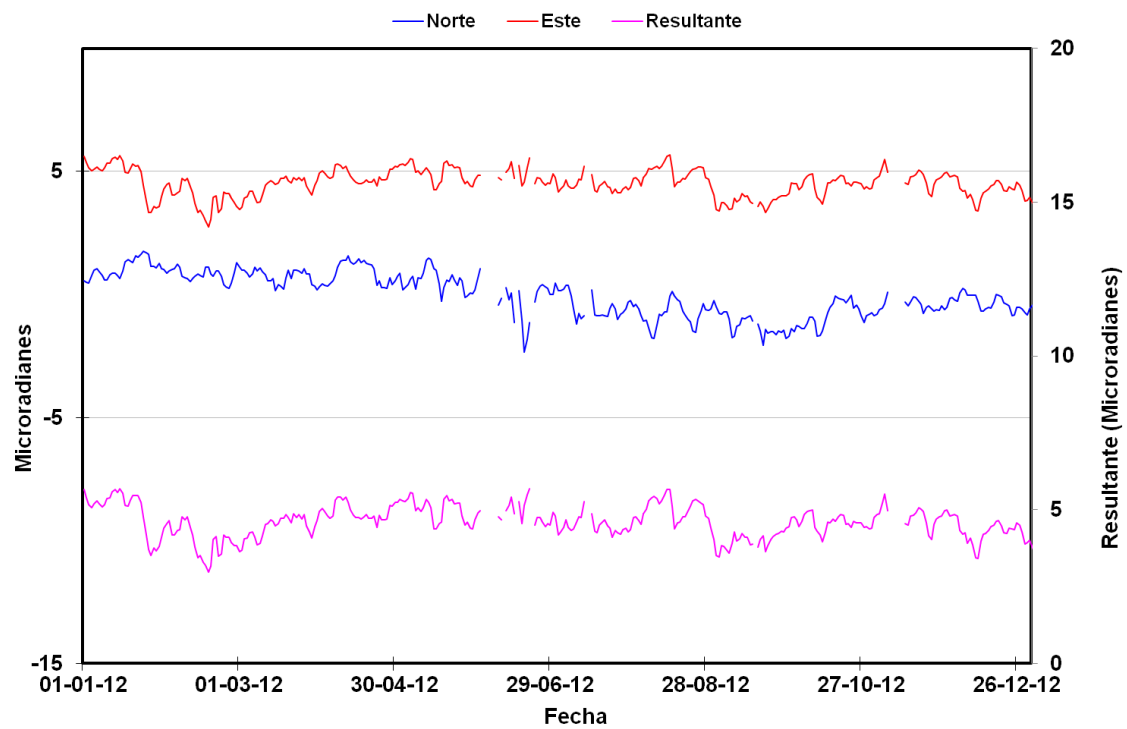


Figura 100. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CHAV Volcán Nevado de Santa Isabel, 2012.

## 7. VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE (VPC)

### 7.1 SISMOLOGÍA

El volcán Paramillo del Cisne presentó un nivel bajo de actividad durante el 2012. Se registraron 20 señales sísmicas asociadas a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Figura 101 y Figura 102), los cuales se localizaron principalmente cerca a la cima, al sur y nororiente de la mismo a profundidades que oscilaron entre 2.0 y 6.0 km (Figura 103). El sismo de mayor magnitud fue registrado el 21 de Marzo a las 12:27 (hora local) con una magnitud de 1.1  $M_L$  (magnitud local).

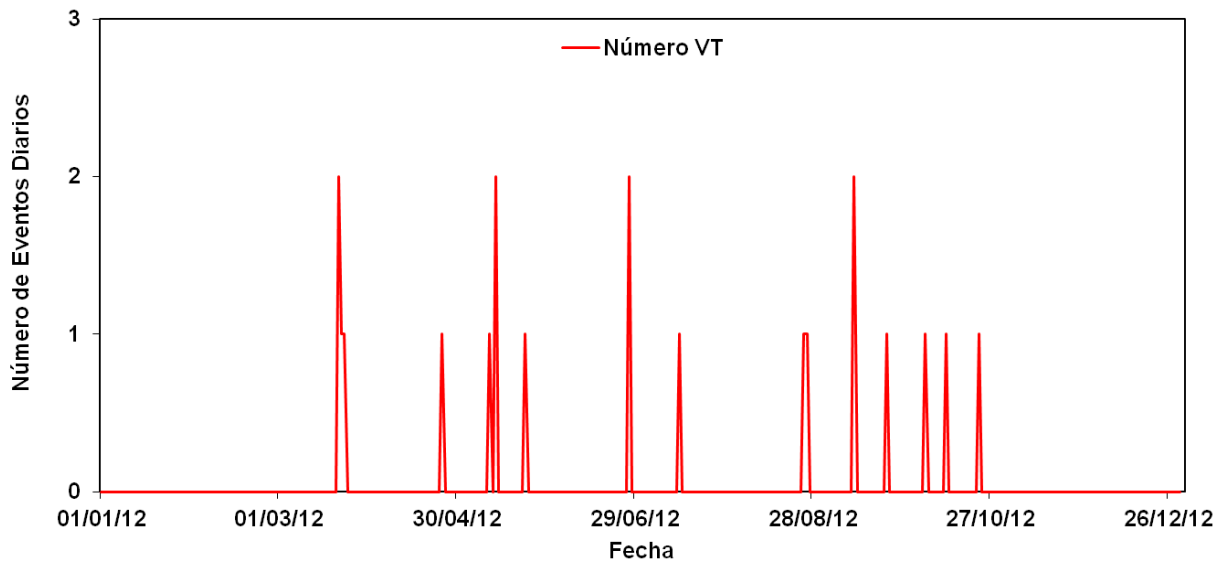


Figura 101. Número de sismos diarios, Paramillo del Cisne, 2012.

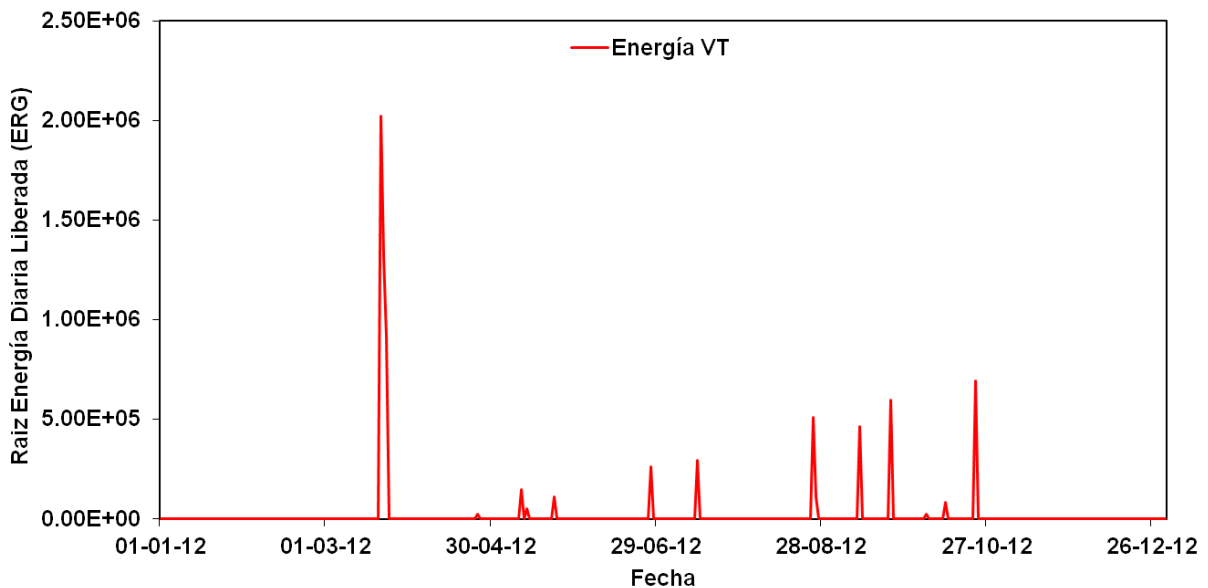
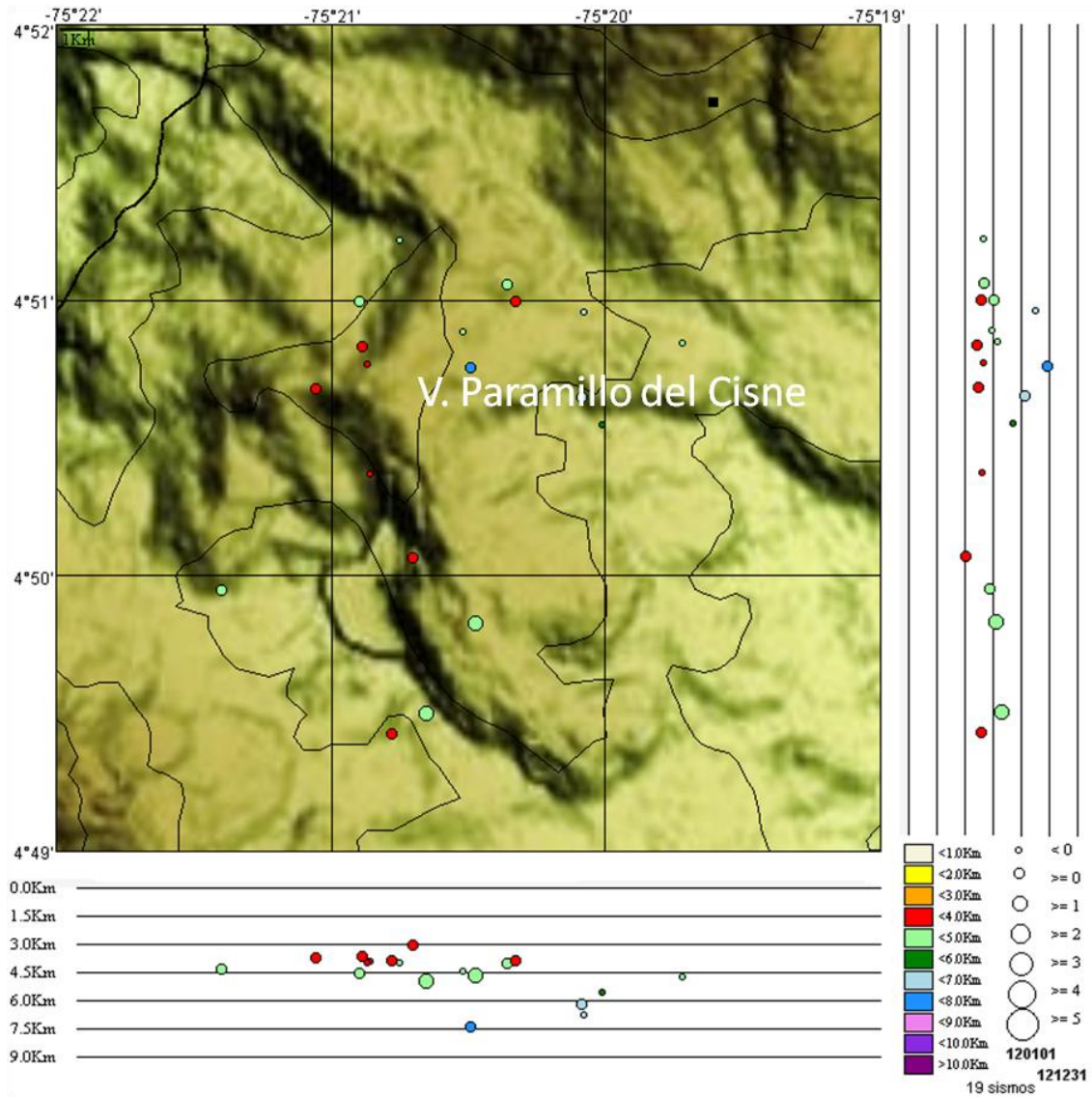


Figura 102. Raíz Energía sísmica diaria liberada, Paramillo del Cisne, 2012.



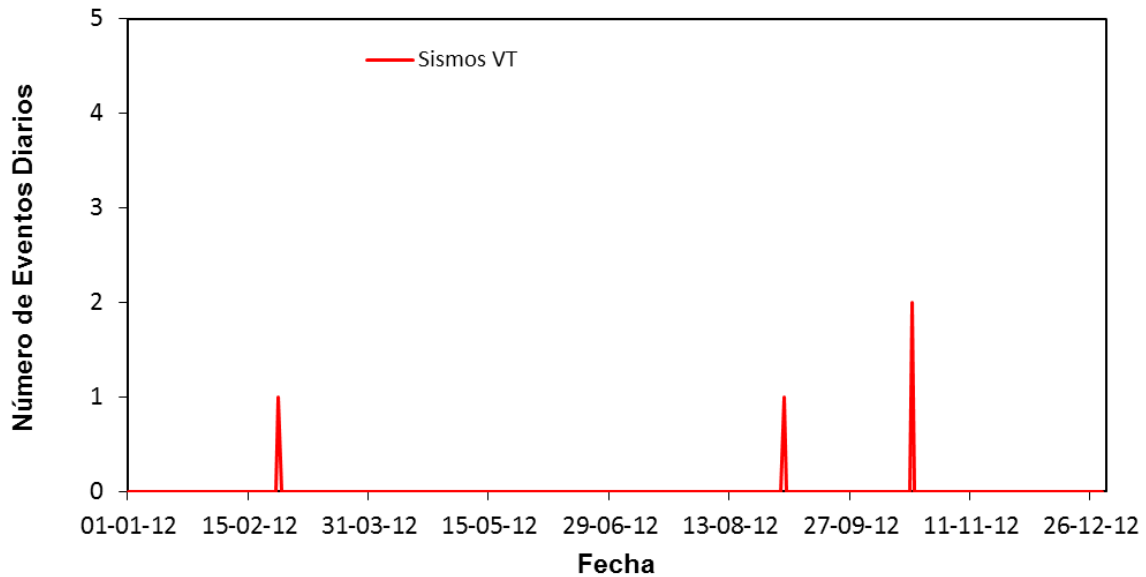
**Figura 103.** Localización hipocentral de sismos VT en el Paramillo del Cisne, 2012.



## 8. PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ)

### 8.1 SISMOLOGÍA

El volcán Paramillo del Quindío presentó un nivel bajo de actividad durante el año 2012. Se registraron 4 señales sísmicas asociadas a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Figura 104 y Figura 105), los cuales se caracterizaron por su bajo nivel energético. El sismo de mayor magnitud fue registrado el 26 de Febrero a las 14:44 (hora local) con una magnitud de 0.4  $M_L$  (magnitud local) a 2.9 km al noroccidente de la cima del Paramillo. La actividad sísmica del Paramillo del Quindío fue localizada alrededor de la cima de la estructura, a profundidades entre 3 y 4 km (Figura 106).



**Figura 104.** Número de sismos diarios, Paramillo del Quindío, 2012.

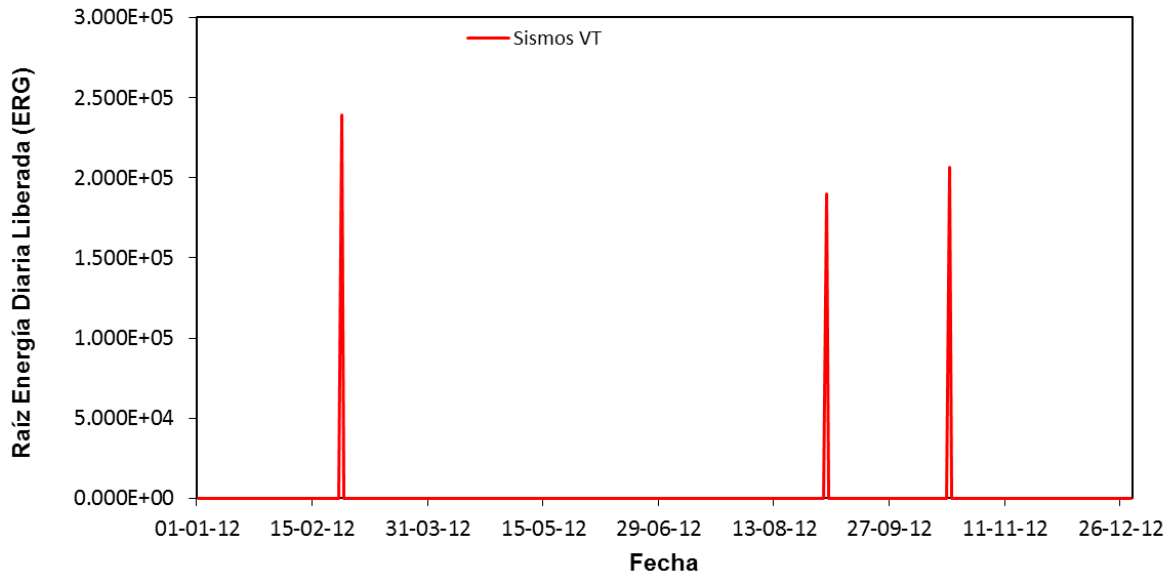


Figura 105. Energía sísmica diaria liberada, Paramillo del Quindío, 2012.

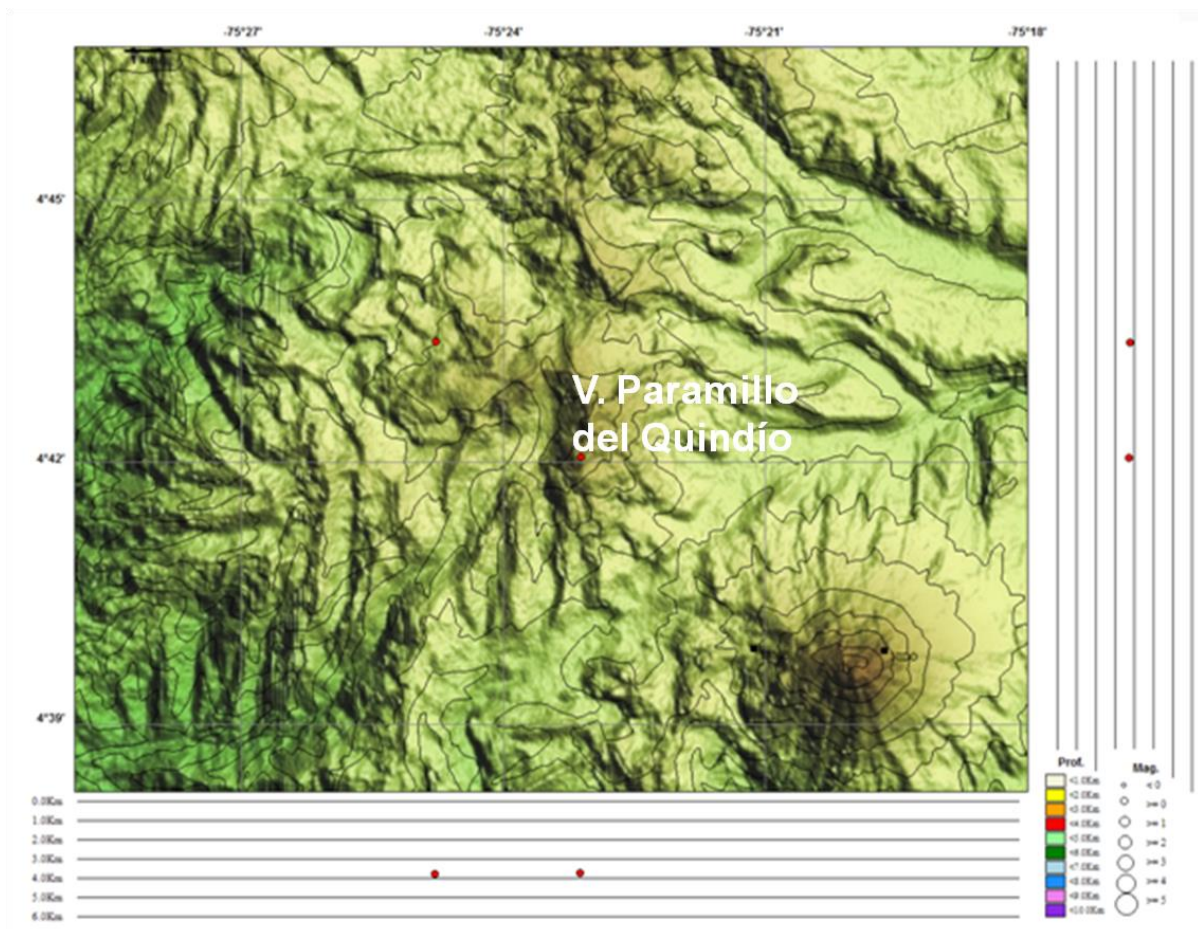


Figura 106. Localización hipocentral de sismos VT en el Paramillo del Quindío, 2012. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas.

## 9. ACTIVIDAD TECTÓNICA

### 9.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia telemétrica de las estaciones regionales SAN JULIÁN, GUYANA, AGUADAS y MARSELLA durante el 2012 fue de **72.3%**.

Se restableció la estación corto periodo AGUADAS ya que el sistema eléctrico presentaba problemas así como MARSELLA Y SAN JULIAN donde el sensor no funcionaba correctamente (Figura 107).



**Figura 107.** Estación Marsella.

### 11.2. SISMOLOGÍA

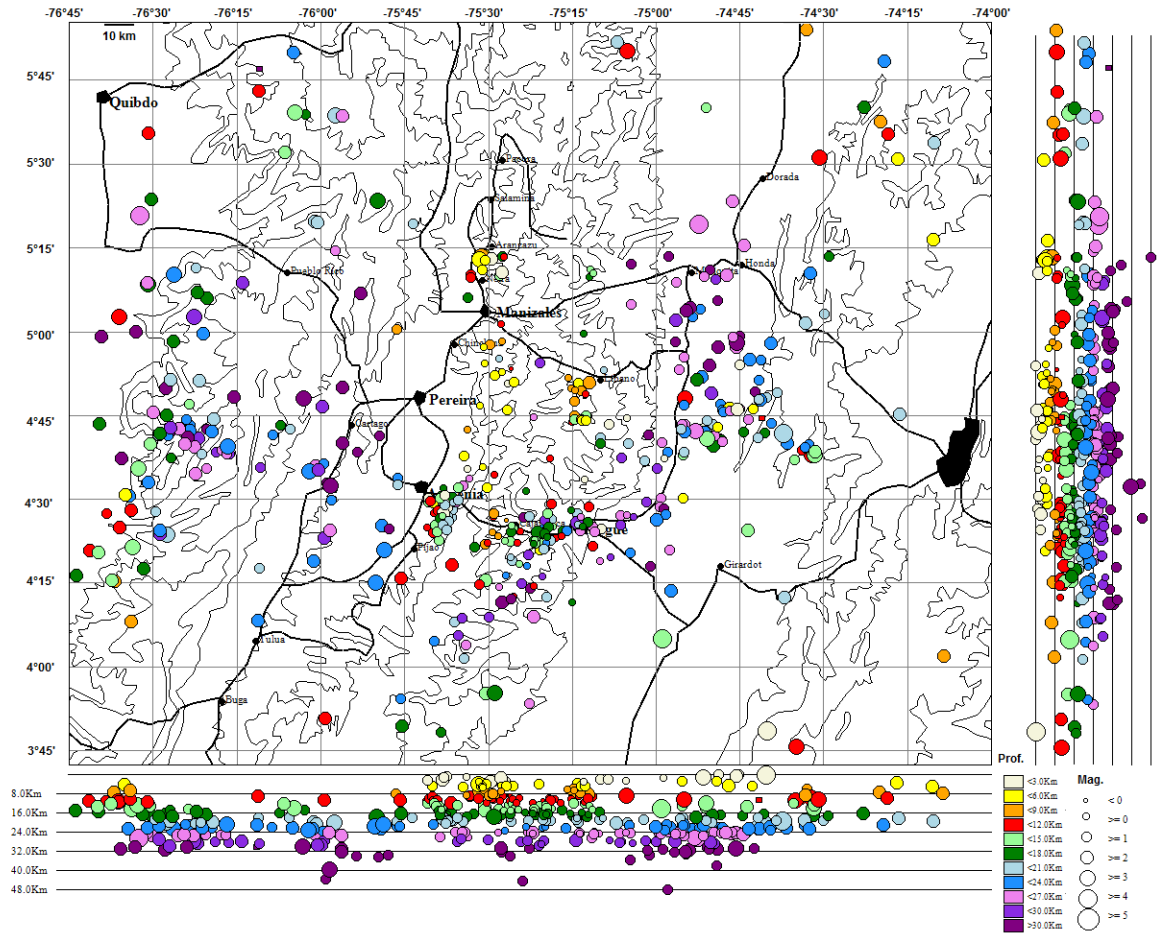
En cuanto a la actividad sísmica tectónica, asociada con fracturas y fallas en la región del Eje Cafetero, durante el 2012 se registraron eventos sísmicos de carácter local, localizados en las fuentes sismogénicas Romeral, Cordillera Occidental, Armenia, Ibagué, Honda-Pulí y Anzoátegui-Alvarado (Figura 108). En la Tabla 5 se presenta un listado de los principales sismos con epicentro en el Eje Cafetero o sentidos en esta región, mes a mes del año 2012.

FECHA	HORA HL	LATITUD	LONGITUD	PROF	MAG	EPICENTRO	SENTIDO EN EL E.C.
17/01/2012	03:01	4.954°	-76.694°	< 30	3.50	Novita (Chocó)	
08/02/2012	04:38	5.373°	-74.872°	< 30	4.10	Victoria (Caldas)	
20/03/2012	07:56	4.336°	-76.892°	< 30	3.00	Sipí (Chocó)	
08/04/2012	01:31	5.209°	-75.567°	< 30	3.11	Neira (Caldas)	
30/05/2012	10:51	4.332°	-75.612°	< 30	2.70	Pijao (Quindío)	
26/06/2012	22:47	3.755°	-76.343°	142.8	4.60	Guacarí (Valle)	
30/07/2012	20:26	4.553°	-75.985°	< 30	4.50	La Victoria (Valle)	SI
22/08/2012	16:18	5.376°	-76.474°	< 30	3.30	Bagadó (Chocó)	SI
30/09/2012	11:31	1.973°	-76.558°	172	6.40	La Vega (Cauca)	SI
30/10/2012	07:18	6.828°	-73.130°	145.3	4.50	Los Santos (Santander)	SI
04/11/2012	12:34	4.703°	-74.615°	< 30	3.4	Quipile (Cundinamarca)	
22/12/2012	09:55	5.219°	-76.273°	40	2.9	San José del Palmar (Chocó)	

**Tabla 5.** Listado de los principales sismos tectónicos en el Eje Cafetero, cada mes del año 2012. Prof. Profundidad en km; Mag. Magnitud local; E.C. Eje Cafetero; HL Hora Local.

**La Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC)** reportó la ocurrencia de sismos de magnitud destacada o sentidos en el territorio colombiano, para un rango de magnitudes entre 0.6 y 4.7  $M_L$ . Un número importante de los sismos más energéticos corresponden a la fuente sísmica conocida como el Nido de Bucaramanga; otras áreas con sismicidad destacada fueron los departamentos de Chocó, Valle del Cauca y Boyacá.

En lo referente a la amenaza por actividad volcánica, es importante mencionar que gran parte del Eje Cafetero está ubicado en una zona donde existen varios volcanes activos, lo que implica que tanto las autoridades, como la comunidad en general, deben estar permanentemente preparados y tener activos los planes de contingencia, ante cualquier incremento de dicha actividad.



**Figura 108.** Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante 2012, localizados por el OVSM.

## CONCLUSIONES

- Durante el año 2012 la actividad sísmica de los volcanes del Segmento Norte de Colombia, CVCBCM mostró niveles bajos, con excepción del Volcán Nevado del Ruiz, el cual mostró cambios importantes en los parámetros de monitoreo, lo cual conllevó en el mes de Mayo al cambio de nivel amarillo (III) a nivel naranja (II) y posteriormente el 30 de Junio donde producto de una nueva emisión de ceniza se cambió de nivel de Naranja (II) a Rojo (I).
- El VNR durante 2012 y en comparación con otros años presentó un importante incremento en la actividad sísmica tipo VT (relacionada con fracturamiento al interior de la estructura volcánica) al igual que actividad sísmica relacionada al movimiento de fluidos al interior de los conductos del volcán, representada en eventos de largo periodo (LP), híbridos (HB), tremor volcánico (TR) en pulsos de tremor continuo de baja energía. Se destacan varias señales sísmicas en el VNR, que estuvieron asociadas a explosiones y emisiones de gases y ceniza, siendo las más importantes, las registradas los días 29 de Mayo y 30 de junio; éstas señales se caracterizaron por tener una energía mayor que los procesos de emisión de cenizas registrados los días 19 de Abril, 10 y 22 de Mayo de 2012 y menor a las emisiones de ceniza de 1986, 1987 y 1988. La magnitud máxima registrada fue de 3.0 ML (magnitud local), correspondiente a un sismo ocurrido el 14 de Julio a las 11:48 (hora local), asociado al fracturamiento de roca al interior del edificio volcánico, localizado al Sur del cráter Arenas a una profundidad de 3.18 km. En general, la actividad tipo VT se localizó predominantemente hacia el Norte, Nororiente, Oriente, Suroriente, Sur, Suroccidente, Occidente del volcán y en el cráter Arenas, a profundidades que variaron entre 0.3 km y 12.5 km.
- En el transcurso del año, se ocurrieron varios incrementos de actividad entre los que se destacan los ocurridos el día 12 de Agosto entre las 12:00 y las 13:00 horas; estos eventos se localizaron al sur del cráter de la Olleta a profundidades entre 2.5 y 6.0 km, con magnitudes menores a 2.0 en la escala de Richter; los días 12, 13 y 17 de Septiembre; los eventos correspondientes a dichos incrementos se localizaron a 3.1 km al nororiente del cráter Arenas a profundidades entre 2 y 8 km, con magnitudes menores a 2.0 en la escala de Richter. Los días 1, 12, 21 y 25 de Octubre; los eventos correspondientes a dichos incrementos se localizaron al nororiente y noroccidente del cráter Arenas a profundidades entre 3 y 6 km y con magnitudes menores a 1.1 en la escala de Richter. Y entre el 4 y el 9 de Noviembre (presentándose mayor cantidad de eventos el día 7 de Noviembre) cuando se contabilizaron 4155 sismos VT, localizados en dos sectores, uno a 5.29 km al norte del cráter Arenas y el segundo a 6.66 km al noroccidente del cráter, a profundidades entre 4 y 8 km, y magnitudes menores a 2.2 en la escala de Richter.
- En general, la columna mostró un color blanco que en ocasiones mostró un evidente cambio a color grisáceo y café, generado por el aumento en las emisiones de ceniza, la columna estuvo deflectada hacia el noroccidente, occidente y suroccidente, en concordancia con el régimen de vientos que imperó en la zona a lo largo del año. La altura máxima observada fue de 8000 m sobre la cima del volcán el día 30 de Junio y, mantuvo una altura promedio durante el año de 850 m.

- El Volcán Cerro Machín, durante 2012, presentó una actividad sísmica caracterizada por el registro de enjambres sísmicos de baja energía. Se resalta la ocurrencia de dos eventos sísmicos con magnitudes locales registradas de 3.9 y 4.6 ML, localizados al suroriente en el sector denominado Tapias. Estos eventos fueron sentidos tanto en la inmediaciones al volcán, como en los municipios de Cajamarca e Ibagué (Tolima) y en algunos municipios del departamento de Quindío, Risaralda y Caldas.
- Durante el 2012 la actividad sísmica de los volcanes Cerro Bravo, Santa Isabel, Nevado del Tolima, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío y Paramillo del Cisne, permaneció en términos generales estable. Se registraron, sismos de baja energía, asociada al fracturamiento de roca y al movimiento de fluidos dentro de los conductos volcánicos.
- Durante el año se destaca el registro de actividad sísmica relacionada con el fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico, a unos 8 km al suroriente del Volcán Nevado de Santa Isabel, en cercanías al sector conocido como Cerro España, a profundidades que variaron entre 1.8 y 5.0 km.
- Se encontraron incrementos significativos en la desgasificación de gas Radón en algunas de las estaciones del Volcán Nevado del Ruiz en los meses de Febrero, Mayo, Julio y Agosto, las estaciones Nereidas, Refugio, Arenal y Olleta no tienen datos de concentración de gas Radón en algunos meses del año debido a que se encuentran ubicadas en el área de amenaza alta del volcán y en Nivel Naranja no es posible tener acceso hacia estas zonas.
- La temperatura de las fuentes termales Hotel T y Aguas Calientes en el año 2012 no presentó variaciones considerables, en cuanto al pH en el mes de Febrero se incrementó para las dos FT, en la fuente termal Hotel T para el mes de Julio se evidencio una disminución en el valor de pH. La conductividad eléctrica de las fuentes termales monitoreadas presentó variaciones importantes, se presentó un incremento importante en la fuente termal Hotel la cual registró un valor de 28,8 mS/cm y Aguas Calientes de 37,4 mS/cm.
- La concentración de Sulfatos presentó incrementos para las dos FT, siendo más fuerte el incremento en Aguas Calientes, en el mes de Mayo se presentaron variaciones en el contenido de sulfatos para las dos fuentes termales, los valores disminuyeron respecto de las medidas de meses anteriores, para el mes de Agosto se registró disminución en el contenido de Cloruros y aumento en el contenido de Sulfatos.
- Los flujos de SO<sub>2</sub> presentaron incrementos importantes, se destaca el flujo máximo registrado el día 26 de abril de 2012 que alcanzó un valor de 30285 Ton/día, este flujo fue registrado por la estación Bruma y ocurrió a las 08:58:37 de la mañana hora local.
- La desgasificación de gas Radón en el Volcán Cerro Machín en el mes de Mayo registró incrementos en sus valores en las estaciones Fuma 1, Las Palmas, San Lorenzo y Aguas Calientes 1, en el mes de Julio se presentaron variaciones en la

concentración de gas Radón en el suelo en la mayoría de estaciones, tales como, Piedras 1, Laguna 1, Lisandro, Violetas, y Anillo.

- La temperatura en las Fuentes Termales Piscina y Estatuas durante el año 2012 se mantuvo en valores estables sin presentar cambios significativos, se resalta en el mes de Octubre un pequeño incremento en el pH en los dos manantiales termales.
- En la fuente termal Piscina se destaca una leve disminución en la concentración de Cloruros en el mes de Octubre, en la fuente termal Estatuas se evidenció variación en el contenido de aniones, especialmente en sulfatos, el contenido de Cloruros presentó disminución.
- Algunas de las estaciones de la red de deformación del VNR mostraron un claro proceso deformativo, localizado en cercanías del cráter Arenas a una profundidad menor de 2 km, la cual estuvo claramente relacionada con la actividad mostrada por el Volcán durante el 2012.
- Los inclinómetros electrónicos de la red de deformación del VCM mantienen en general estabilidad, a excepción del inclinómetro electrónico CIMA ubicado en el domo principal, el cual viene presentando algunos cambios acumulados en la resultante de las componentes N y E del orden de 104  $\mu$ rad.
- Las estaciones GPS instaladas en los volcanes NR y CM operaron de manera óptima y los datos recolectados presentan buena calidad, mostrando buena correlación con los procesos deformativos mostrados en el Volcán Nevado del Ruiz.
- Los inclinómetros electrónicos instalados en los volcanes Cerro Bravo, Nevado de Santa Isabel y Tolima, no registraron cambios importantes, lo cual indica que no están ocurriendo procesos deformativos importantes en estas estructuras.
- Durante el 2012 se amplió de manera importante la red de monitoreo de la deformación volcánica del Volcán Nevado del Ruiz, con la instalación de dos estaciones GPS permanentes en los flancos Norte y Sur de la estructura volcánica, en los sectores de RUBI y en cercanías del Glacial SinNombre.
- Durante el 2012, fueron ocupadas las bases EDM (Medición Electrónica de Distancias) REFUGIO y OLLETA, en el Volcán Nevado del Ruiz, las cuales mostraron cambios, en correlación con las demás técnicas de deformación utilizadas.
- Para el 2013, se tiene planeado la ampliación de la red de monitoreo de la deformación, en los volcanes Nevado del Ruiz y el Volcán Cerro Machín. con la instalación de estaciones de GPS de campaña, las cuales complementaran las redes actuales.