





**OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
DE MANIZALES**

**INFORME DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA SEGMENTO NORTE DE COLOMBIA  
COMPLEJO VOLCÁNICO (CERRO BRAVO-CERRO MACHÍN)  
2013**

## RESUMEN

La actividad del segmento volcánico norte de Colombia - Complejo Volcánico Cerro Bravo Cerro Machín (CVCBCM) durante el año 2013 mantuvo niveles bajos, con excepción del Volcán Nevado del Ruiz, el cual presentó una importante actividad sísmica de fractura, mostrando un incremento con respecto al año 2012. Dicha sismicidad estuvo localizada en el sector norte, noroccidental y nororiental del edificio volcánico a profundidades que oscilaron entre 0.5 y 9.0 km, con magnitudes que alcanzaron 4.4  $M_L$  (magnitud local). Este tipo de sismicidad volcano-tectónica (interacción de la actividad del volcán y fallas geológicas en la zona del volcán) es normal dentro del nivel de actividad en el que se encuentra el sistema volcánico actualmente. Adicionalmente se registró actividad sísmica generada por el movimiento de fluidos dentro de conductos volcánicos como sismos de largo periodo y pulsos de temblor volcánico de baja energía, mostrando una disminución con relación al año inmediatamente anterior. El Volcán Cerro Machín presentó un nivel bajo de actividad sísmica, con sismos asociados a fracturamiento de roca, cuya máxima magnitud registrada fue de 2.9  $M_L$ . El resto de volcanes monitoreados no presentaron variaciones importantes.

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 los volcanes Nevado del Ruiz y 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, y Paramillo del Quindío, San Diego, Paramillo de Santa Rosa y Romeral.

## 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>5</b>
1.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT)	8
1.2.2 Sismos de largo período (LP)	11
1.2.3 Actividad superficial (la columna de gas y señales sísmicas asociadas a la actividad glacial)	14
<b>1.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>16</b>
<b>1.4 GEOQUÍMICA</b>	<b>22</b>
1.4.1 Emisiones de Gas Radón	23
1.4.2 Fuentes Termales (FT)	25
1.4.3 Gases en Trampas Alcalinas	29
1.4.4 Gases en Botellas de Giggenbach	30
1.4.5 Flujo de SO <sub>2</sub> . Estaciones SCAN DOAS, Mobile DOAS Y AURA/OMI	30
<b>2. VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT)</b>	<b>34</b>
<b>2.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>34</b>
<b>2.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>36</b>
2.2.1 Señales asociadas a la actividad glacial	38
<b>2.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>39</b>
<b>2.4 GEOQUÍMICA</b>	<b>40</b>
2.4.1 Fuentes termales (FT)	40
<b>3. VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM)</b>	<b>41</b>
<b>3.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>41</b>
<b>3.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>43</b>
3.2.1 Sismos volcano-tectónicos	43
<b>3.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>47</b>
<b>3.4 GEOQUÍMICA</b>	<b>51</b>
3.4.1 Medidas de Gas Radón	52
3.4.2 Fuentes Termales (FT)	53
<b>3.5 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS</b>	<b>56</b>
3.5.1 Magnetometría	56
3.5.2 Potencial espontáneo	57
<b>4. VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)</b>	<b>59</b>
<b>4.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>59</b>
<b>4.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>60</b>
<b>4.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>61</b>
<b>4.4 GEOQUÍMICA</b>	<b>63</b>
4.4.1 Medidas de Gas Radón	63
<b>5. VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VPSR)</b>	<b>65</b>
<b>5.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>65</b>
<b>5.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>65</b>
<b>5.3 GEOQUÍMICA</b>	<b>65</b>
<b>6. VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL (VNSI)</b>	<b>73</b>
<b>6.1 RED DE VIGILANCIA</b>	<b>73</b>
<b>6.2 SISMOLOGÍA</b>	<b>73</b>
<b>6.3 DEFORMACIÓN</b>	<b>77</b>
<b>7. VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE (VPC)</b>	<b>79</b>
<b>7.1 SISMOLOGÍA</b>	<b>79</b>
<b>8. PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ)</b>	<b>81</b>
<b>8.1 SISMOLOGÍA</b>	<b>81</b>
<b>9. VOLCÁN SAN DIEGO</b>	<b>83</b>

<b>9.1</b>	<b>RED DE VIGILANCIA</b>	<b>83</b>
<b>9.2.</b>	<b>SISMOLOGÍA</b>	<b>85</b>
<b>10.</b>	<b>VOLCÁN ROMERAL</b>	<b>85</b>
<b>10.1.</b>	<b>RED DE VIGILANCIA</b>	<b>85</b>
<b>10.2.</b>	<b>SISMOLOGÍA</b>	<b>85</b>
<b>11.</b>	<b>ACTIVIDAD TECTÓNICA</b>	<b>85</b>
<b>11.1</b>	<b>RED DE VIGILANCIA</b>	<b>85</b>
<b>11.2.</b>	<b>SISMOLOGÍA</b>	<b>85</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>87</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Red de vigilancia CVCBCM. ....	2
Figura 2. Nuevo repetidor EL CAMION con el nuevo tipo de estructuras de paneles solares. ....	3
Figura 3. Nuevos sistemas de adquisición analógica. ....	4
Figura 4. Nuevas estaciones, repetidora EL CISNE y MAGNETOMETRO GUALI. ....	4
Figura 5. Nueva estación ACUSTICO RUBI. ....	5
Figura 6. Red de vigilancia Sismológica, Volcán Nevado del Ruiz. ....	6
Figura 7. Número de sismos diarios registrados en el Volcán Nevado del Ruiz en el año 2013. El recuadro interior muestra la sismicidad diaria de tipo VT, LP e HB para el período 2010-2013.7	
Figura 8. Raíz de la energía sísmica diaria liberada, Volcán Nevado del Ruiz, en el año 2013. El recuadro interior muestra la raíz de la energía sísmica diaria liberada por eventos tipo VT, LP e HB para el período 2010-2013 en el volcán. ....	7
Figura 9. Mapa de localización hipocentral de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores), registrados en el Volcán Nevado del Ruiz, durante el año 2013. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas. Las líneas grises oscuras corresponden a los contornos topográficos, y las líneas negras a las vías de acceso. ....	9
Figura 10. Sismograma representativo del incremento de actividad del Volcán Nevado del Ruiz ocurrido el 06 de Octubre de 2013 en la fuente Nororiental. Este sismograma corresponde a 14 horas de registro ente las 10:00 y las 23:00 (hora local) en la componente vertical de la estación Olleta. El color de los círculos indica el tipo de evento, en rojo los VT, en amarillo los LP, en blanco los hielos y en azul los sismos de origen tectónico local. La estrella amarilla señala el inicio del sismo de mayor magnitud del año. 4.4 $M_L$ .....	10
Figura 11. Eventos de tipo LP registrados en el VNR, forma de onda y espectrograma. a) Sismo de mayor desplazamiento reducido en el año 2013 ( $8 \text{ cm}^2$ ); b) sismo de mayor duración (64 s) y c) sismo de recarga magmática (Nótese las bajas frecuencias). Las formas de onda corresponden al registro de la componente vertical de la estación Olleta. ....	12
Figura 12. Períodos de los sismos LP registrados durante el año 2013, en el Volcán Nevado del Ruiz.....	13
Figura 13. Mapa de localización epicentral de sismos de largo periodo (Tipo LP e HB) en el Volcán Nevado del Ruiz, durante el año 2013, (cuadros rojos). Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas. Las líneas gris claro corresponden a los contornos topográficos, y las líneas gris oscuro a las vías de acceso. ....	14
Figura 14. Altura de gases y ceniza observada de Enero a Diciembre de 2013 a partir de apreciaciones visuales desde el OVSM y de las cámaras instaladas en el área del volcán. ..	15
Figura 15. Columna de gas y ceniza en el Volcán Nevado del Ruiz. Estas fotografías fueron capturadas el 16 de Enero, 08 de Marzo, 20 de Abril, 27 de Mayo, 02 de Octubre y 23 de Noviembre por las cámaras web que monitorean la actividad superficial del volcán. ....	16
Figura 16. Red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz. ....	17
Figura 17. Elipses de error asociadas al post-procesamiento GPSD en el VNR. ....	18
Figura 18. Serie de Tiempo, GPS Gualí a partir de procesamiento diferencial con el software T4dControl. ....	18
Figura 19. Serie de Tiempo, GPS Gualí a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. ....	19
Figura 20. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) de los	

inclinómetros electrónicos GUAL, AZUF, BIS, LISA, MOLI, NERE, RECI y REFU de la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz desde Enero de 2012 hasta Diciembre de 2013. ...	20
Figura 21. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul), Este (E) (Rojo) y Resultante (Magenta) de los inclinómetros electrónicos Azufrado (a), LISA (b), GUAL (c), RECI (d), REFU (e), de la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz desde Enero de 2012 hasta Diciembre de 2013.....	21
Figura 22. Ocupaciones de la Base EDM Refugio. Durante el 2013, VNR. ....	22
Figura 23. Red Geoquímica del Volcán Nevado del Ruiz en el año 2013. ....	23
Figura 24. Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones: GUALÍ, RIO GUALI, CAJONES, HOTEL T, REFUGIO, NEREIDAS, ARENAL Y OLLETA. Volcán Nevado del Ruiz. 2013.....	24
Figura 25. Variación de los niveles de Radón en suelo de las estaciones telemétricas: GUALÍ, ALFOMBRALES Y AZUFRADO. Volcán Nevado del Ruiz. 2013.....	25
Figura 26. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: HOTEL y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2013. ....	26
Figura 27. Variación del pH en Fuentes Termales: HOTEL T y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2013. ....	26
Figura 28. Variación de la conductividad eléctrica en Fuentes Termales: HOTEL T y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2013. ....	27
Figura 29. Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales: HOTEL, y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2013.....	28
Figura 30. Variación en las relaciones de Gases: CO <sub>2</sub> , HCl y SO <sub>2</sub> en Trampas Alcalinas:.....	30
Figura 31. Estaciones SCAN DOAS: a) ALFOMBRALES, b) BRUMA. ....	31
Figura 32. Emisión de SO <sub>2</sub> estaciones SCAN DOAS: BRUMA Y ALFOMBRALES.....	31
Figura 33. Acumulado de SO <sub>2</sub> estaciones SCAN DOAS: BRUMA Y ALFOMBRALES. ....	32
Figura 34. Emisión aparente de SO <sub>2</sub> . Satélite AURA/OMI.....	34
Figura 35. Nuevas estaciones, LAS MARIAS y repetidor LAS PERLAS.....	35
Figura 36. Estaciones NIDO DE AGUILA y ESMERALDA. ....	35
Figura 37. Red de vigilancia sísmica, Volcán Nevado del Tolima. ....	36
Figura 38. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Nevado del Tolima, Diciembre de 2013. ....	37
Figura 39. Energía diaria liberada en el Volcán Nevado del Tolima, Diciembre de 2013.....	37
Figura 40. Mapa de localización hipocentral sismos volcano-tectónicos (círculos de colores), Volcán Nevado del Tolima, enero a diciembre de 2013. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas.....	38
Figura 41. Red de deformación del Volcán Nevado del Tolima. ....	39
Figura 42. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónicos ESME hasta Diciembre de 2013. ....	40
Figura 43. Estación repetidora CIELO ROTO, caseta y torre nueva, rack de equipos.....	42
Figura 44. Estación repetidora CIELO ROTO, baterías y cableado de RF.....	42
Figura 45. Nuevas estaciones de GPS, SANTA ANA y RODEO. ....	43
Figura 46. Red de Estaciones Sismológicas Volcán Cerro Machín.....	44
Figura 47. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Cerro Machín, 2013.....	44

Figura 48. Energía sísmica diaria liberada por el Volcán Cerro Machín, 2013.....	45
Figura 49. Localización hipocentral de sismos volcano-tectónicos en el Volcán Cerro Machín, año 2013, los cuadrados negros representan las estaciones sismológicas. ....	45
Figura 50. Sismograma representativo del enjambre sísmico del 10 de febrero de 2013. Los círculos rojos indican la clasificación del evento sísmico VT. ....	46
Figura 51. Sismograma representativo del incremento de actividad del Volcán Cerro Machín durante el mes de Junio. Los círculos rojos indican la clasificación del evento sísmico VT. ...	46
Figura 52. Red de deformación del Volcán Cerro Machín. ....	47
Figura 53. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) de los inclinómetros electrónicos AGCA, ANIL, CIMA, LAGU y RODE de la red de deformación del Volcán Cerro Machín hasta Diciembre de 2013. ....	48
Figura 54. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónicos CIMA hasta Diciembre de 2013.....	49
Figura 55. Ocupaciones de la Base EDM ANILLO. Durante el 2013, VCM.....	50
Figura 56. Ocupaciones de la Base EDM LA PALMA. Durante el 2013, VCM. ....	50
Figura 57. Ocupaciones de la Base EDM SAN LORENZO. Durante el 2013, VCM. ....	51
Figura 58. Mapa estaciones Geoquímicas. Volcán Cerro Machín. ....	52
Figura 59. Variación de los niveles de Radón en suelo. Volcán Cerro Machín. 2013. ....	53
Figura 60. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: PISCINA Y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2013. ....	54
Figura 61. Variación del pH en Fuentes Termales: PISCINA Y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2013. ....	54
Figura 62. Variación de la conductividad eléctrica en Fuentes Termales: PISCINA Y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín, 2013. ....	55
Figura 63. Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales: PISCINA Y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2013. ....	56
Figura 64. Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín, a) Estación DOMO, b) Estación AGUAS CALIENTES Enero - Junio de 2013. c) Estación DOMO, d) Estación AGUAS CALIENTES Julio –Diciembre de 2013. ....	57
Figura 65. Valores registrados de potencial espontáneo Enero-Agosto de 2013, en la estación DOMO en el Volcán Cerro Machín. ....	58
Figura 66. Nuevas estaciones de corto periodo, SIBERIA y BRASIL.....	59
Figura 67. Nueva estación banda ancha TORRE. ....	59
Figura 68. Red vigilancia sísmica, Volcán Cerro Bravo. ....	60
Figura 69. Registro sísmico y espectro asociado al sismo de largo periodo de mayor energía durante el mes, registrado el día 15 de Marzo a las 11:52 (hora local). El eje horizontal de la imagen es el tiempo (s) y el eje vertical el desplazamiento reducido (nm/s) y la frecuencia (Hz). ....	61
Figura 70. Red de deformación del Volcán Cerro Bravo. ....	62
Figura 71. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CBRA hasta Diciembre de 2013. ....	62
Figura 72. Red geoquímica Volcán Cerro Bravo.....	63
Figura 73. Variación de los Niveles de Radón en suelo. Estaciones CB7, CB6, CB5, CB4, CB2 y	

CB1. Volcán Cerro Bravo. 2013. ....	64
Figura 74. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: CALDERO, POZO AMOR Y LA CUEVA. Paramillo de Santa Rosa. 2013.....	66
Figura 75. Variación del pH en Fuentes Termales: CALDERO, POZO AMOR Y LA CUEVA. Paramillo de Santa Rosa. 2013.....	67
Figura 76. Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales: CALDERO, POZO AMOR Y LA CUEVA. Paramillo de Santa Rosa, 2013.....	68
Figura 77. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: Santa ELENA P1, SANTA ELENA P2, SANTA ELENA P3 Y SANTA ELENA P4. Paramillo de Santa Rosa. 2013.....	70
Figura 78. Variación del pH en Fuentes Termales: SANTA ELENA P1, SANTA ELENA P2, SANTA ELENA P3 Y SANTA ELENA P4. Paramillo de Santa Rosa. 2013.....	71
Figura 79. Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales: SANTA ELENA P1, SANTA ELENA P2, SANTA ELENA P3 Y SANTA ELENA P4. Paramillo de Santa Rosa. 2013. ....	72
Figura 80. Nueva estación GLACIAR, Volcán Nevado de Santa Isabel. ....	73
Figura 81. Numero de Sismos diarios, Volcán Nevado de Santa Isabel, 2013. ....	74
Figura 82. Raíz Energía sísmica diaria liberada, Volcán Nevado de Santa Isabel, 2013.....	74
Figura 83. Localización hipocentral de sismos VT en el Volcán Nevado de Santa Isabel, 2013. ....	75
Figura 84. Localización hipocentral de sismos VT en el Cerro España, durante el incremento registrado en Noviembre de 2013. ....	76
Figura 85. Raíz Energía sísmica diaria liberada, sector Cerro España, 2013. ....	76
Figura 86. Numero de Sismos diarios, sector Cerro España, 2013.....	77
Figura 87. Red de deformación del Volcán Nevado de Santa Isabel. ....	78
Figura 88. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CHAV hasta Diciembre de 2013. ....	78
Figura 89. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico GLAC hasta Diciembre de 2013. ....	79
Figura 90. Número de sismos diarios, Paramillo del Cisne, 2013. ....	80
Figura 91. Raíz Energía sísmica diaria liberada, Paramillo del Cisne, 2013. ....	80
Figura 92. Localización hipocentral de sismos VT en el Paramillo del Cisne, 2013.....	81
Figura 93. Número de sismos diarios, Paramillo del Quindío, 2013.....	82
Figura 94. Energía sísmica diaria liberada, Paramillo del Quindío, 2013.....	82
Figura 95. Localización hipocentral de sismos VT en el Paramillo del Quindío, 2013. ....	83
Figura 96. Nueva estación SAN DIEGO. ....	84
Figura 97. Nuevas estaciones repetidoras EL MIRADOR y SAMANA, Volcán San Diego .....	84
Figura 98. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante 2013, localizados por el OVSM.....	86



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros Físicoquímicos Fuentes termales BOTERO LONDOÑO, GUALÍ, AGUA BLANCA Y NEREIDAS. Volcán Nevado del Ruiz, 2013. ....	29
Tabla 2. Especies Mayoritarias Fumarola Nereidas. Volcán Nevado del Ruiz. 2013 .....	30
Tabla 3. Flujo Dióxido de Azufre con MobileDOAS. Volcán Nevado del Ruiz, 2013. ....	33
Tabla 4. Parámetros Físicoquímicos, concentración de iones mayoritarios fuentes termales Aquilino, Termal Tibio, Cañón y El Rancho. Volcán Nevado del Tolima. 2013. ....	41
Tabla 5. Clasificación Fuentes Termales POZO AMOR, LA CUEVA Y EL CALDERO. Paramillo de Santa Rosa. 2013. ....	66
Tabla 6. Clasificación Fuentes Termales SANTA ELENA P1, SANTA ELENA P2, SANTA ELENA P3 Y SANTA ELENA P4. Paramillo de Santa Rosa, 2013.....	69

## INTRODUCCIÓN

El Servicio Geológico de Colombia, SGC, a través de la Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, 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 Complejo Volcánico Cerro Bravo - Cerro Machín (CVCBCM). Se vigila permanentemente los volcanes Cerro Bravo, Volcán Nevado del Ruiz, 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 los volcanes pertenecientes al CVCBCM correspondiente al año de 2013. Este informe compila la información obtenida a través de las redes de vigilancia instaladas en los alrededores de los volcanes Cerro Bravo, Nevado del Ruiz, Nevado del Tolima, Cerro Machín, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Cisne, Santa Isabel, Paramillo del Quindío, San Diego y Romeral (Figura 1).

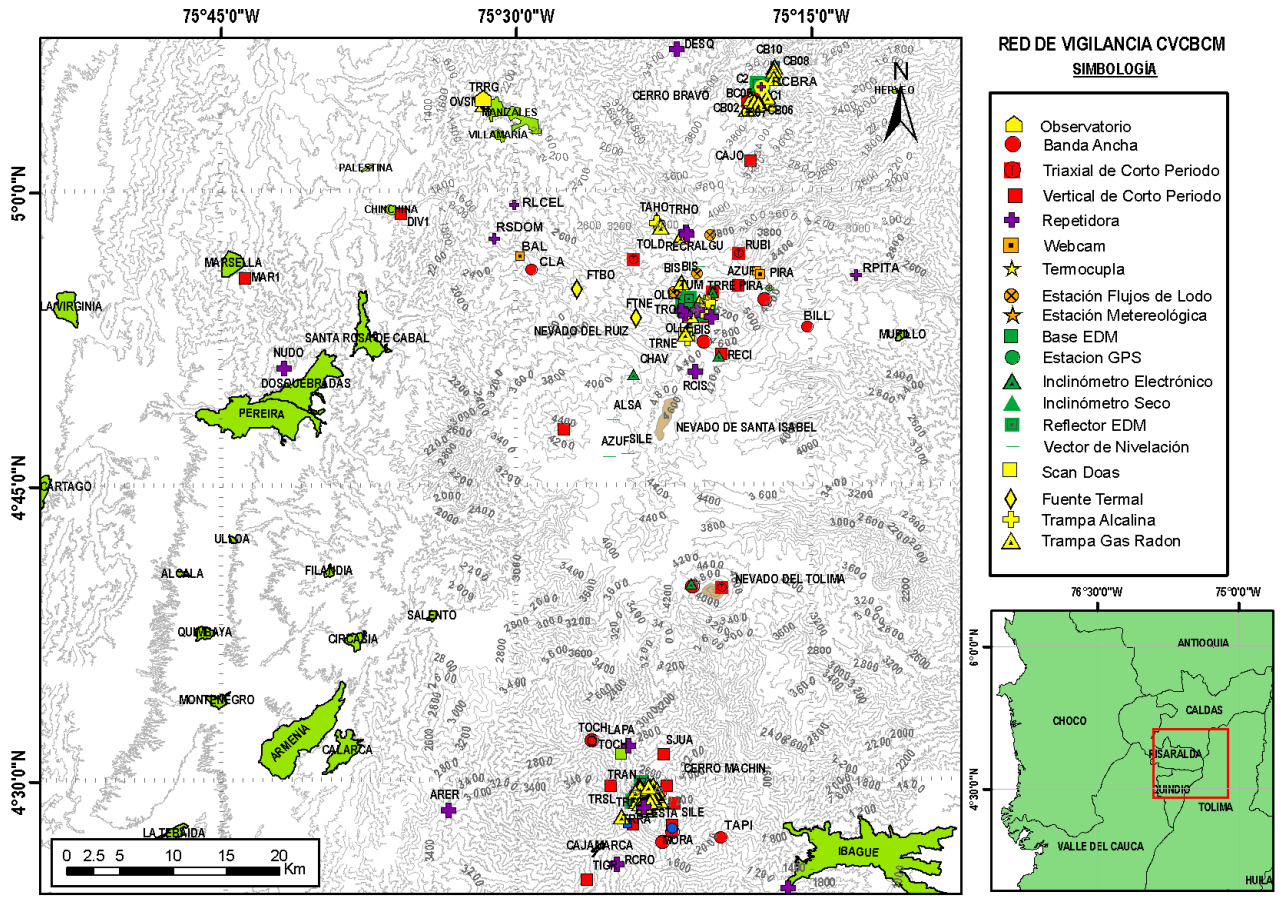


Figura 1. Red de vigilancia CVCBCM.

## 1. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR)

### 1.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red telemétrica para este volcán en el año 2013 fue del **84.8%**.

Durante este año se destacan los trabajos que se realizaron para mejorar la infraestructura de todas las estaciones de monitoreo sobre todo en cuanto a los sistemas de alimentación, ya que se reemplazaron muchas estructuras de paneles solares por unas más robustas y con soporte para inclinaciones graduables, con el fin de mitigar el efecto de la ceniza que se acumula durante una emisión (Figura 2).



Figura 2. Nuevo repetidor EL CAMION con el nuevo tipo de estructuras de paneles solares.

En la parte de los sistemas de recepción, se reemplazaron todos los equipos analógicos de radio y digitalización (Figura 3).

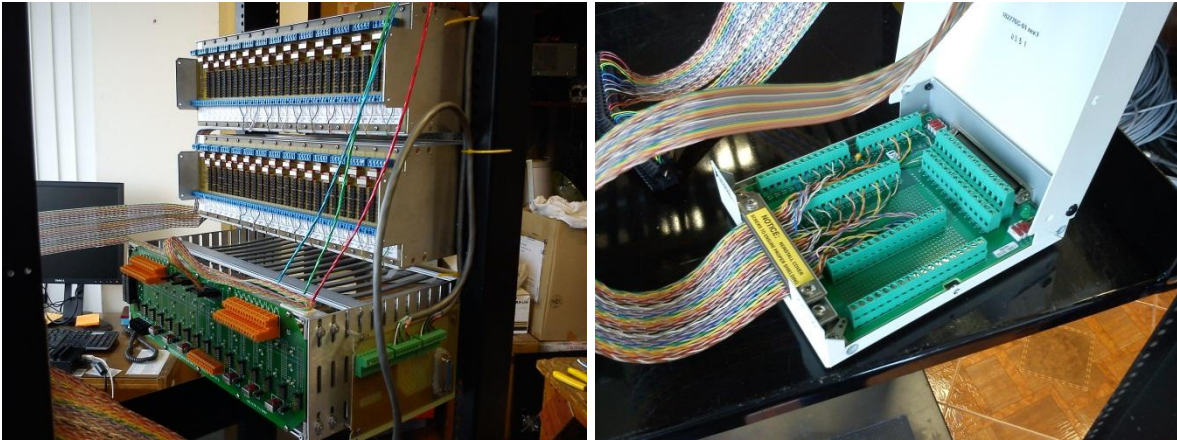


Figura 3. Nuevos sistemas de adquisición analógica.

De igual manera se instalaron sensores de magnetometría (GUALI y ALFOMBRALES), sistemas acústicos (RUBI y CISNE) y un par de repetidores (EL CAMION y EL CISNE) que ayudaron a mejorar la topología de la red de telemetría, la cual ahora cuenta con más rutas hacia Manizales (Figura 4 y Figura 5).



Figura 4. Nuevas estaciones, repetidora EL CISNE y MAGNETOMETRO GUALI.



Figura 5. Nueva estación ACUSTICO RUBI.

## 1.2 SISMOLOGÍA

La red de estaciones sismológicas instalada en el Volcán Nevado del Ruiz (Figura 1Figura 6) registró una intensa actividad sísmica a lo largo del año 2013. La sismicidad del VNR estuvo dominada por la ocurrencia de sismos volcano-tectónicos (VT), asociados al fracturamiento de roca al interior del edificio volcánico (Figura 7 y Figura 8); esta actividad sísmica se localizó principalmente al Norte, Nororiente y Noroccidente del volcán y, en menor proporción al Suroriente, Sur, Occidente y en el cráter Arenas, a profundidades que variaron entre 0.5 km y 9 km. La magnitud máxima registrada fue de 4.4  $M_L$  (magnitud local), correspondiente a un sismo ocurrido el 06 de Octubre a las 12:14 (hora local), localizado al Norte del cráter Arenas a una profundidad de 3.16 km, reportado como sentido en las inmediaciones del volcán.



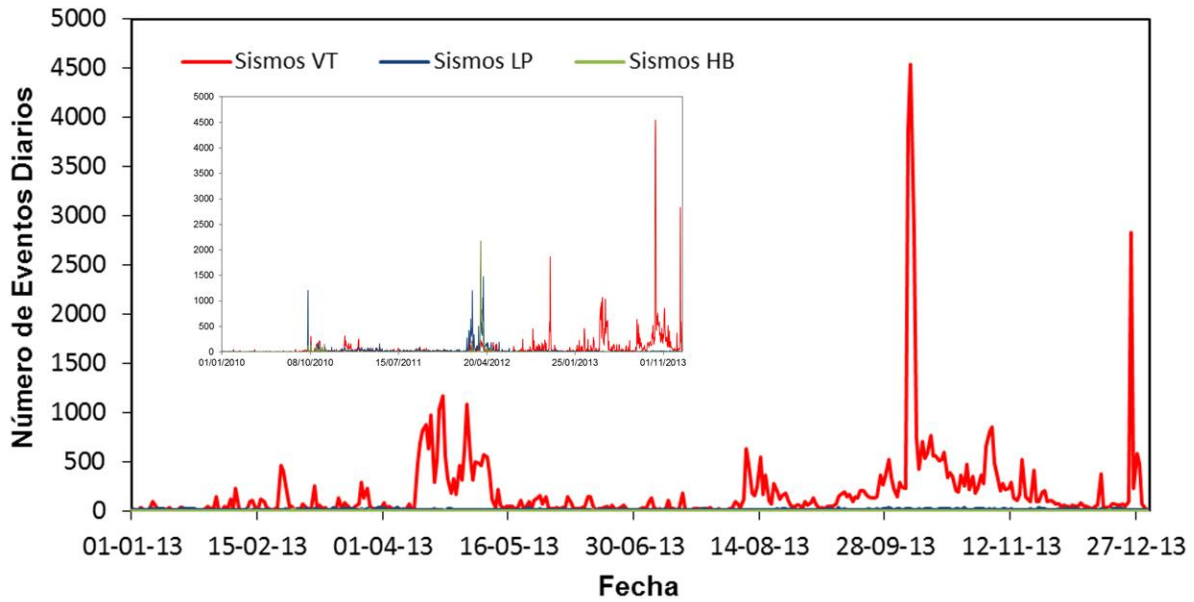


Figura 7. Número de sismos diarios registrados en el Volcán Nevado del Ruiz en el año 2013. El recuadro interior muestra la sismicidad diaria de tipo VT, LP e HB para el período 2010-2013.

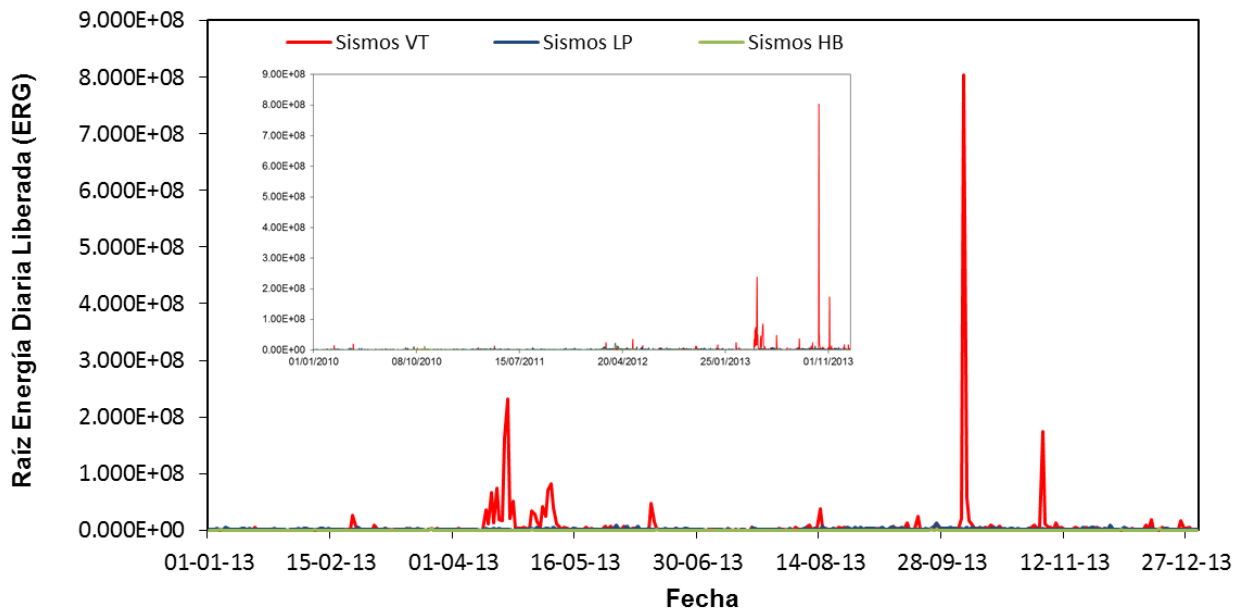


Figura 8. Raíz de la energía sísmica diaria liberada, Volcán Nevado del Ruiz, en el año 2013. El recuadro interior muestra la raíz de la energía sísmica diaria liberada por eventos tipo VT, LP e HB para el período 2010-2013 en el volcán.



### 1.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT)

Durante el año 2013 se registraron 69309 eventos sísmicos relacionados con fracturamiento de roca dentro de la estructura volcánica, mostrando un incremento significativo desde 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 sino también con relación a la energía liberada por estos eventos; 42 sismos VT presentaron magnitudes mayores a 2.5  $M_L$  (magnitud local), y a 3 de ellos se les estimó una magnitud mayor o igual a 4.0  $M_L$ , algunos de estos sismos fueron reportados como sentidos en las inmediaciones del volcán, así como en Manizales y Villamaría (Departamento de Caldas) y en Murillo, Villahermosa, Casabianca y Lérída (Departamento del Tolima). La magnitud máxima registrada fue de 4.4  $M_L$  asociada a un VT registrado el 06 de Octubre de 2013 a las 12:14 (hora local). En general, la actividad tipo VT se localizó predominantemente hacia el Norte, Nororiente, Sur y Suroriente del cráter Arenas a profundidades entre 0.5 km y 9 km (Figura 9); la actividad originada bajo el cráter Arenas fue poco significativa. Otras fuentes importantes que presentaron actividad se localizaron al Sur y al Nororiente del cráter La Olleta a profundidades entre 4 km y 9 km.

A lo largo del año 2013 se registraron varios incrementos de actividad tipo VT, el primero de ellos se presentó entre el 13 de Abril y el 7 de Mayo, con un máximo de 1172 eventos registrados el 22 de Abril; esta actividad se concentró a 6 km al Noroccidente del cráter Arenas a profundidades entre 5 km y 9 km y a partir del 26 de Abril migró hacia el Norte a unos 4 km del cráter a profundidades entre 4 km y 6 km. La mayor magnitud fue de 4.0  $M_L$ , asociada a un sismo ocurrido el 17 de Abril a las 20:45 (hora local) y otro de la misma magnitud el 21 de Abril a las 07:41 (hora local).

El segundo incremento importante en la actividad VT, se registró entre el 9 y el 16 de Agosto, con un máximo diario de 626 eventos ocurridos el 9 de Agosto. Los sismos se concentraron entre 1 y 9 km de profundidad, en tres fuentes, una a 1 km al Nororiente del cráter, y las otras a 3 km y a 4 km al Nororiente del cráter hacia el flanco Norte y Nororiental del valle del río Azufrado respectivamente. El sismo de mayor magnitud (2.8  $M_L$ ) fue registrado el 14 de Agosto a las 08:00 (hora local).

El tercer aumento de actividad, y el de mayor duración en el año 2013, comenzó el 10 de Septiembre y finalizó el 19 de Noviembre de 2013. Durante este incremento se observó el valor máximo del año de sismicidad diaria, con el registro de 4538 eventos el 7 de Octubre, y también el mayor valor de energía diaria liberada, el cual se presentó el 6 de Octubre con la ocurrencia de un sismo de magnitud 4.4  $M_L$  a las 12:14 (hora local), Figura 10. Para este período de tiempo la actividad estuvo concentrada en varias fuentes, al Nororiente del cráter a profundidades entre 3 km y 7 km, al Sur y Suroriente del cráter entre 1 y 5 km de profundidad, al Norte del cráter a profundidades entre 5 y 8 km, y al Suroccidente del cráter Arenas entre 4 y 6 km de profundidad.

El último incremento importante de sismicidad VT, se presentó entre el 25 y el 28 de Diciembre, a 1.5 km al Occidente del cráter La Olleta, entre 5 y 9 km de profundidad, con una magnitud máxima registrada de 2.2  $M_L$ . Es importante mencionar que en este sector del volcán también se registraron leves incrementos durante el año. En particular, al Sur del cráter de La Olleta en Marzo, Mayo y Junio, y al Nororiente en el mes de Noviembre.

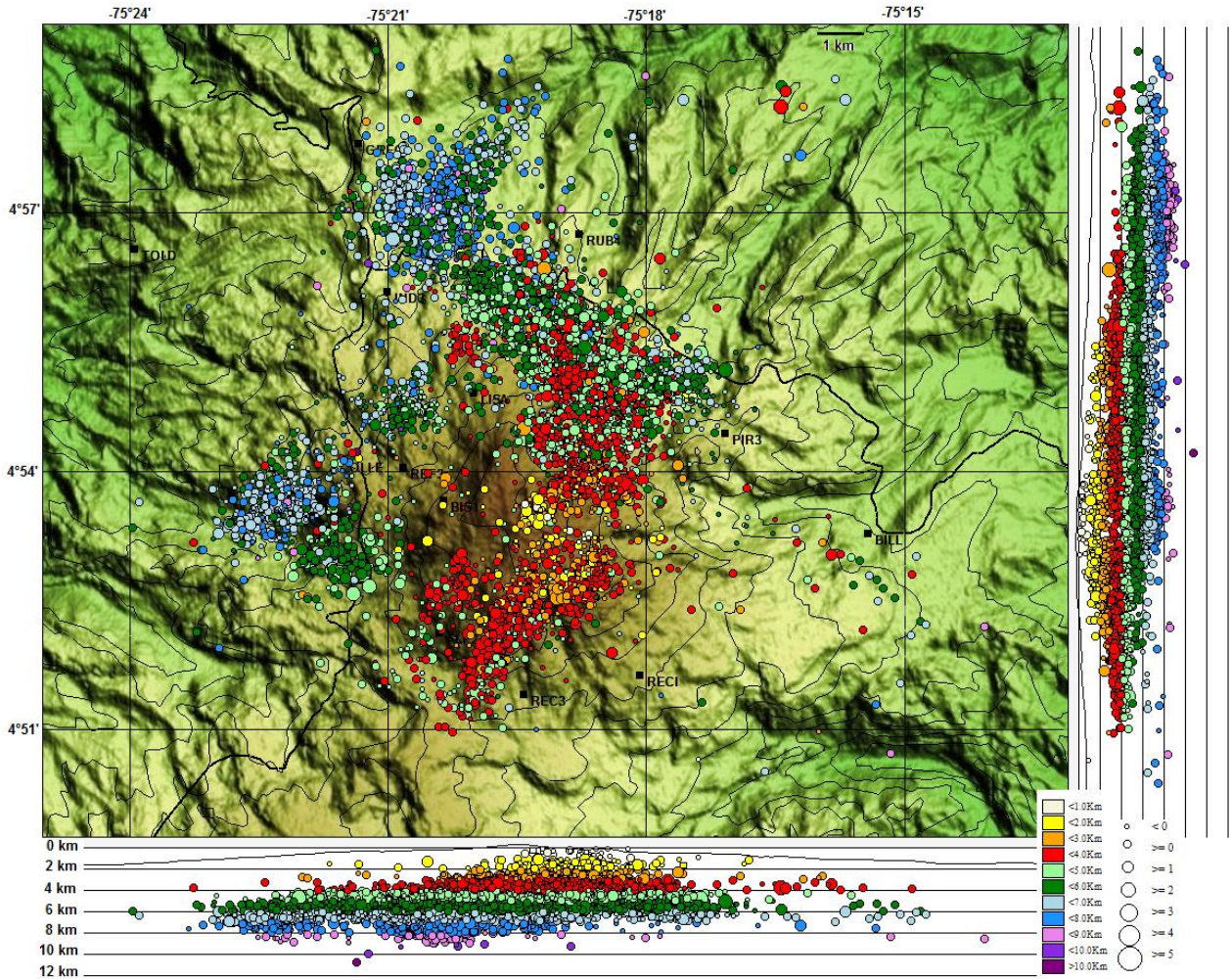


Figura 9. Mapa de localización hipocentral de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores), registrados en el Volcán Nevado del Ruiz, durante el año 2013. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas. Las líneas grises oscuras corresponden a los contornos topográficos, y las líneas negras a las vías de acceso.

Durante los incrementos de Abril-Mayo, Octubre-Noviembre y finales de Diciembre de 2013, 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, la cual estuvo presente a lo largo del año 2012, mostró un notable decrecimiento a lo largo de 2013 respecto al año inmediatamente anterior.

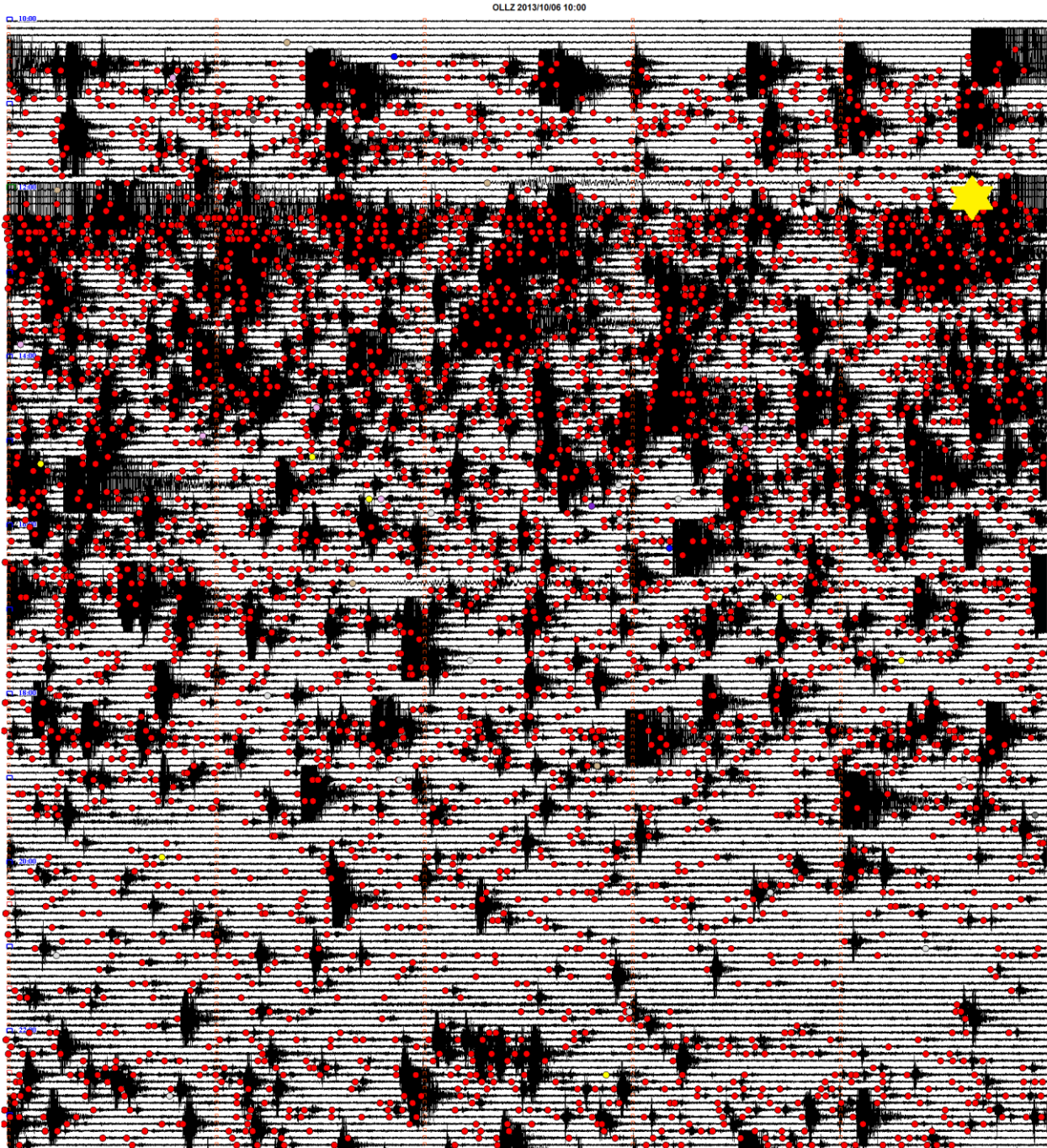


Figura 10. Sismograma representativo del incremento de actividad del Volcán Nevado del Ruiz ocurrido el 06 de Octubre de 2013 en la fuente Nororiental. Este sismograma corresponde a 14 horas de registro entre las 10:00 y las 23:00 (hora local) en la componente vertical de la estación Olleta. El color de los círculos indica el tipo de evento, en rojo los VT, en amarillo los LP, en blanco los hielos y en azul los sismos de origen tectónico local. La estrella amarilla señala el inicio del sismo de mayor magnitud del año. 4.4  $M_L$ .

### 1.2.2 Sismos de largo período (LP)

En el año 2013 se registraron 4201 sismos de largo periodo (LP), relacionados con los cambios de presión al interior de los conductos volcánicos, debido a la dinámica de gases y de fluidos al interior éstos, mostrando una disminución en cuanto al número de señales con relación al año 2012. El máximo desplazamiento reducido alcanzado por eventos tipo LP, se registró el 9 de Octubre a las 21:23, con un desplazamiento reducido de  $8.0 \text{ cm}^2$ ; el promedio anual del desplazamiento fue  $1.7 \text{ cm}^2$  (Figura 11a). El sismo de mayor duración se registró el 26 de Septiembre de 2013 a las 18:33 (hora local), con una duración de 64 s (Figura 11b). Los períodos de estas señales mostraron un promedio de 0.3 s (Figura 12) y no se observaron variaciones significativas en el transcurso del año.

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 y Suroriente del cráter Arenas así como en cercanías del mismo (Figura 13). Las curvas de atenuación de estos sismos indican que todos ellos son de carácter superficial ( $< 2 \text{ km}$ ). Es importante destacar que el 17 de Noviembre a las 08:01 (hora local) se registró un sismo de recarga magmática (Figura 11c) el cual se originó a una profundidad de  $\sim 4 \text{ km}$ , de acuerdo a lo estimado por cruce de ángulos de incidencia obtenidos por polarización de onda.

Se registraron 55 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 Nororiente, Suroriente, Suroccidente del cráter, y en los alrededores del mismo, a profundidades entre 2 y 5 km. Este de tipo de señales mostró un notorio decrecimiento con respecto a lo registrado a lo largo del año 2012.

Durante el año 2013, se registraron dos episodios de tremor continuo, el primero de ellos entre el 8 y el 21 de Marzo, el cual estuvo caracterizado por un desplazamiento reducido promedio de  $0.2 \text{ cm}^2$  y máximo de  $2.35 \text{ cm}^2$  y frecuencias promedio de 1.9 Hz. El segundo episodio ocurrió entre el 21 de Abril y el 29 de Mayo, con frecuencias promedio de 1.3 Hz, y desplazamientos reducidos promedio de  $0.47 \text{ cm}^2$  y máximo de  $3.2 \text{ cm}^2$ . Adicionalmente, se presentaron pequeñas explosiones y pulsos de tremor de bajo nivel energético, con desplazamientos reducidos menores a  $3.6 \text{ cm}^2$ , y frecuencias por debajo de 6 Hz; algunos de estos pulsos estuvieron relacionados con pequeñas emisiones de gases y/o ceniza volcánica como el registrado el 11 de Julio de 2013. El pulso de mayor duración (246 s) fue registrado el 01 de Enero a las 13:48 (hora local).

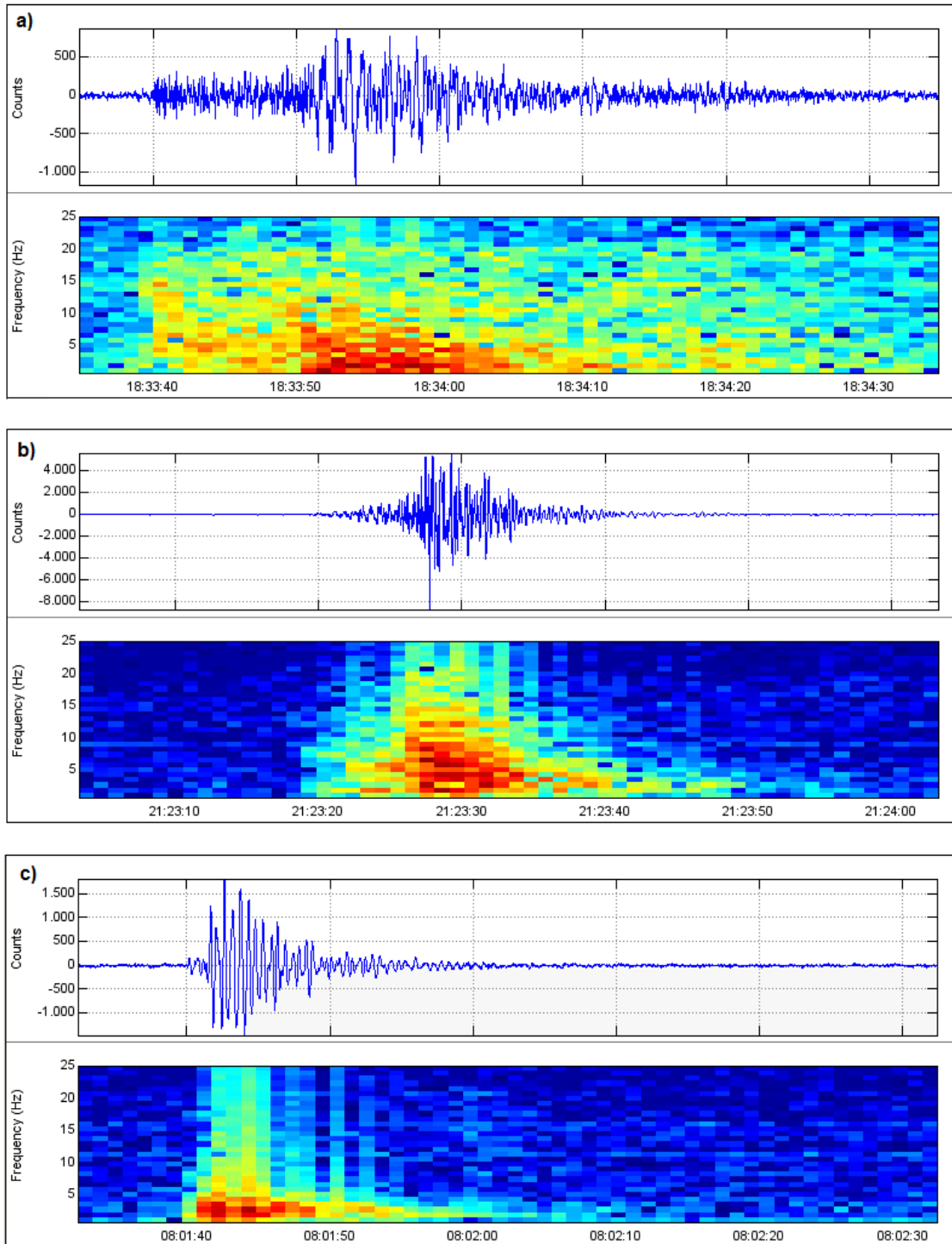


Figura 11. Eventos de tipo LP registrados en el VNR, forma de onda y espectrograma. a) Sismo de mayor desplazamiento reducido en el año 2013 ( $8 \text{ cm}^2$ ); b) sismo de mayor duración (64 s) y c) sismo de recarga magmática (Nótese las bajas frecuencias). Las formas de onda corresponden al registro de la componente vertical de la estación Olleta.

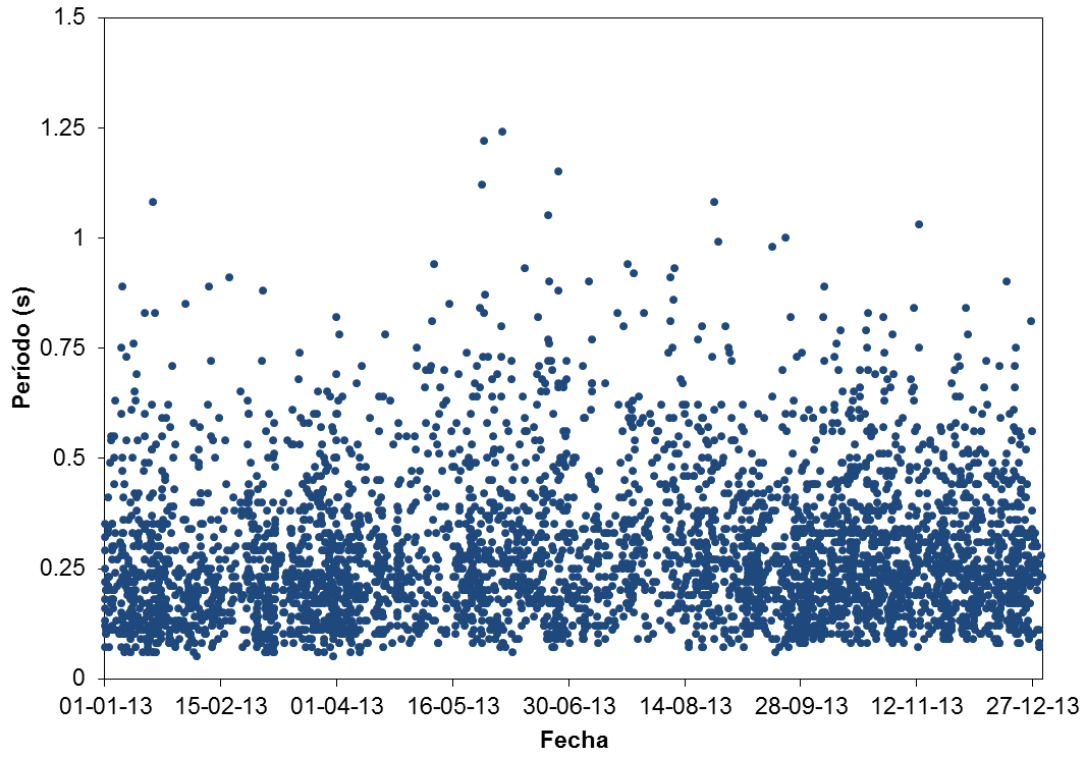


Figura 12. Períodos de los sismos LP registrados durante el año 2013, en el Volcán Nevado del Ruiz.

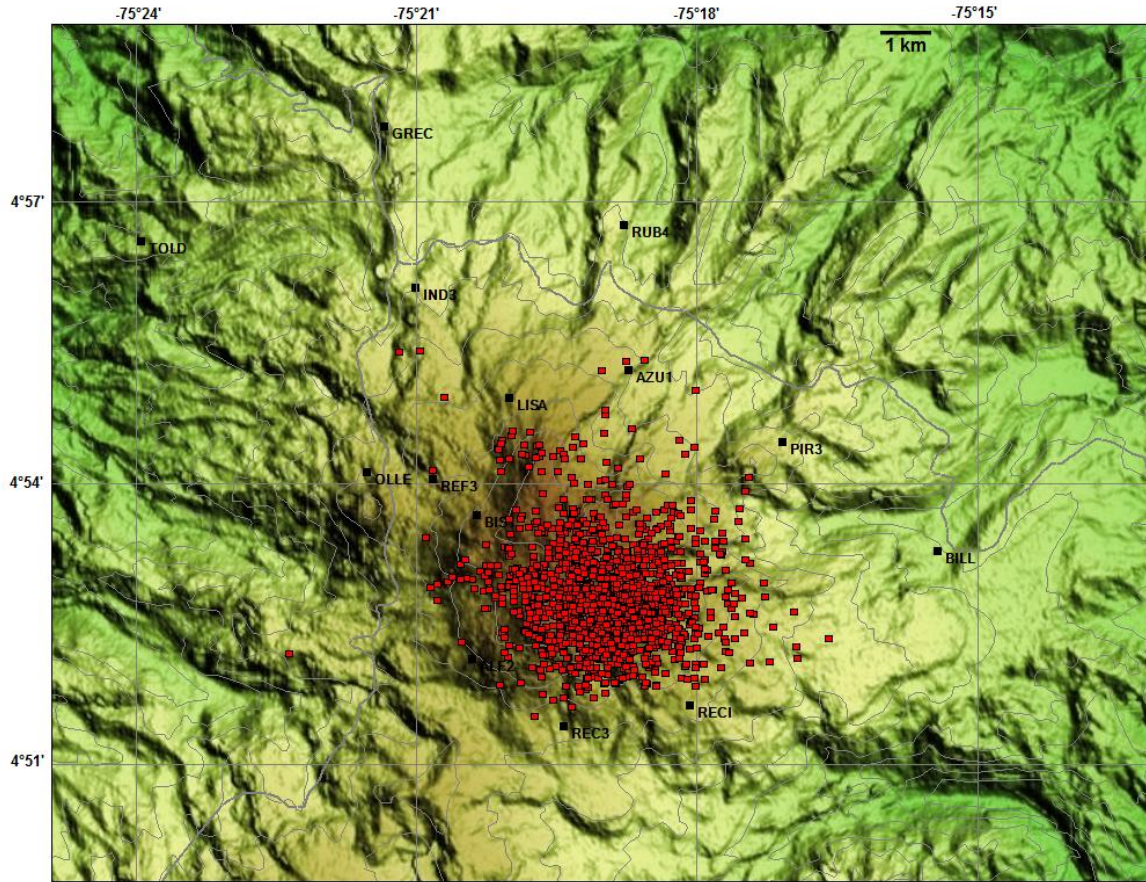


Figura 13. Mapa de localización epicentral de sismos de largo periodo (Tipo LP e HB) en el Volcán Nevado del Ruiz, durante el año 2013, (cuadros rojos). Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas. Las líneas gris claro corresponden a los contornos topográficos, y las líneas gris oscuro a las vías de acceso.

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

Durante el año 2013 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 glaciar. Se diferenciaron a lo largo del año dos periodos de mayor registro de estas señales, el primero de Marzo a Abril, y el segundo de Octubre a Noviembre. En comparación con el año 2012, es notorio un aumento en este tipo de señales en el volcán.

La columna de gases relacionada con actividad fumarólica en el cráter Arenas alcanzó una altura máxima de 3500 m medidos desde la cima del cráter el 02 de Octubre de 2013 y, mantuvo una altura promedio durante el año de 760 m (Figura 14). La dirección preferencial de dispersión de la columna fue hacia el noroccidente, occidente y suroccidente, en concordancia con el régimen de vientos que imperó en la zona a lo largo del año.

En general, la columna de gases presentó un color blanco asociado a vapor de agua y en ocasiones se observaron matices azules debido a las altas concentraciones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), así como tonalidades grisáceas, consecuencia de la presencia de material particulado (ceniza volcánica) en la columna. En el transcurso del año se presentaron pequeñas emisiones de ceniza, entre ellas se destacan las ocurridas los días 16 de Enero, 8 de Marzo, 15 y 27 de Mayo (Figura 15), 11 de Julio y 05 de Diciembre.

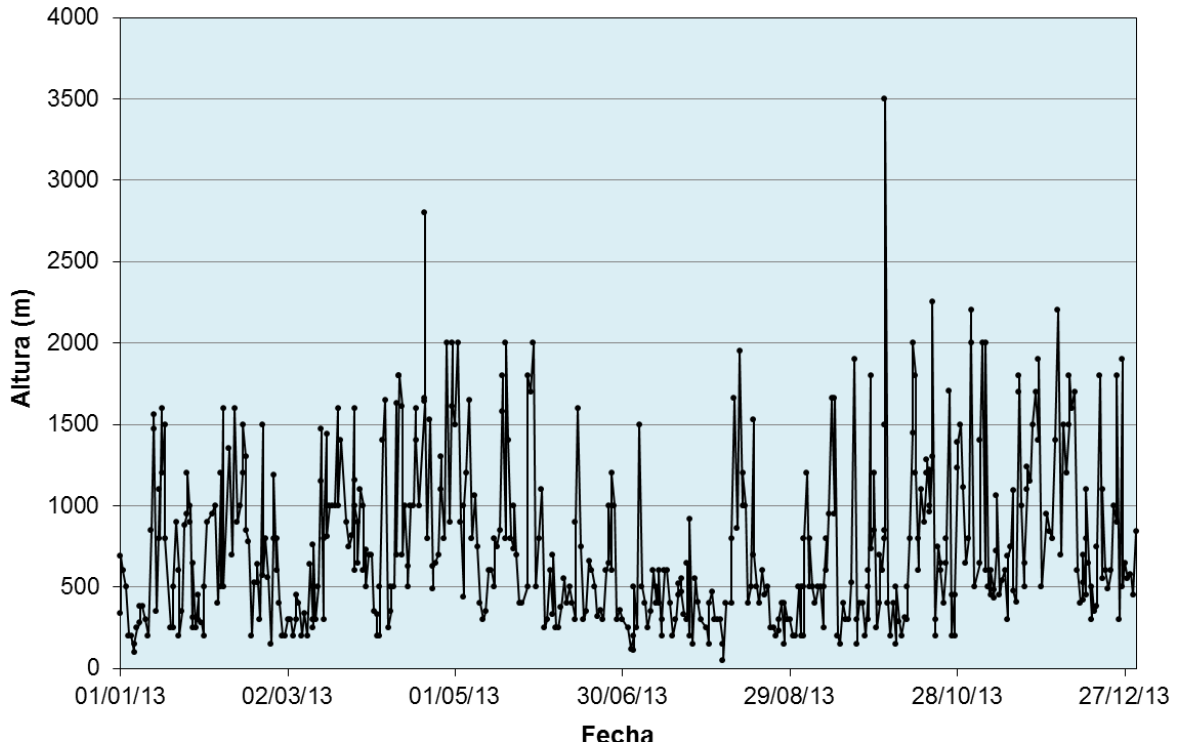


Figura 14. Altura de gases y ceniza observada de Enero a Diciembre de 2013 a partir de apreciaciones visuales desde el OVSM y de las cámaras instaladas en el área del volcán.



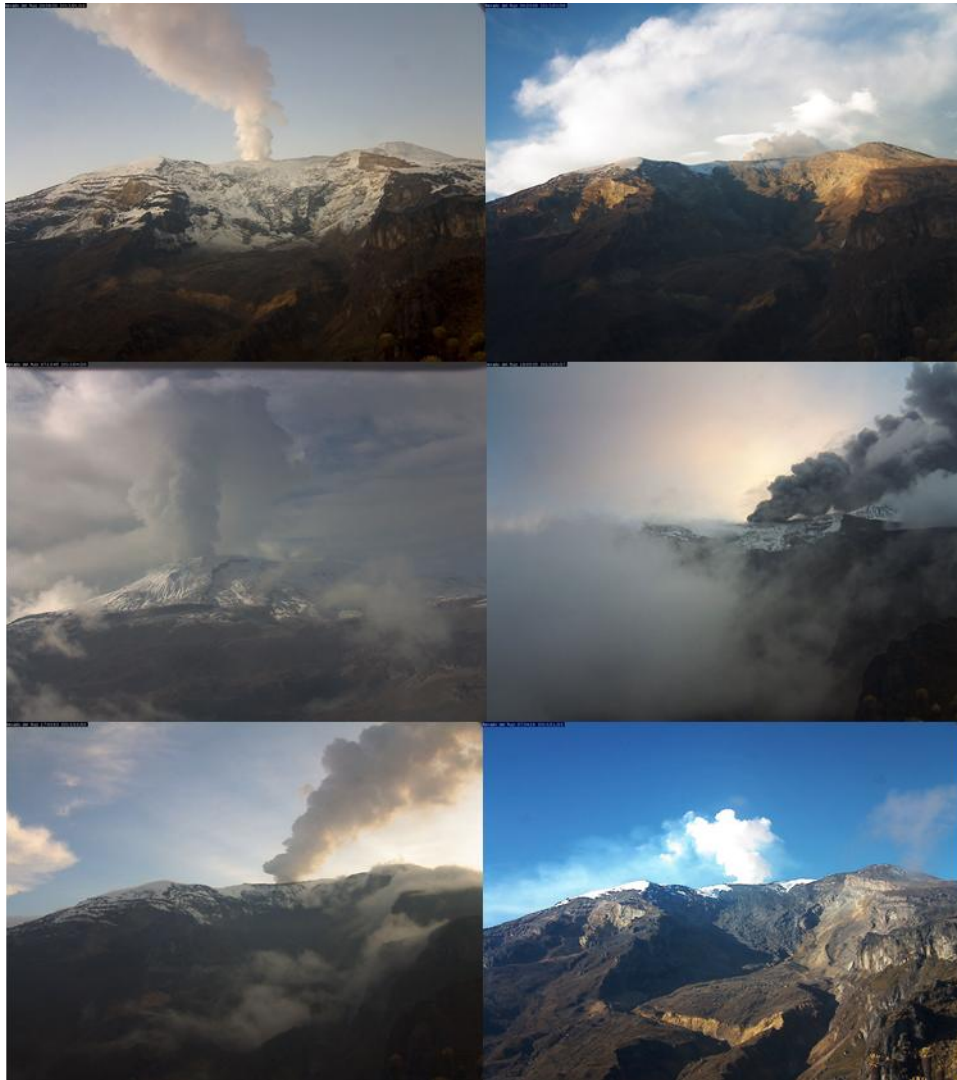


Figura 15. Columna de gas y ceniza en el Volcán Nevado del Ruiz. Estas fotografías fueron capturadas el 16 de Enero, 08 de Marzo, 20 de Abril, 27 de Mayo, 02 de Octubre y 23 de Noviembre por las cámaras web que monitorean la actividad superficial del volcán.

### 1.3 DEFORMACIÓN

Durante el 2013 operaron correctamente siete estaciones GPS permanentes, enfocadas al monitoreo e investigación de procesos deformativos en el Volcán Nevado del Ruiz, así como siete inclinómetros electrónicos. Adicionalmente se adelantó la instalación de una red de GPS de campaña, con el fin de complementar la red de estaciones GPS permanente y el procesamiento diferencial de los datos, así como la toma de datos gravimétricos. La Figura 16 muestra la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz.

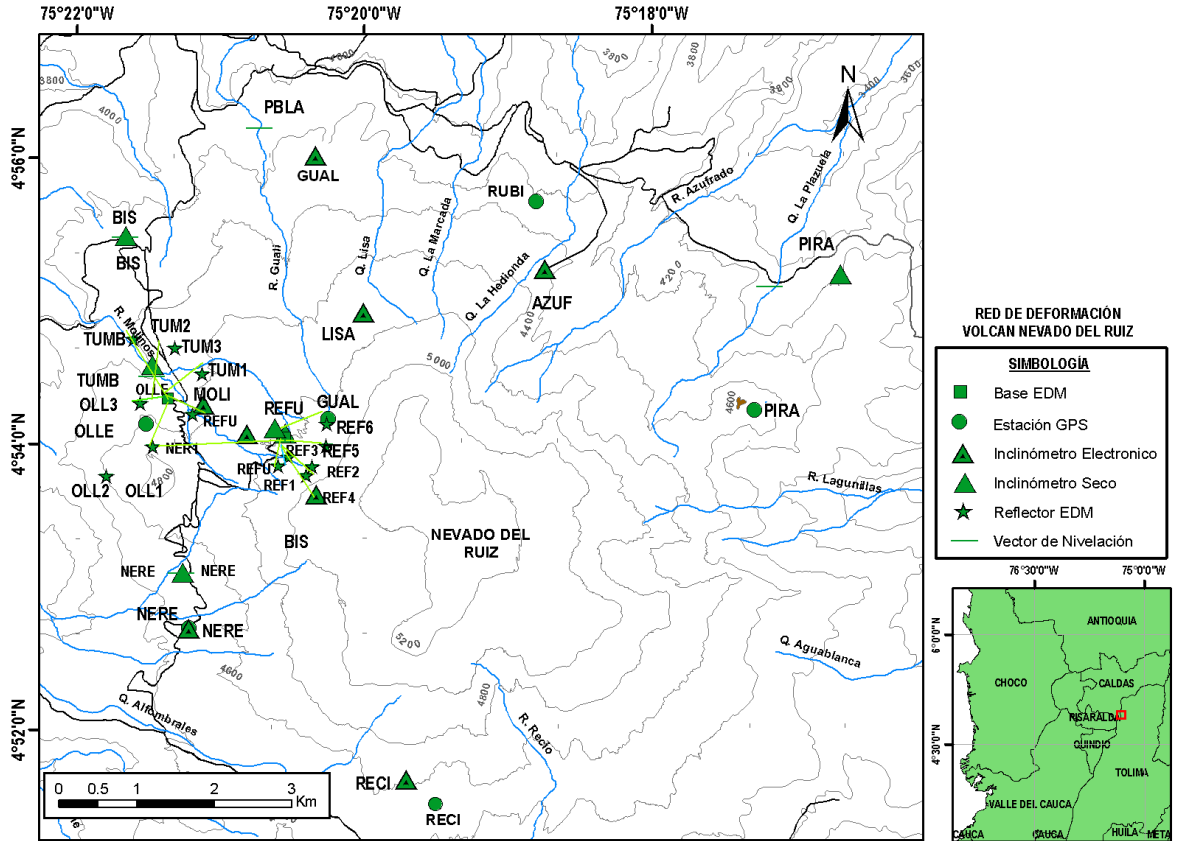


Figura 16. Red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz.

A partir de las estaciones GPS GUAL, NERE, OLLE, RUBI, SINN, PIRA, BLLR 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 (Figura 17, Figura 18 y Figura 19).

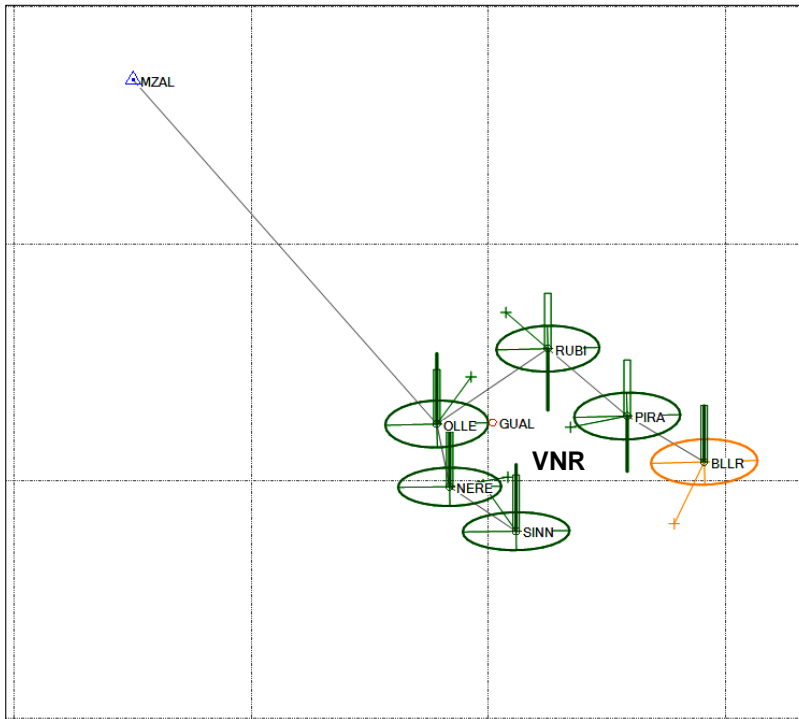


Figura 17. Elipses de error asociadas al post-procesamiento GPSD en el VNR.

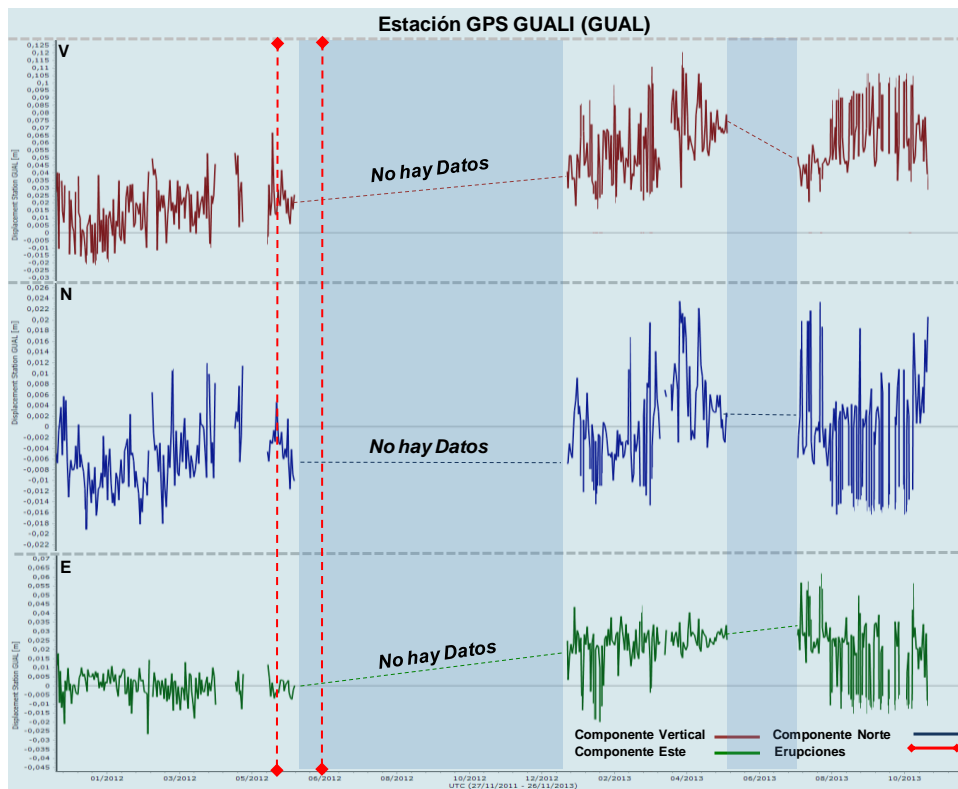


Figura 18. Serie de Tiempo, GPS Gualí a partir de procesamiento diferencial con el software T4dControl.

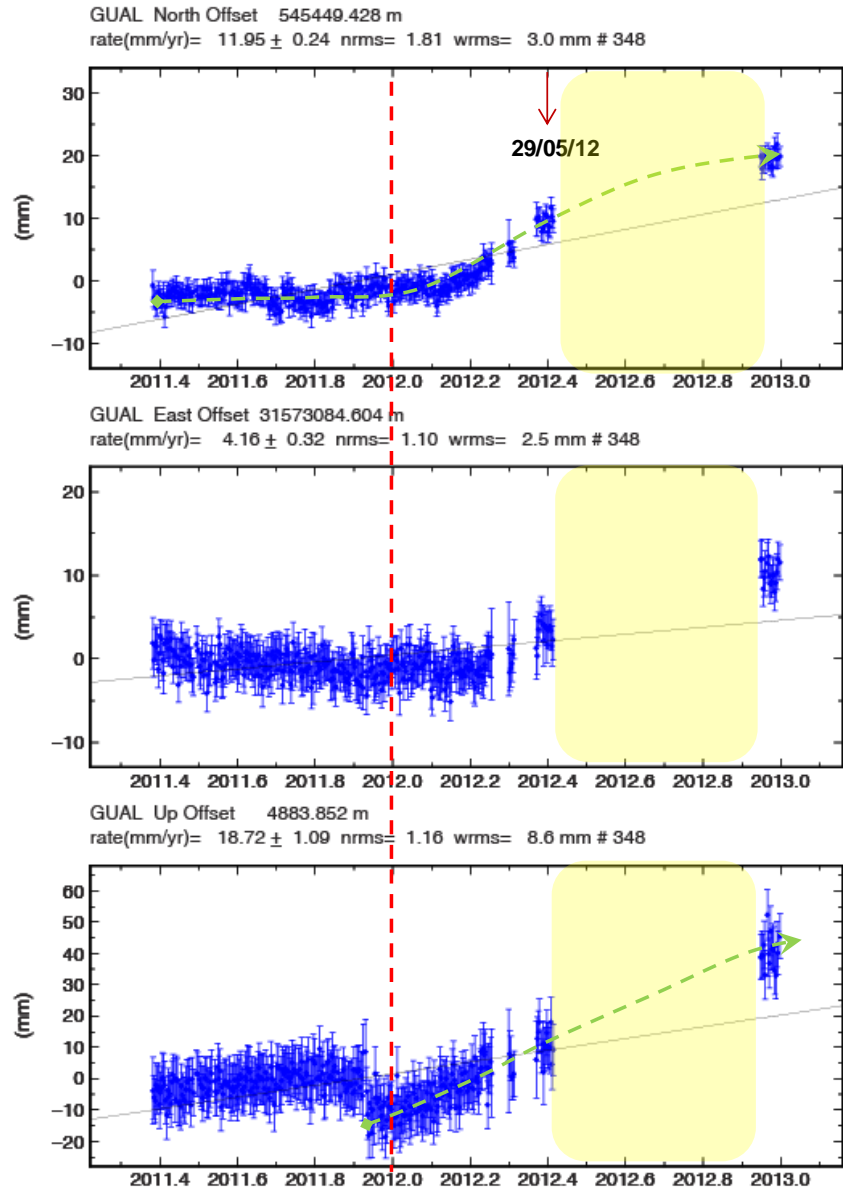


Figura 19. Serie de Tiempo, GPS Gualí a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk.

La Figura 20 muestra el comportamiento de todos los inclinómetros electrónicos instalados en el Volcán Nevado del Ruiz, en la cual el inclinómetro electrónico NERE ha mostrado en general estabilidad en sus dos componentes sin registrar cambios significativos y los inclinómetros BIS0 y MOLI, han presentado algunos problemas de funcionamiento.

Por otra parte, los inclinómetros electrónicos REFU, LISA, RECI, AZUF y GUAL de la red de monitoreo de la deformación de la superficie volcánica, vienen registrando algunos cambios asociados a un proceso deformativo, principalmente en la estación de REFU, la cual se encuentra localizada en el sector noroccidental del cráter Arenas a una distancia aproximada de 2.7 Km (Figura 21 a, b, c, d y e).

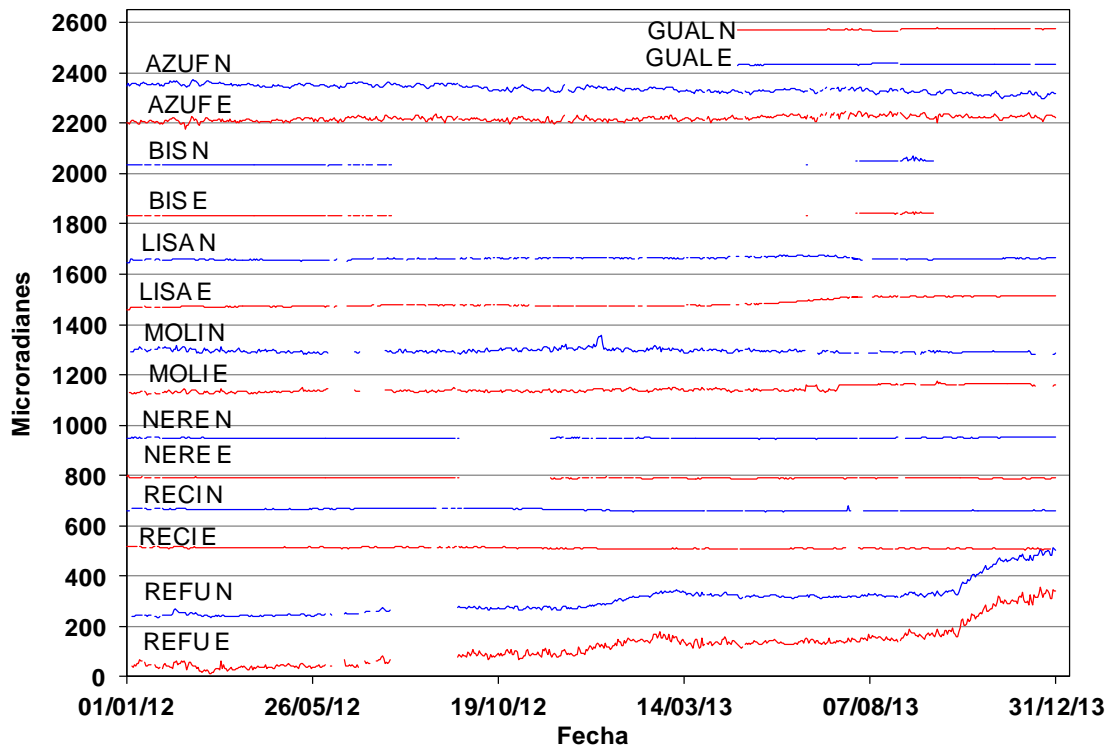


Figura 20. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) de los inclinómetros electrónicos GUAL, AZUF, BIS, LISA, MOLIN, NERE, RECI y REFU de la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz desde Enero de 2012 hasta Diciembre de 2013.

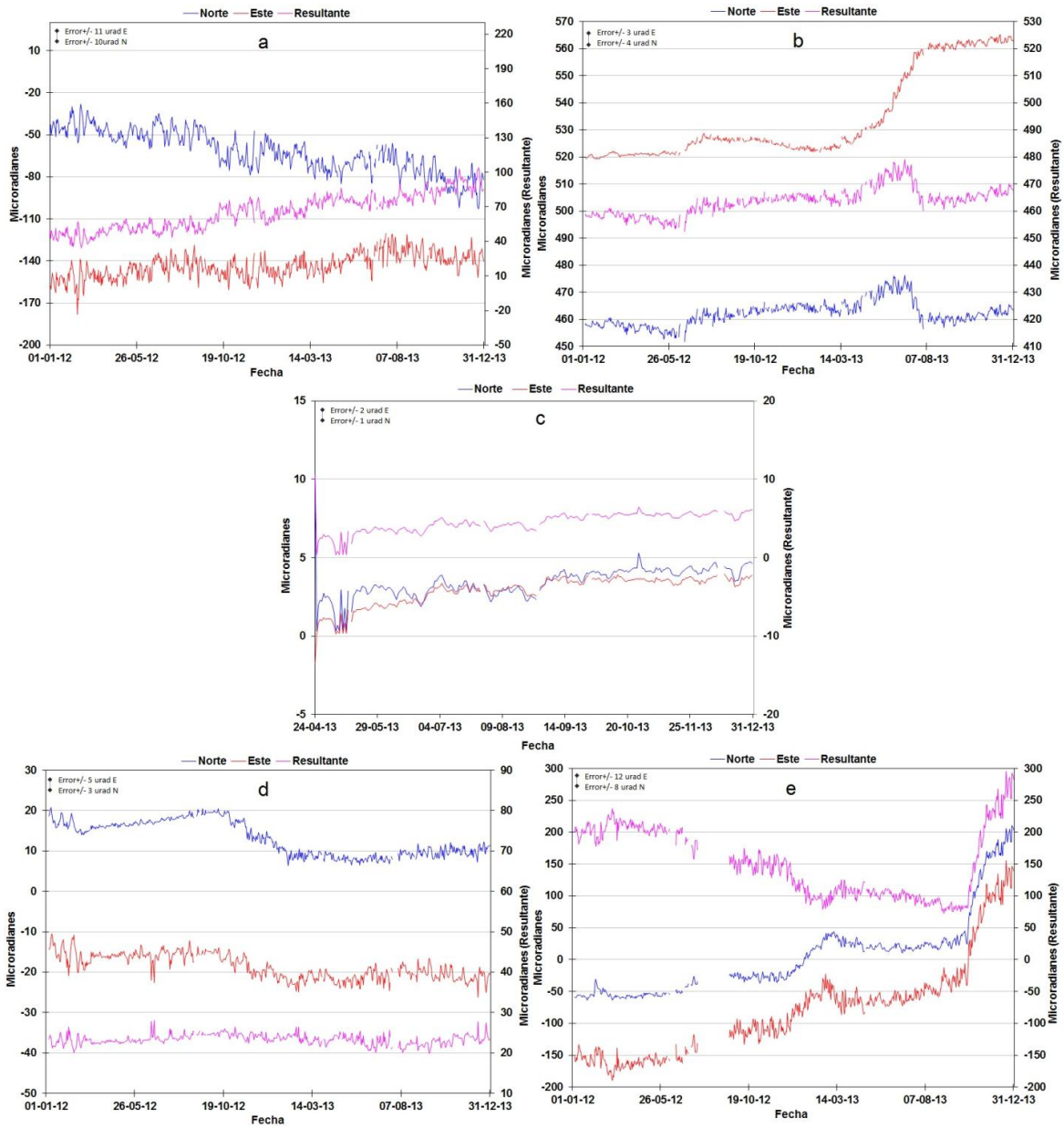


Figura 21. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul), Este (E) (Rojo) y Resultante (Magenta) de los inclinómetros electrónicos Azufrado (a), LISA (b), GUAL (c), RECI (d), REFU (e), de la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz desde Enero de 2012 hasta Diciembre de 2013.

Durante el año se ocupó la base EDM (Medición Electrónica de Distancias) Refugio, la cual viene registrando actualmente un proceso deformativo en correlación con los demás parámetros monitoreados Figura 22.

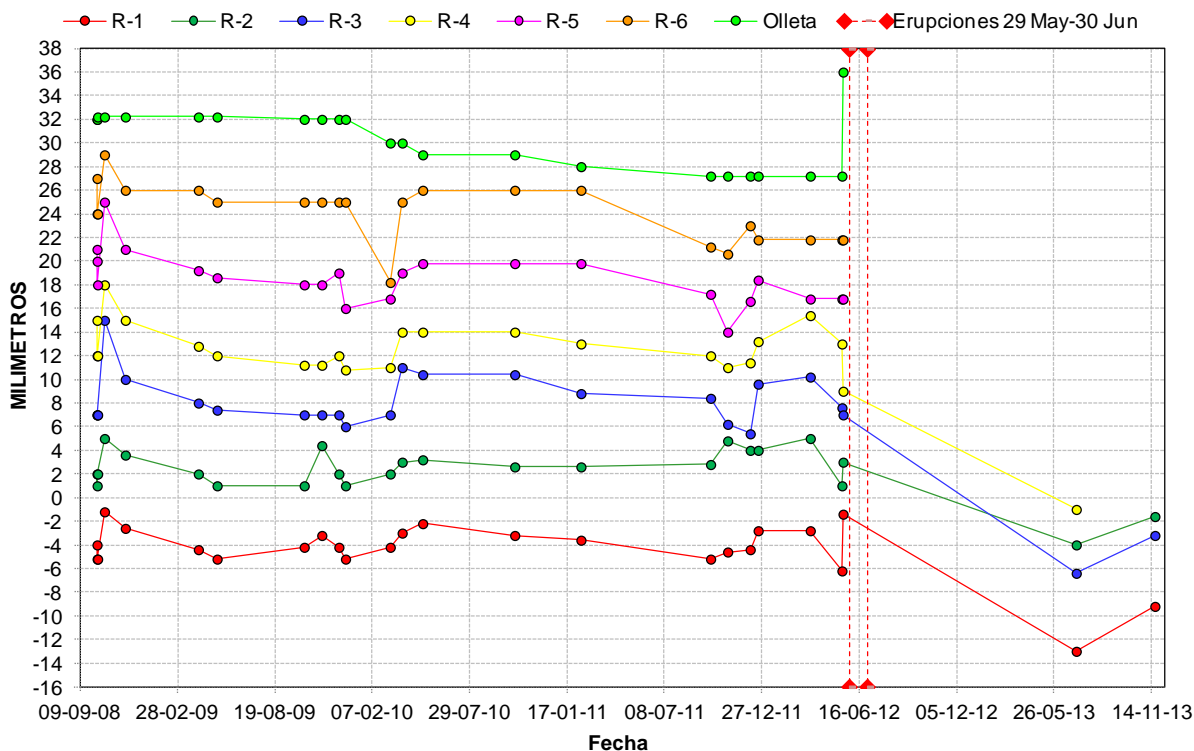


Figura 22. Ocupaciones de la Base EDM Refugio. Durante el 2013, VNR.

#### 1.4 GEOQUÍMICA

Durante el año 2013 el grupo de Geoquímica del OVSM realizó muestreos, análisis in situ y en el laboratorio de las Fuentes Termales, estaciones de Gases en Trampas Alcalinas, estaciones de CO<sub>2</sub> y Campos Fumarólicos. También se realizó monitoreo permanente de las estaciones de Gas Radón al igual que el cálculo y análisis de emisiones de SO<sub>2</sub> tanto de las estaciones telemétricas SCAN DOAS como de las imágenes satelitales generadas por el satélite AURA/OMI. En la Figura 23 se presenta el mapa con las estaciones geoquímicas en el VNR.

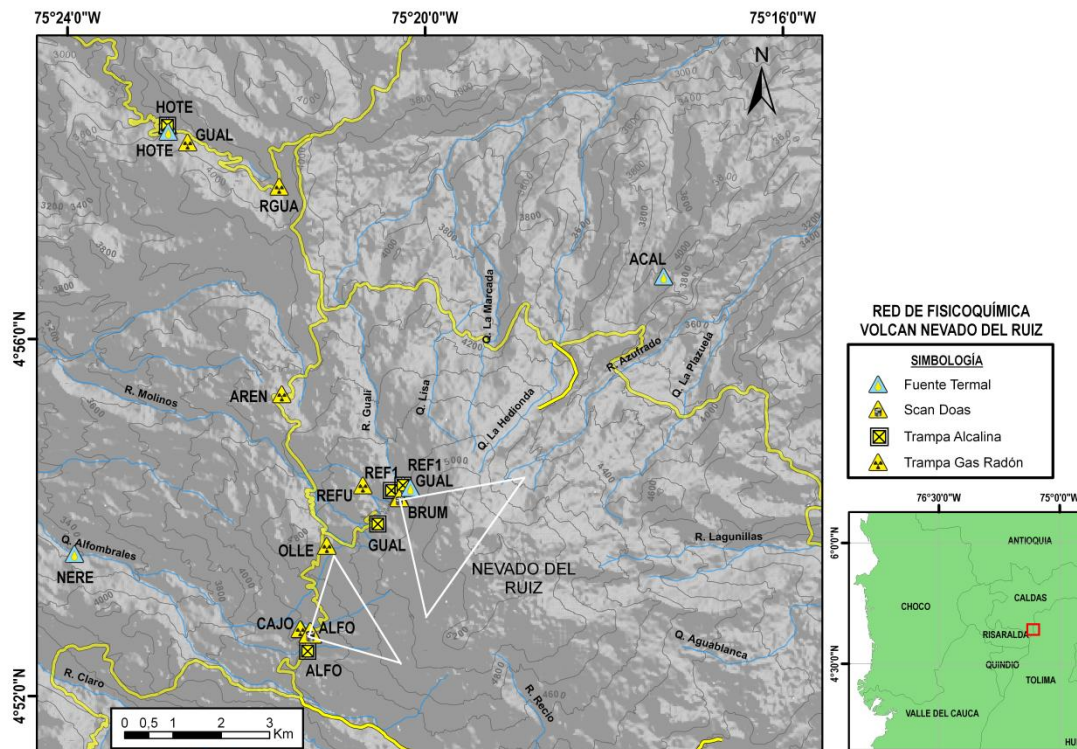


Figura 23. Red Geoquímica del Volcán Nevado del Ruiz en el año 2013.

#### 1.4.1 Emisiones de Gas Radón

Durante el año 2013 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 24).

Las mediciones se iniciaron en el mes de Abril, y se encontraron incrementos significativos en cada estación durante una época específica. Durante la primera semana del mes de Abril se presentaron incrementos significativos, las estaciones con mayor desgasificación de Radón fueron GUALÍ Y REFUGIO, en las cuales las concentraciones alcanzaron a estar por encima de los 3000 pCi/L en el mes de Mayo. El incremento en la cantidad de radón en el mes de mayo también se evidenció en las estaciones RÍO GUALÍ Y NEREIDAS, pero en menor proporción. Durante el mes de Julio se obtuvo otro incremento en la cantidad de Radón, el cual se logró evidenciar alrededor del 10 de Julio en todas las estaciones a excepción de la estación CAJONES donde se tuvo el incremento al final del mes. En la primera quincena de agosto se obtuvo otro pico en la emisión de Radón, el cual se observa en tres estaciones (GUALÍ, REFUGIO Y RÍO GUALÍ). Finalmente en el mes de Septiembre tenemos otra anomalía de Radón en las estaciones OLLETA, NEREIDAS Y CAJONES.

Los incrementos presentados en la concentración de gas radón pueden estar relacionados con la sismicidad volcano-tectónica registrada en el VNR durante el año 2013, en el flanco norte de la estructura volcánica.



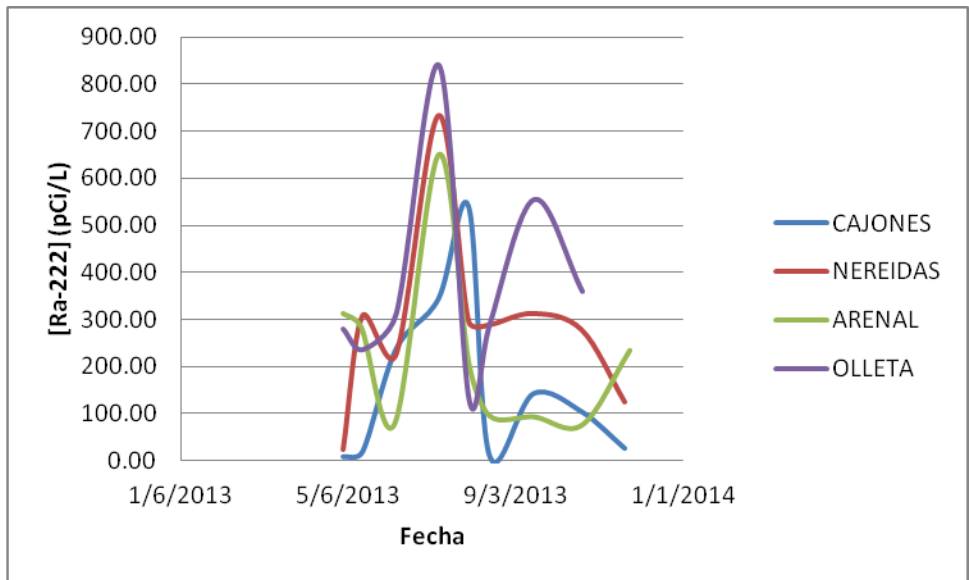
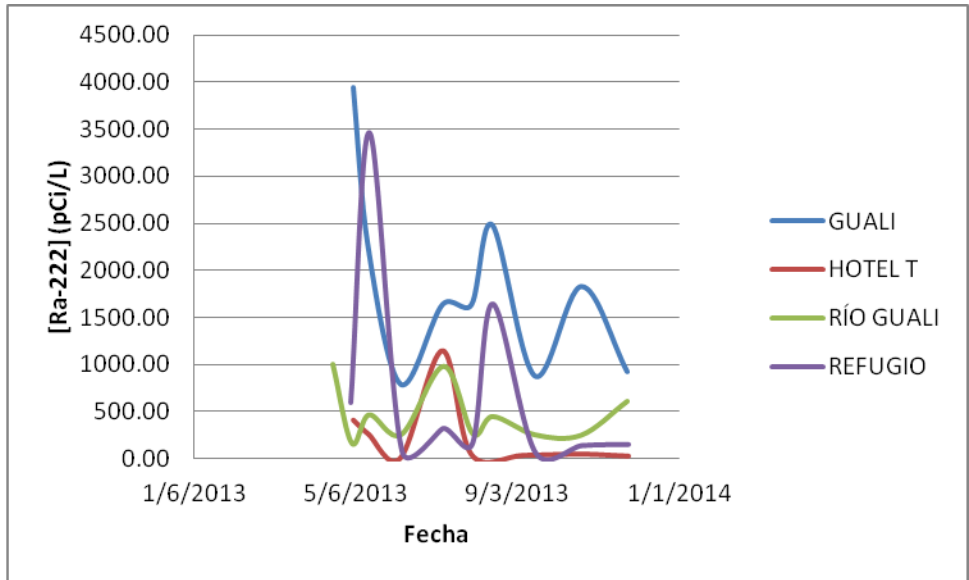


Figura 24. Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones: GUALÍ, RIO GUALI, CAJONES, HOTEL T, REFUGIO, NEREIDAS, ARENAL Y OLLETA. Volcán Nevado del Ruiz. 2013.

Adicionalmente se implementó la medición telemétrica de Radón con tres estaciones AZUFRADO, GUALI Y ALFOMBRALES. Estas estaciones registran datos cada minuto y se construyen gráficas con el promedio diario en cada estación (Figura 25). El registro en la estación AZUFRADO se inició desde comienzos del 2013 y se encuentran anomalías en septiembre y diciembre, correspondientes a eventos sísmicos que se tuvieron durante esta época. La estación GUALÍ se tiene registrando desde agosto y ha mostrado cambios significativos desde el mes de Diciembre, coincidiendo con el comportamiento de la estación AZUFRADO. Finalmente la estación ALFOMBRALES se encuentra registrando desde octubre y se observaron anomalías durante los últimos meses del año, sin embargo no de la misma magnitud de las que se observan en las otras dos estaciones.

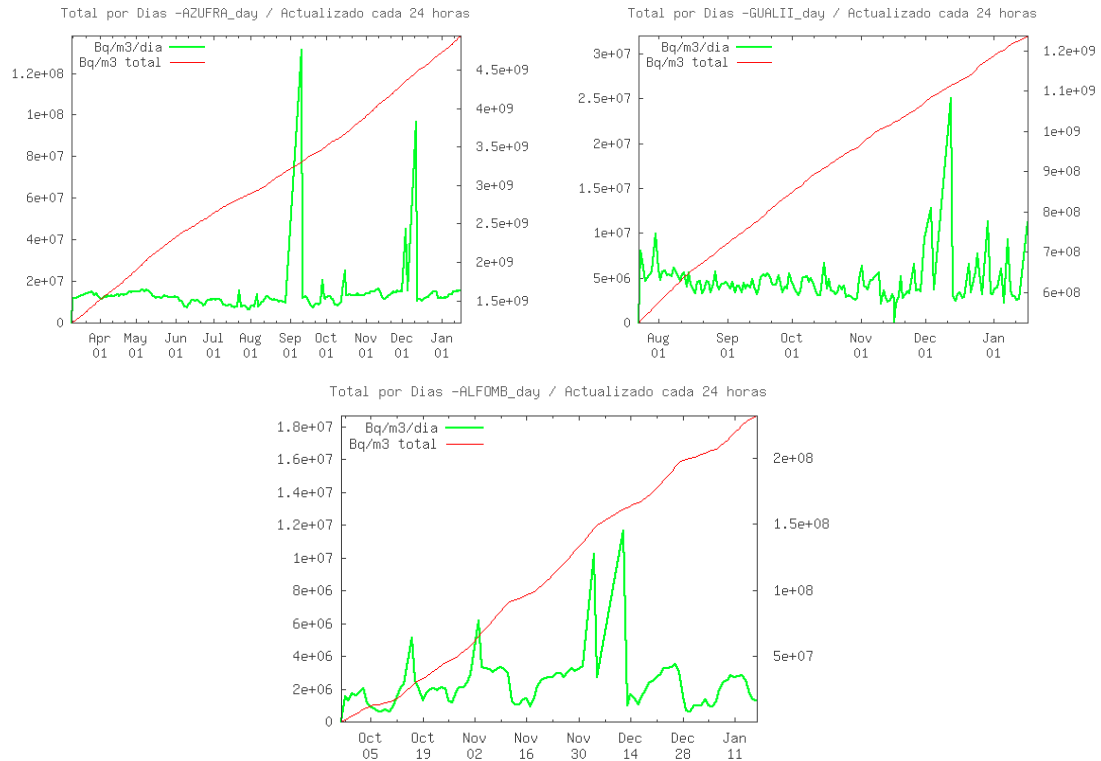


Figura 25. Variación de los niveles de Radón en suelo de las estaciones telemétricas: GUALÍ, ALFOMBRALES Y AZUFRA. Volcán Nevado del Ruiz. 2013.

#### 1.4.2 Fuentes Termales (FT)

En el año 2013 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 26 se aprecia el comportamiento de la temperatura con el tiempo para las dos FT, allí se aprecia que el nacimiento termal HOTEL T presentó mayores variaciones durante este año registró temperaturas entre 55.4 y 60.7 °C. La FT AGUAS CALIENTES no mostró cambios tan drásticos en su temperatura presentando su mayor variación de 57 a 59 °C.

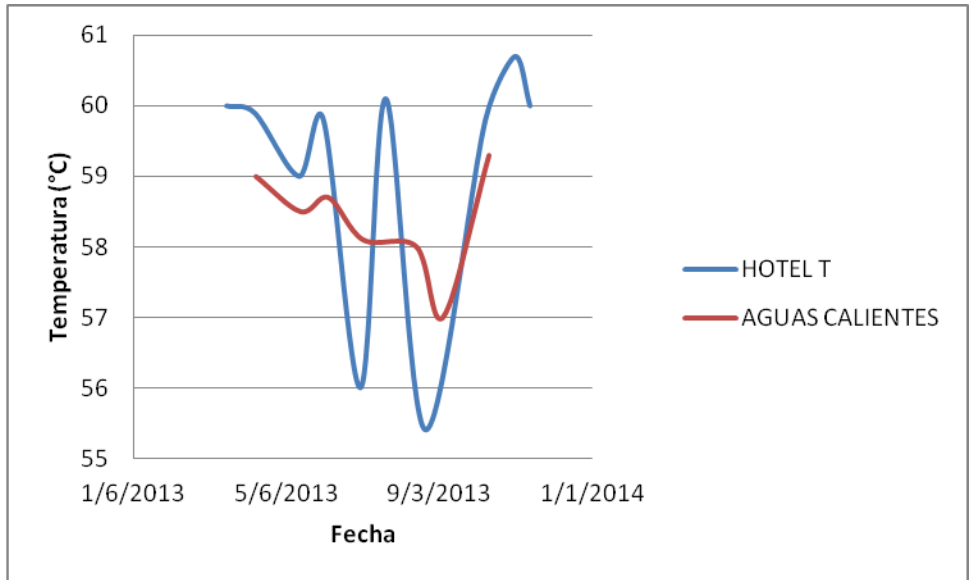


Figura 26. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: HOTEL y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2013.

En lo referente al pH, se observan cambios significativos en las dos fuentes termales estudiadas, inicialmente se observa un incremento en la basicidad de las fuentes y luego una disminución de las mismas, pero en la parte final del año se observa que la fuente TERMAL HOTEL T presenta una disminución en la acidez, mientras que la fuente termal AGUAS CALIENTES tiene un comportamiento inverso presentando un aumento en la acidez. El valor promedio de pH para la fuente Hotel T es de 2.1 mientras que para la fuente termal AGUAS CALIENTES es de 1.7 (Figura 27).

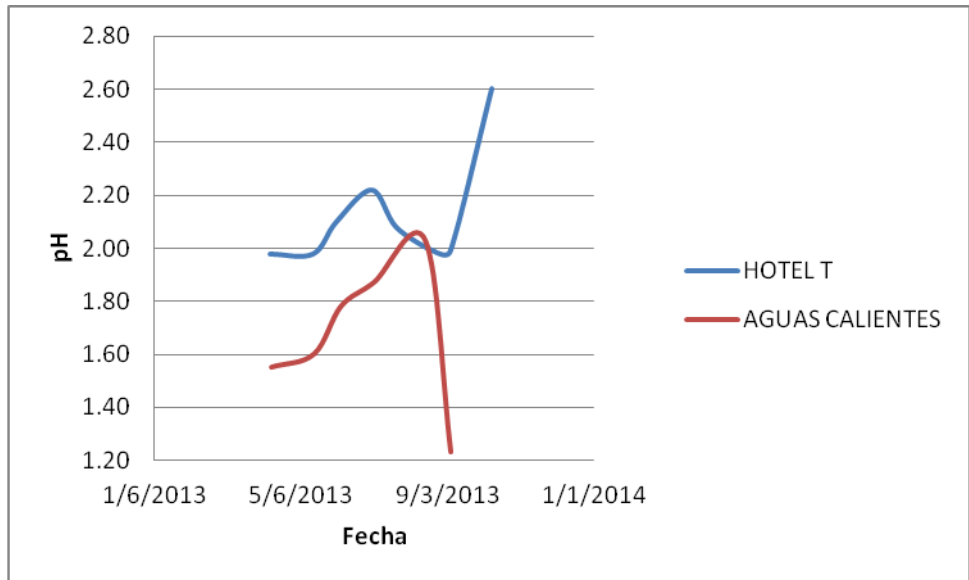


Figura 27. Variación del pH en Fuentes Termales: HOTEL T y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2013.

La conductividad eléctrica de las fuentes termales monitoreadas ha venido presentando variaciones importantes, sin embargo debido a problemas técnicos este monitoreo no pudo ser constante durante todo el año, lo que impide un mejor entendimiento de los datos. La conductividad eléctrica para AGUAS CALIENTES y HOTEL sigue presentando valores altos, por encima de los 12 mS/cm. Estos incrementos están asociados a mayor disolución de las rocas circundantes al nacimiento, lo cual ocurre en ambientes con pH muy bajos y se observaron comportamientos inversos (aumento en la conductividad eléctrica de Aguas calientes y disminución de la conductividad eléctrica en Hotel T) (Figura 28).

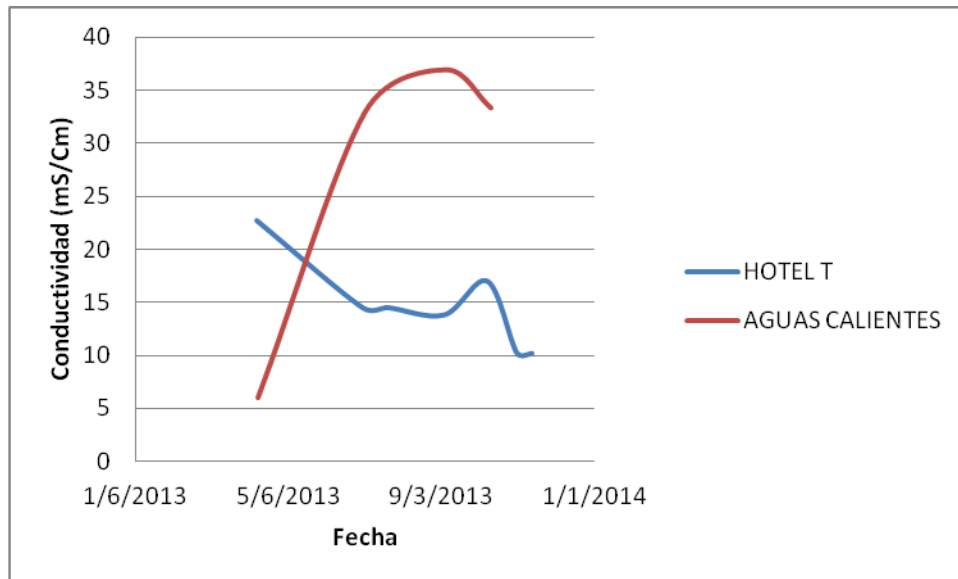


Figura 28. Variación de la conductividad eléctrica en Fuentes Termales: HOTEL T y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2013.

Respecto al contenido de aniones mayoritarios (Figura 29) se presentaron pequeñas variaciones en la concentración de Cloruros en la fuente termal HOTEL T, mientras que en la fuente termal AGUAS CALIENTES se observó un incremento. En la fuente termal HOTEL T se registró en promedio una concentración de 898 ppm de iones Cl. Para AGUAS CALIENTES el promedio fue de 1611 ppm. En lo referente a la concentración de Sulfatos, los valores sufrieron fluctuaciones durante todo el año, obteniéndose valores entre 5000 y 17000 ppm para la fuente termal HOTEL T y entre 11000 y 21000 para la fuente termal AGUAS CALIENTES.

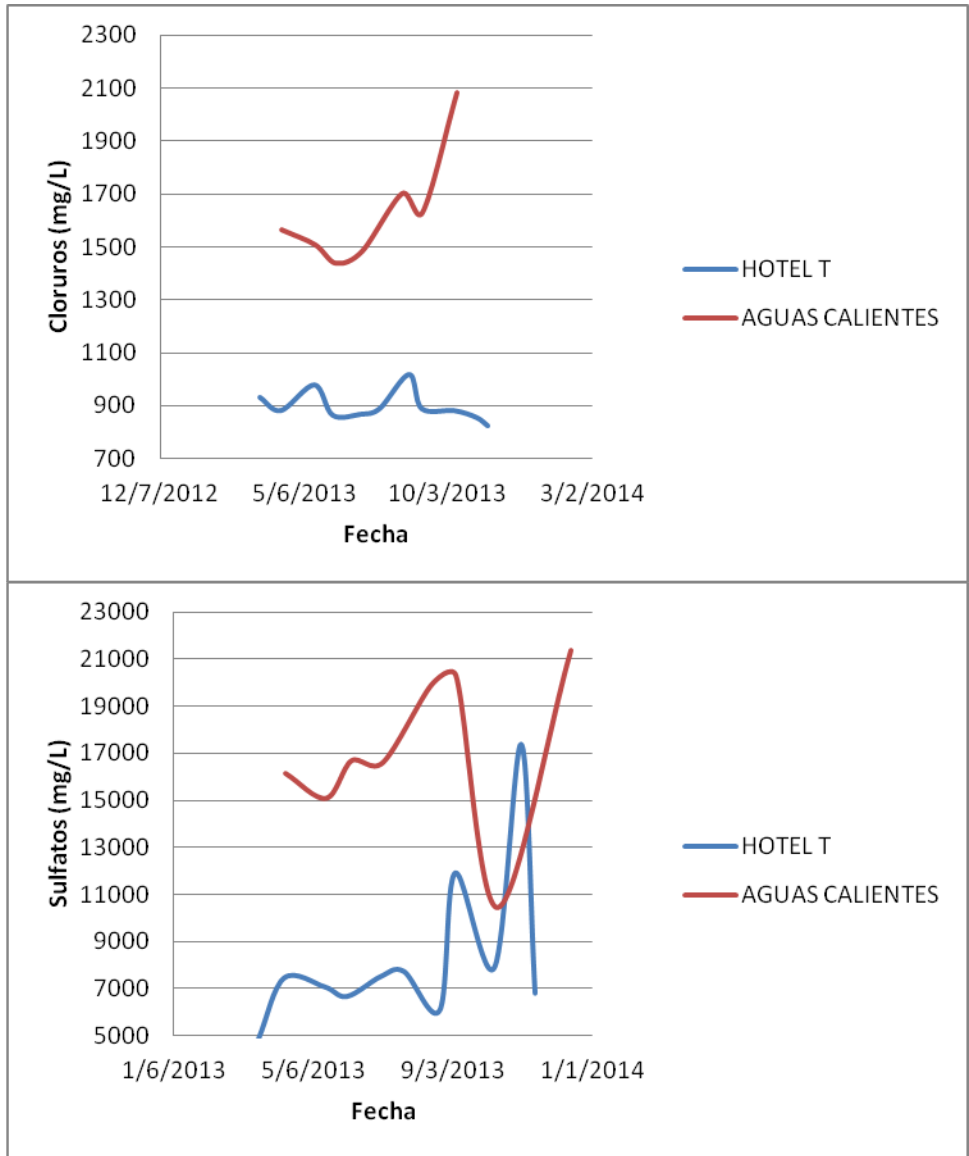


Figura 29. Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales: HOTEL, y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz, 2013.

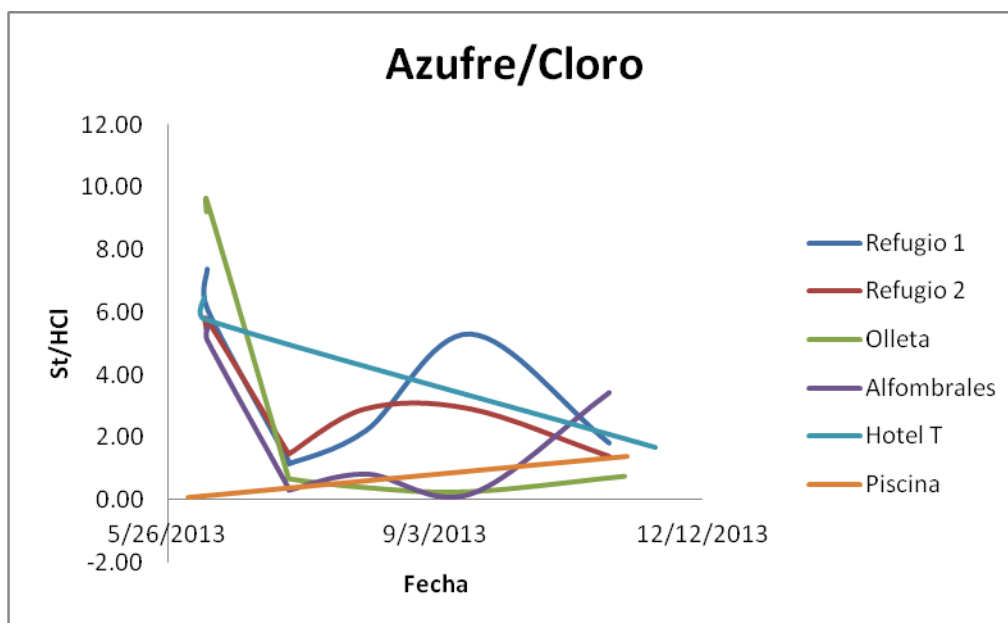
Durante el año 2013 se tomaron muestras de las fuentes termales BOTERO LONDOÑO, GUALI, AGUA BLANCA y NEREIDAS, sus parámetros fisicoquímicos y contenido de iones mayoritarios no presentaron variaciones importantes en sus medidas de acuerdo a medidas de años pasados. A continuación se presentan los valores obtenidos en el año 2013, Tabla 1.

FUENTE TERMAL	TEMPERATURA (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (mS/cm)	[Cl <sup>-</sup> ] mg/L	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] mg/L
<b>Botero Londoño</b>	79.5	7.7	6.8	1112	18100
<b>Gualí</b>	59.2	2.83	3.5	111	1300
<b>Agua Blanca</b>	29.1	3.34	2.5	123.8	1337
<b>Nereidas</b>	25.1	8.36	1.8	88.6	1664

Tabla 1. Parámetros Fisicoquímicos Fuentes termales BOTERO LONDOÑO, GUALÍ, AGUA BLANCA Y NEREIDAS. Volcán Nevado del Ruiz, 2013.

### 1.4.3 Gases en Trampas Alcalinas

Durante el 2013 se realizó monitoreo a 6 estaciones de gases en el VNR. De acuerdo a los resultados de los análisis de gases ácidos y al realizar gráficas que relacionan azufre/cloro y carbono/azufre en el tiempo, se puede dar una mejor interpretación del fenómeno que se está estudiando. La cantidad de HCl en comparación con el S total aumentó durante la primera parte del 2013, sin embargo después se observó una disminución del mismo tratándose de estabilizar en una relación 2/1. La relación CO<sub>2</sub>/S total tuvo un comportamiento estable en 4 de las estaciones monitoreadas, sin embargo en las estaciones OLLETA Y ALFOMBRALES se observó un aumento de la cantidad de carbono con respecto al azufre en el segundo semestre del 2013 (Figura 30).



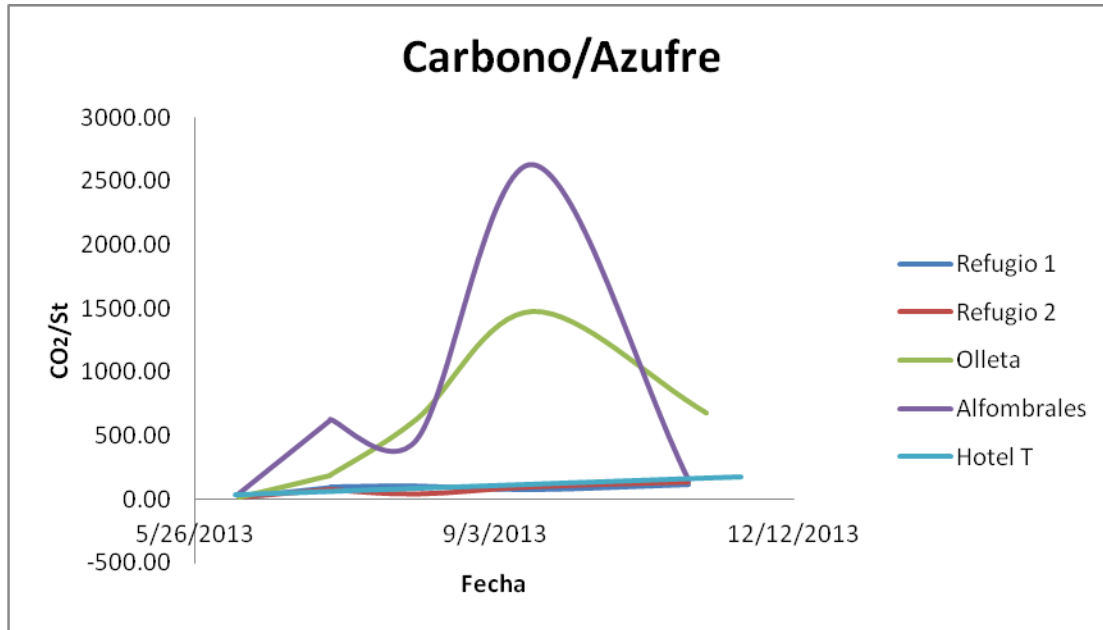


Figura 30. Variación en las relaciones de Gases: CO<sub>2</sub>, HCl y SO<sub>2</sub> en Trampas Alcalinas: Volcán Nevado del Ruiz 2013.

#### 1.4.4 Gases en Botellas de Giggenbach

En el mes de Agosto de 2013 se realizó muestreo y análisis de gases provenientes de la Fumarola NEREIDAS, contenido de especies mayoritarias es el siguiente, Tabla 2.

FUMAROLA	Temperatura °C	% CO <sub>2</sub>	% HCl	%SO <sub>2</sub>	% H <sub>2</sub> S
NEREIDAS	74.3	89.4	1.4	8.2	0.9

% Molar en Base seca

Tabla 2. Especies Mayoritarias Fumarola Nereidas. Volcán Nevado del Ruiz. 2013

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

Durante el primer semestre del 2013 se contó con las estaciones SCAN DOAS ALFOMBRALES y BRUMA (Figura 31), sin embargo debido a problemas técnicos de la estación BRUMA esta tuvo que ser retirada y cambiada por la estación ALFOMBRALES, por lo tanto durante el segundo semestre del 2013 sólo se tuvo en funcionamiento una estación SCAN-DOAS. Adicionalmente algunos días no hubo registros debido a las condiciones climáticas en el volcán, cuando hay mucha nubosidad se impide la llegada de luz UV al telescopio lo cual interrumpe la transferencia de dicha luz al espectrómetro y por lo tanto no es posible cuantificar la cantidad de dióxido de azufre emitida.

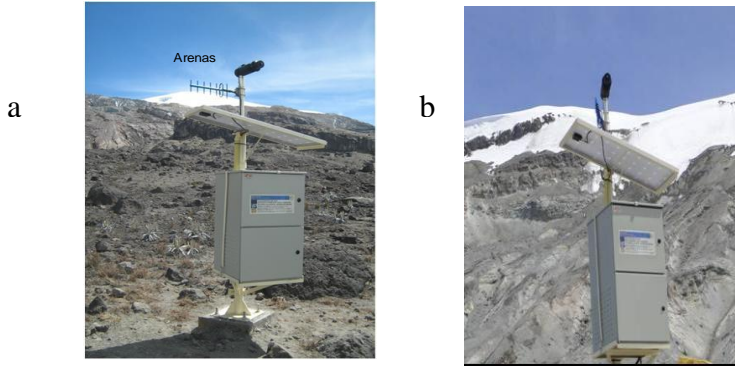


Figura 31. Estaciones SCAN DOAS: a) ALFOMBRALES, b) BRUMA.  
Volcán Nevado del Ruiz

Durante las medidas del 2013 se presentaron incrementos en las emisiones de  $\text{SO}_2$  especialmente entre los meses Mayo-Junio. Alcanzando un máximo de 15731 Ton/día el día 21 de Julio. Adicionalmente se observa que la emisión de  $\text{SO}_2$  fue mayor en el segundo semestre del año, en comparación con el primer semestre y que la fluctuación del mismo también es superior. Cabe resaltar que la gráfica presentada es el valor promedio diario de la estación con mayor flujo, es decir se realiza el cálculo del promedio diario para cada estación y luego estos dos valores se comparan en orden de graficar el que presente el mayor flujo. (Figura 32)

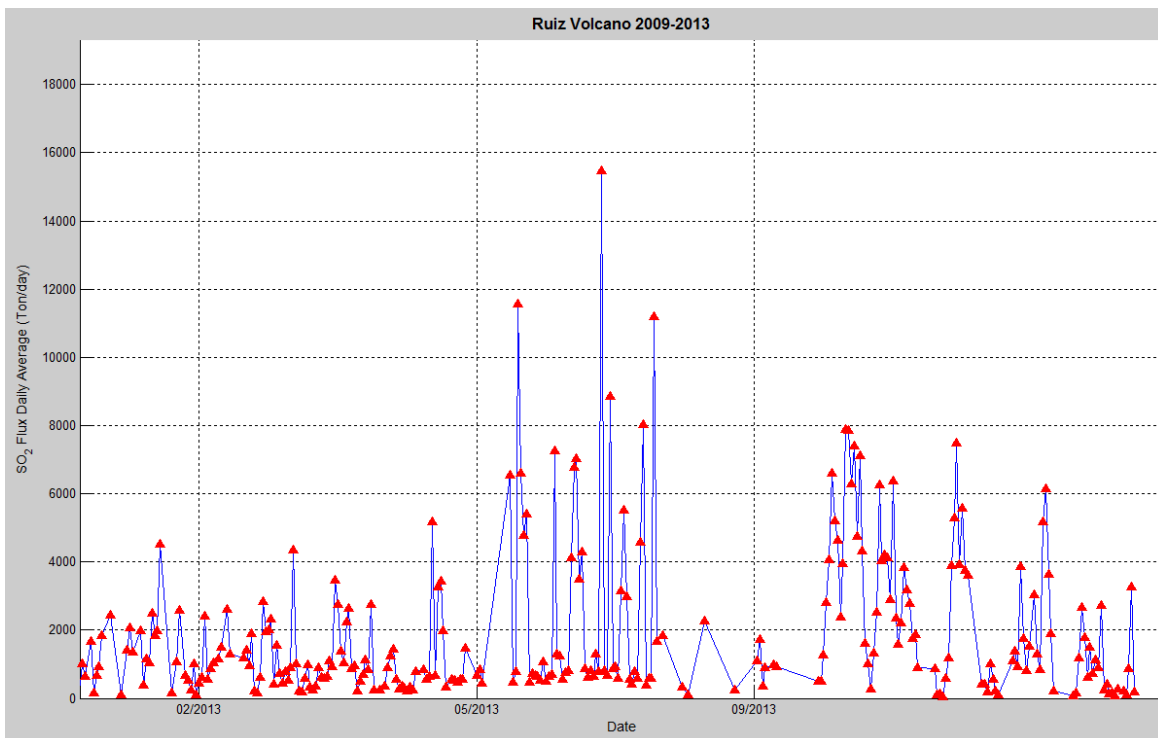


Figura 32. Emisión de  $\text{SO}_2$  estaciones SCAN DOAS: BRUMA Y ALFOMBRALES.  
Volcán Nevado del Ruiz, 2013.



Adicionalmente se generó una gráfica (Figura 33) del acumulado de SO<sub>2</sub> a partir de las emisiones promedios diarias de las estaciones SCAN-DOAS, durante el año 2013 se observa que hay una tendencia hasta Julio y despues esta cambia, aumentando la cantidad de SO<sub>2</sub> entre Junio y Agosto, seguido de una temporada de flujos bajos (tiempo durante el cual la estación BRUMA salió de funcionamiento y posteriormente un nuevo cambio en la pendiente indicativo de un reestablecimiento de la desgasificación que venia presentando el volcán.

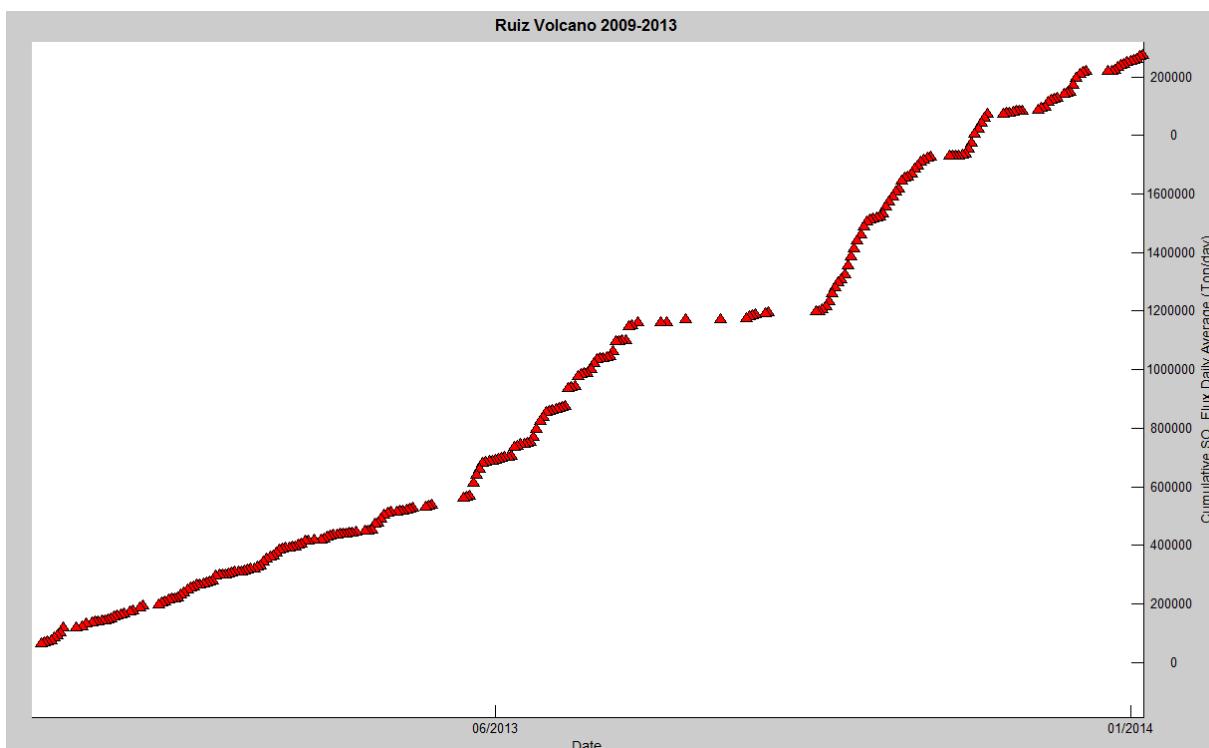


Figura 33. Acumulado de SO<sub>2</sub> estaciones SCAN DOAS: BRUMA Y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. 2013.

Adicionalmente se realizaron campañas desde el mes de mayo para la medición del flujo de dióxido de azufre con ayuda del equipo mobile-DOAS, en la Tabla 3 se presentan los flujos obtenidos y los recorridos realizados durante este año.

Fecha	Punto inicial	Punto final	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento (grados)	Flujo máximo (Ton/día)
03/05/2013	Puente libertad	la Sifón	2.15	157	191.38
07/05/2013	Puente libertad	la Alfombrales	2.425	94.5	3732.99
08/05/2013	El arbolito	Sifón	3.59	98.5	2365.05
09/05/2013	El arbolito	Refugio	8.62	123.4	4197.86
22/05/2013	Puente libertad	la Valle de las tumbas	2.67	169	1543.24

<b>24/05/2013</b>	Puente libertad	la	Refugio	10	114.6	2687.03
<b>05/06/2013</b>	Alfombrales		Brisas	8.85	100	2783.77
<b>07/06/2013</b>	Brisas		Olleta	10	113	582.73
<b>08/06/2013</b>	El ocho		Sifón	8.7	107	158
<b>26/06/2013</b>	Puente libertad	la	Refugio	8.02	96.4	1520.41
<b>03/07/2013</b>	Brisas		Refugio	8.8	87	1653.65
<b>24/07/2013</b>	El Arbolito		Refugio	13.2	112	10953.37
<b>08/08/2013</b>	Brisas		Valle de las tumbas	6.2	57	43.8
<b>15/08/2013</b>	Villamaría		Nereidas	7.7	102	57.7
<b>27/08/2013</b>	Cerro bravo		Refugio	7.9	94	689.25
<b>05/09/2013</b>	El Ocho		Refugio - Alfombrales	3.3	110	3690
<b>06/09/2013</b>	El Ocho		Aguas Calientes	5.6	92	57.5
<b>10/10/2013</b>	El arbolito		Refugio	7.25	97	1468.0
<b>10/10/2013</b>	Alfombrales		El arbolito	7.45	99	2145.9
<b>12/10/2013</b>	El ocho		Aguas Calientes	5	100	1175
<b>18/10/2013</b>	El ocho		Refugio	7.05	114	1508.11
<b>13/11/2013</b>	El ocho		Refugio	9	126	1577
<b>17/12/2013</b>	El ocho		Refugio	5	72	6985

Tabla 3. Flujo Dióxido de Azufre con MobileDOAS. Volcán Nevado del Ruiz, 2013.

Finalmente en el mes de agosto se implementó el análisis de las imágenes satelitales generadas por la NASA con ayuda de la plataforma ARC-GIS, en la cual por medio de cálculos basados en concentraciones espaciales del dióxido de azufre (Unidades Dobson) se puede determinar un flujo aparente del gas que puede ser comparado con los resultados obtenidos mediante las estaciones scan-doas y mobile-doas. En la Figura 34 se observa la emisión promedio de cada día de medición desde el 15 de agosto del 2013, en la cual se observa fluctuaciones significativas de un día a otro, sin embargo cabe resaltar que la mayoría de los valores se encuentran sobre una misma zona y que no se observan incrementos fuera de lo normal.

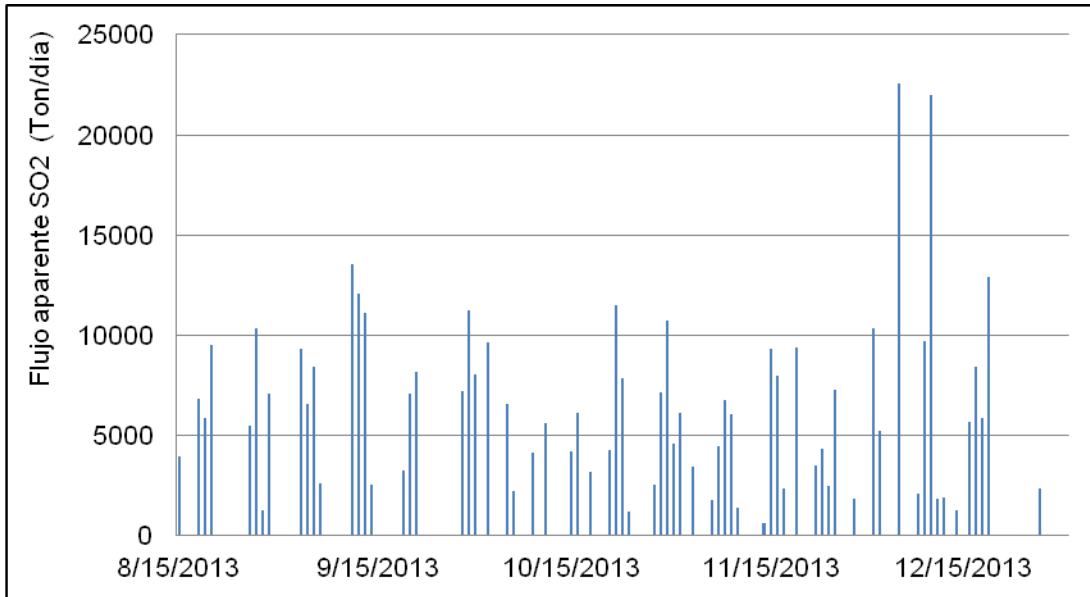


Figura 34. Emisión aparente de SO<sub>2</sub>. Satélite AURA/OMI  
Volcán Nevado del Ruiz, 2013.

## 2. VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT)

### 2.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red telemétrica para este volcán durante el año 2013 fue del **84.7%**.

La mejoría más importante en la red de monitoreo del este volcán fue la instalación de la estación LAS MARIAS, la cual es multiparamétrica y consta de un sismómetro de Banda Ancha, un inclinómetro electrónico y una cámara web que envía imágenes cada minuto (Figura 35).



Figura 35. Nuevas estaciones, LAS MARIAS y repetidor LAS PERLAS.

Durante este periodo se también realizaron trabajos de mantenimiento, Adicionalmente se migró la estación de corto periodo NIDO DE AGUILA hacia la nueva red de telemetría digital, por lo que ahora la señal recibida en Manizales tiene una mejor calidad. En el repetidor de ESMERALDA se mejoró la infraestructura de paneles solares (Figura 36).



Figura 36. Estaciones NIDO DE AGUILA y ESMERALDA.

Finalmente, en cuanto a los repetidores, se instalaron dos: LAS PERLAS y EL BRILLANTE, los cuales prestan servicio a la estación de LAS MARIAS, la cual llega hasta Manizales agregada con el tráfico generado en el Volcán Cerro Machín.

## 2.2 SISMOLOGÍA

El Volcán Nevado del Tolima durante el año mantuvo un nivel bajo de actividad. La red de monitoreo (Figura 37) registró sismos, en general de baja energía, asociados al fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico y a la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos (Figura 38 y Figura 39). El sismo de mayor magnitud registrado en el año corresponde al evento ocurrido el 1 de febrero de 2013 a las 11:52 (hora local), el cual alcanzó una magnitud de 2.3  $M_L$  y estuvo localizado al norte del cráter a una profundidad de 1.57 km. En general, estos eventos se localizaron alrededor del cráter y principalmente al norte del mismo a profundidades entre 0.5 y 8 km (Figura 40).

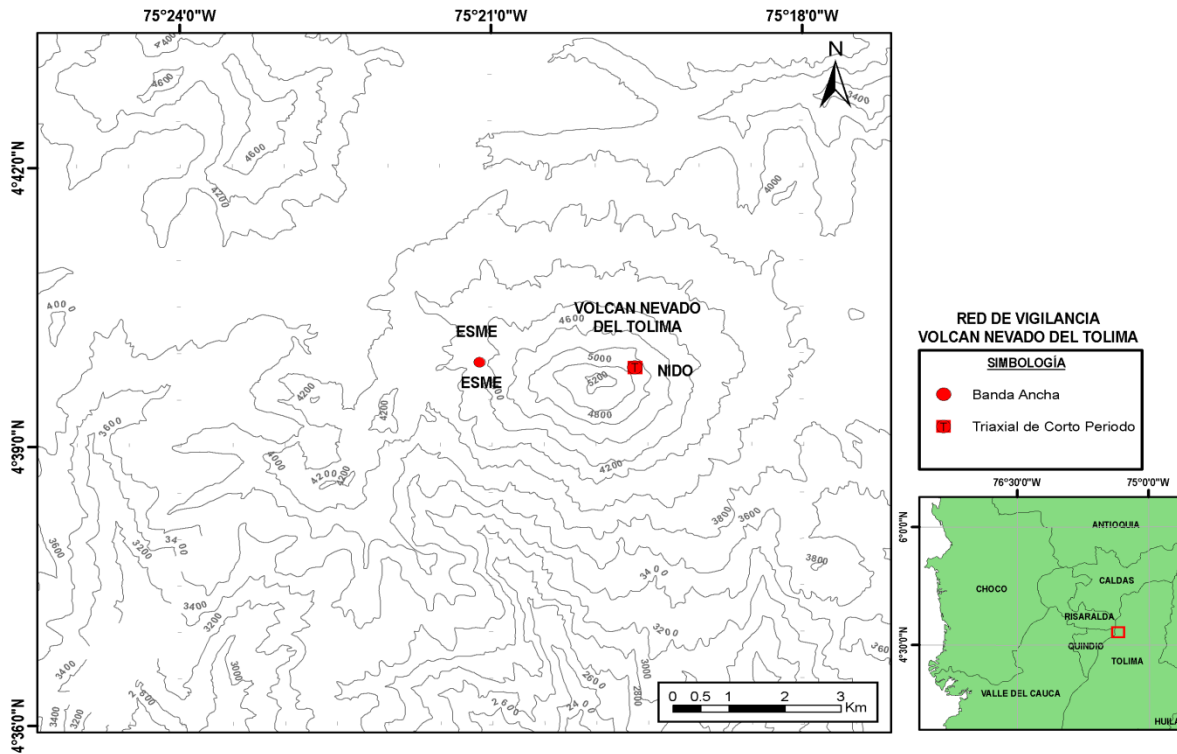


Figura 37. Red de vigilancia sísmica, Volcán Nevado del Tolima.

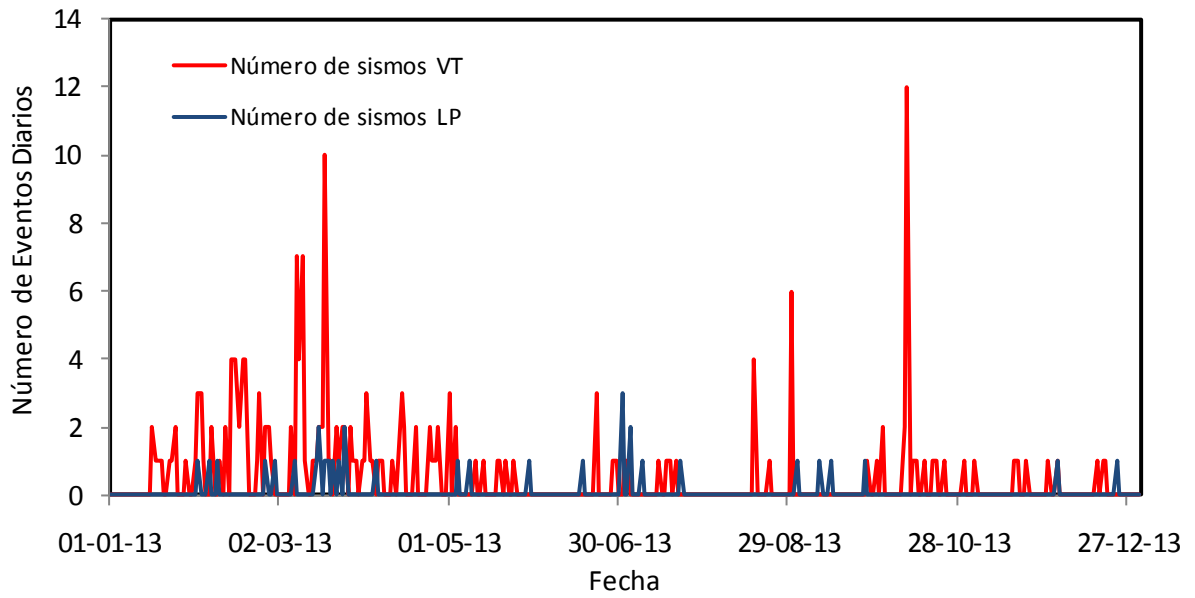


Figura 38. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Nevado del Tolima, Diciembre de 2013.

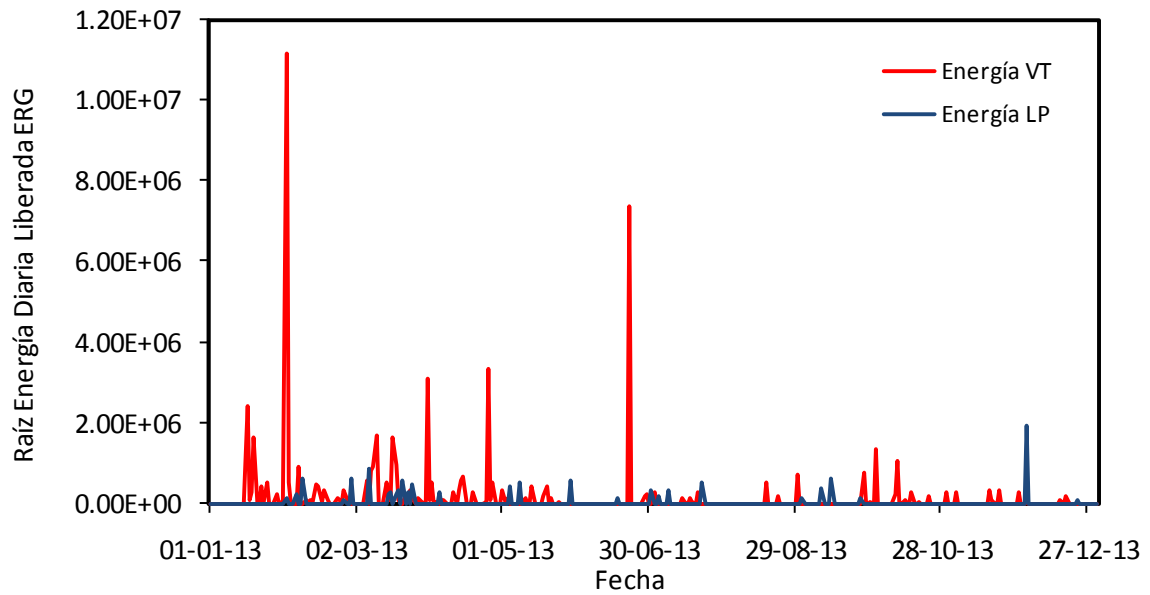


Figura 39. Energía diaria liberada en el Volcán Nevado del Tolima, Diciembre de 2013.

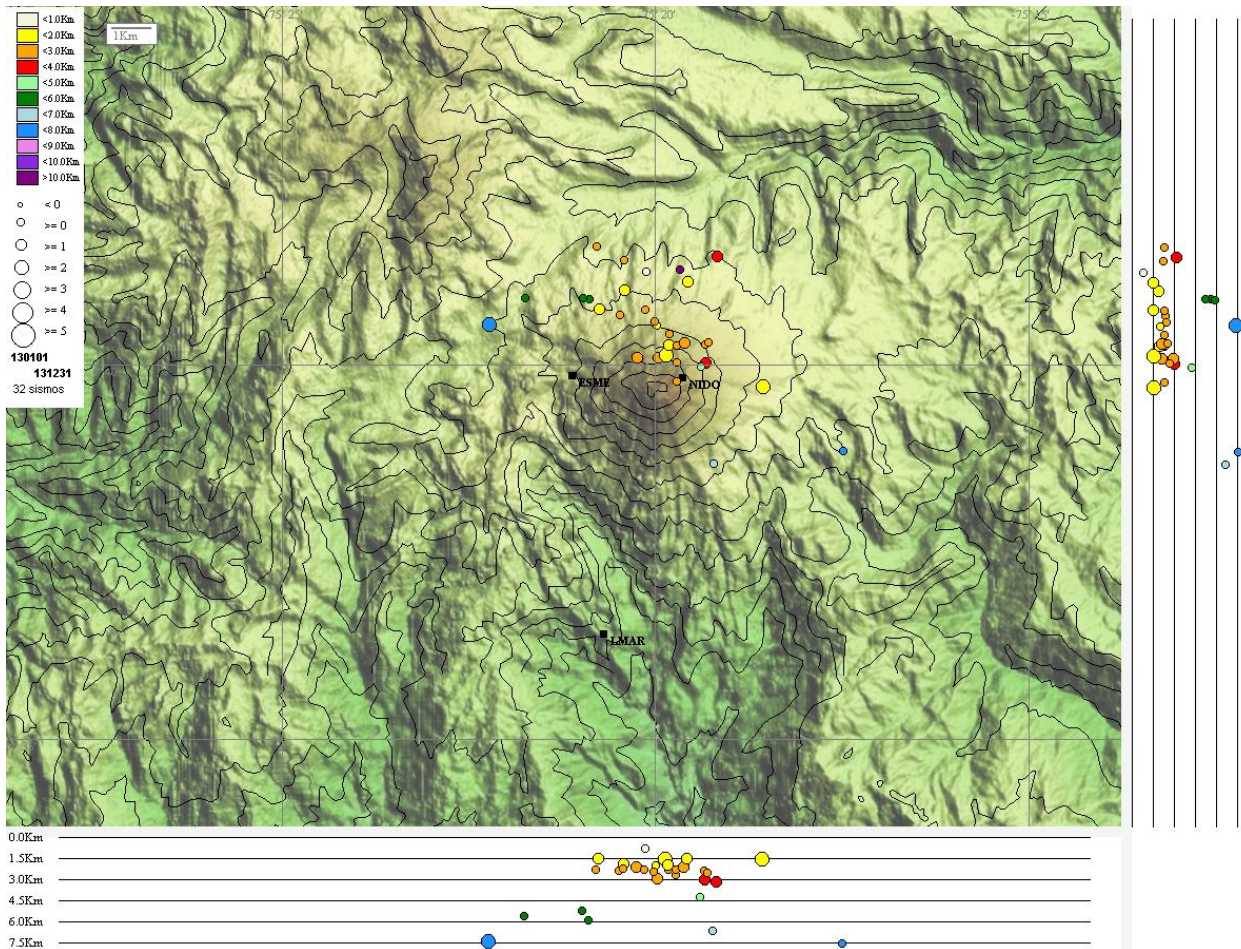


Figura 40. Mapa de localización hipocentral sismos volcano-tectónicos (círculos de colores), Volcán Nevado del Tolima, enero a diciembre de 2013. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas.

### 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.

### 2.3 DEFORMACIÓN

Durante el 2013 funcionó adecuadamente el inclinómetro electrónico ESME. El inclinómetro MARI ha presentado algunos problemas de tipo electrónico. (Figura 41).

El inclinómetro ESME presenta un constante ascenso principalmente en la componente N, registrando cambios fluctuantes del orden de 12  $\mu$ rad, lo cual puede estar asociado con procesos de compensación de masas glaciares, así como de cambios bruscos de temperatura en el lugar. (Figura 42).

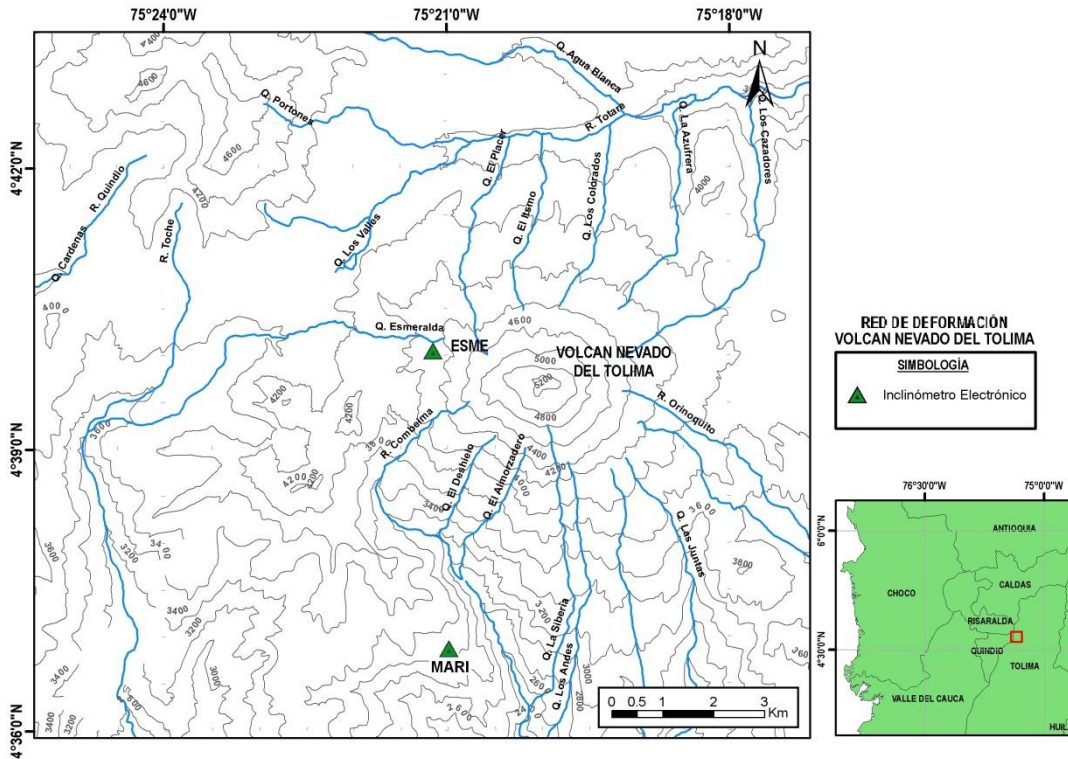


Figura 41. Red de deformación del Volcán Nevado del Tolima.



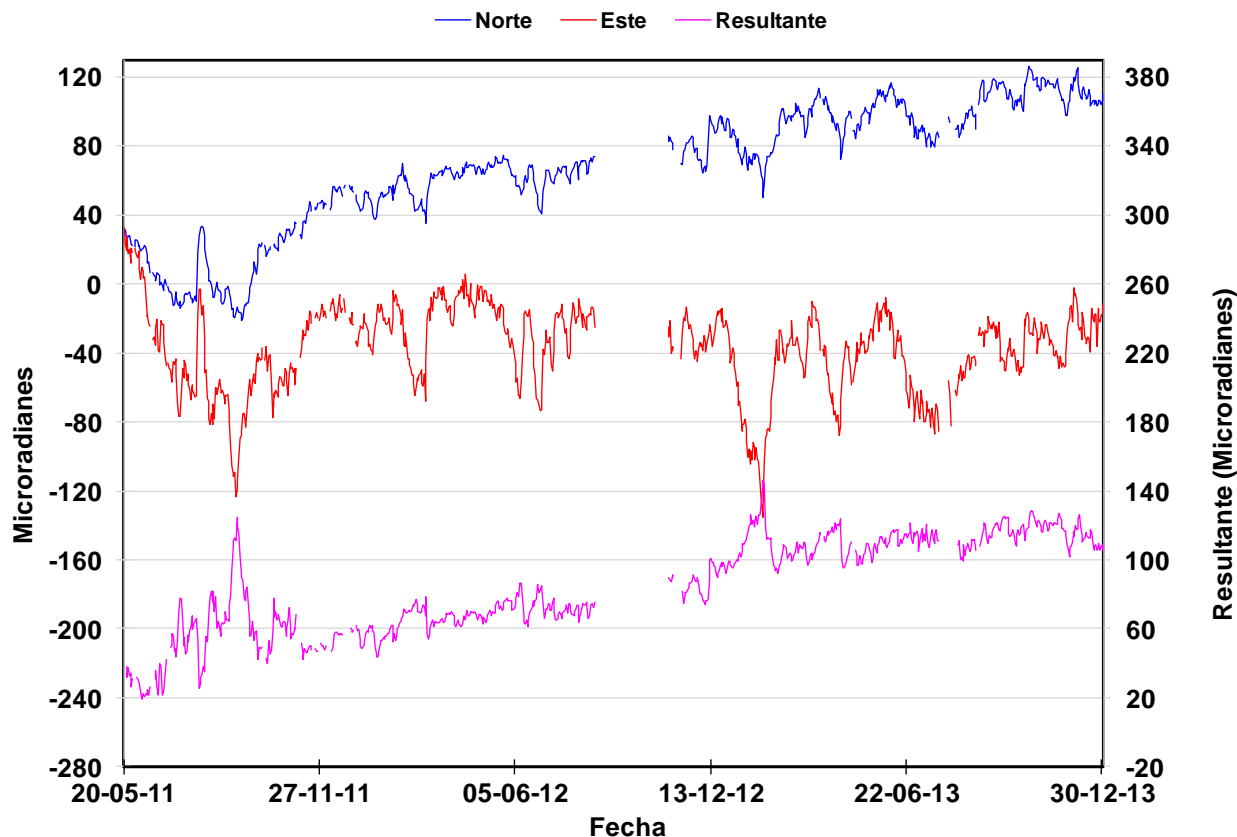


Figura 42. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico ESME hasta Diciembre de 2013.

## 2.4 GEOQUÍMICA

### 2.4.1 Fuentes termales (FT)

Durante los meses de Junio-Julio de 2013 se reinició el monitoreo de los manantiales termales asociados al Volcán Nevado del Tolima, en los cuales se realizaron medidas de parámetros fisicoquímicos y toma de muestra para determinación de aniones y cationes en laboratorio. Se muestrearon cuatro fuentes termales, tres de estas localizadas en la parte superior del volcán (AQUILINO, TERMAL TIBIO Y CAÑÓN) el último manantial termal se encuentra a una distancia significativamente superior localizada en el valle del Combeima (Fuente termal EL RANCHO), en la Tabla 4 se resume los datos fisicoquímicos y la concentración de los iones mayoritarios en dichas fuentes termales.

FUENTE TERMAL	TEMPERATURA (°C)	pH	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (mS/cm)	[Cl <sup>-</sup> ] mg/L	[SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] mg/L
Aquilino	23.5	6.41	1.46	12.0	1200
Termal tibio	35.0	6.03	1.37	7.1	4769
Cañón	39.4	6.33	1.82	9.9	7167
El Rancho	47.5	6.78	3.6	169.4	3105

Tabla 4. Parámetros Fisicoquímicos, concentración de iones mayoritarios fuentes termales Aquilino, Termal Tibio, Cañón y El Rancho. Volcán Nevado del Tolima. 2013.

### 3. VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM)

#### 3.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red telemétrica para este volcán durante el año 2013 fue del **90.7%**.

Durante este año, el trabajo más importante realizado sobre la red de telemetría fue la remodelación y ampliación de la estación repetidora CIELO ROTO (Figura 43), la cual es la encargada de recibir todo el tráfico generado por las estaciones digitales del volcán. Ahora se cuenta con una caseta donde se ubicaron todos los equipos en racks, además, se mejoró considerablemente el sistema eléctrico, el cual ahora cuenta con 16 paneles solares y baterías de menor voltaje pero de mayor amperaje para tener una mayor autonomía en caso de fallos (Figura 44). También se instaló una torre adicional más alta que las anteriores y se mejoró la puesta a tierra de todos los sistemas.



Figura 43. Estación repetidora CIELO ROTO, caseta y torre nueva, rack de equipos.



Figura 44. Estación repetidora CIELO ROTO, baterías y cableado de RF.

Por otra parte, también se instalaron dos sistemas GPS nuevos: SANTA ANA y RODEO y se digitalizó la estación de corto periodo TIGRE (Figura 45).



Figura 45. Nuevas estaciones de GPS, SANTA ANA y RODEO.

## 3.2 SISMOLOGÍA

### 3.2.1 Sismos volcano-tectónicos

Durante el año 2013 la actividad sísmica del Volcán Cerro Machín se caracterizó por el registro de sismos volcano-tectónicos, asociados a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico; la red de estaciones sismológicas (Figura 46) registró un total de 2035 eventos de carácter volcano-tectónico (VT) (Figura 47). En general estos eventos sísmicos presentaron niveles bajos de energía (Figura 48); La actividad sísmica se localizó principalmente en el domo principal a profundidades que variaron entre 1 y 4.5 km; al suroriente a profundidades que variaron entre 4 y 18 km; y en menor proporción hacia el sector sur y suroccidental a profundidades entre 4 y 14 km (Figura 49).

La máxima magnitud registrada durante el año fue de 2.9  $M_L$  (magnitud local), asociada a un sismo ocurrido el 10 de Febrero a las 17:40 respectivamente (hora local), durante un enjambre sísmico en donde se registraron alrededor de 380 eventos localizados al sur del domo principal a profundidades que oscilaron entre 2.0 y 4.5 km (Figura 50). Otro incremento importante se registró el 22 de junio con un total de 248 sismos de baja magnitud localizados al noroccidente y suroccidente del domo principal (Figura 51).

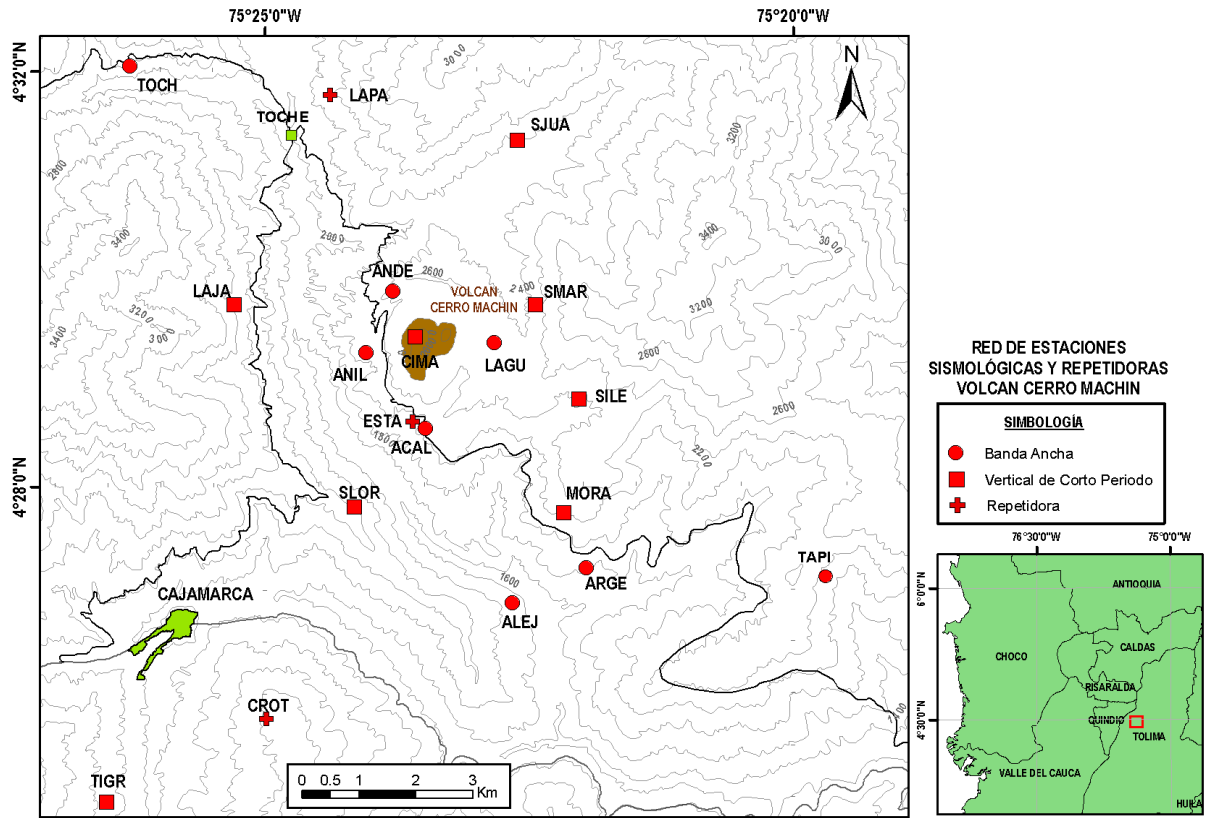


Figura 46. Red de Estaciones Sismológicas Volcán Cerro Machín.

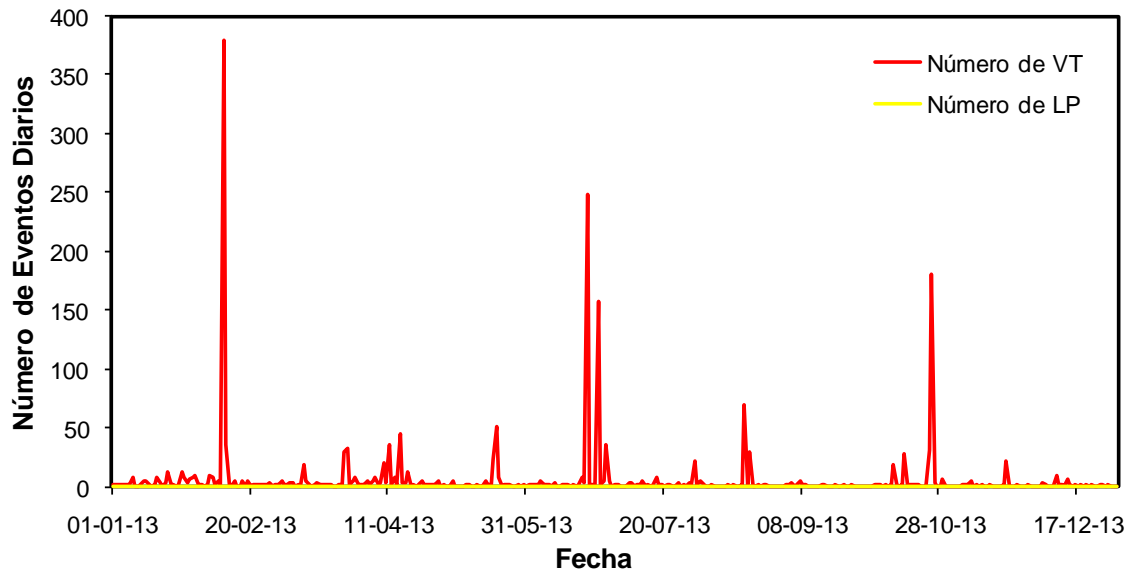


Figura 47. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Cerro Machín, 2013.

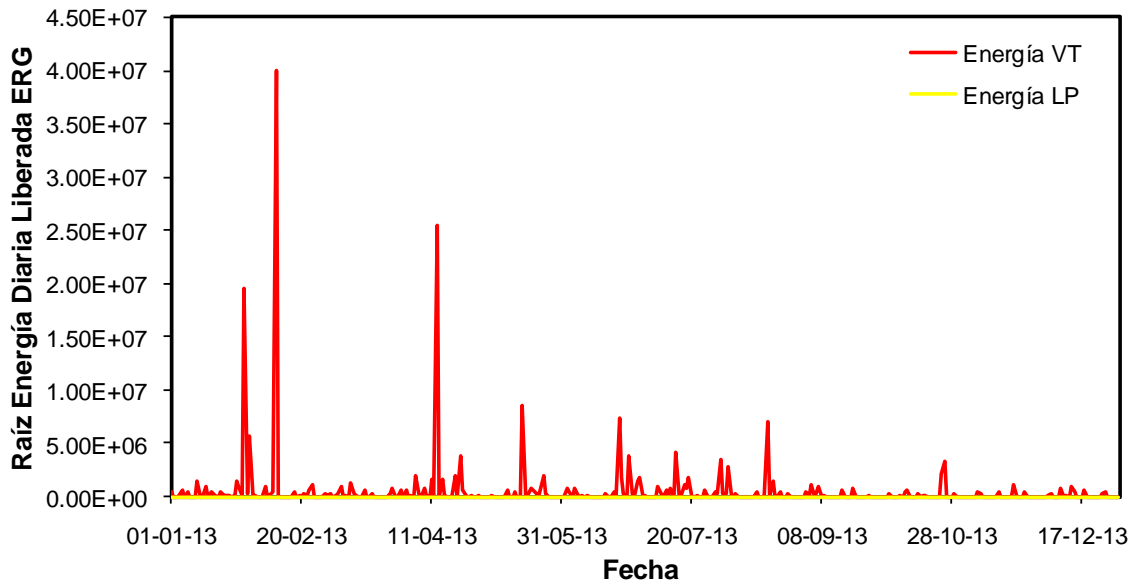


Figura 48. Energía sísmica diaria liberada por el Volcán Cerro Machín, 2013.

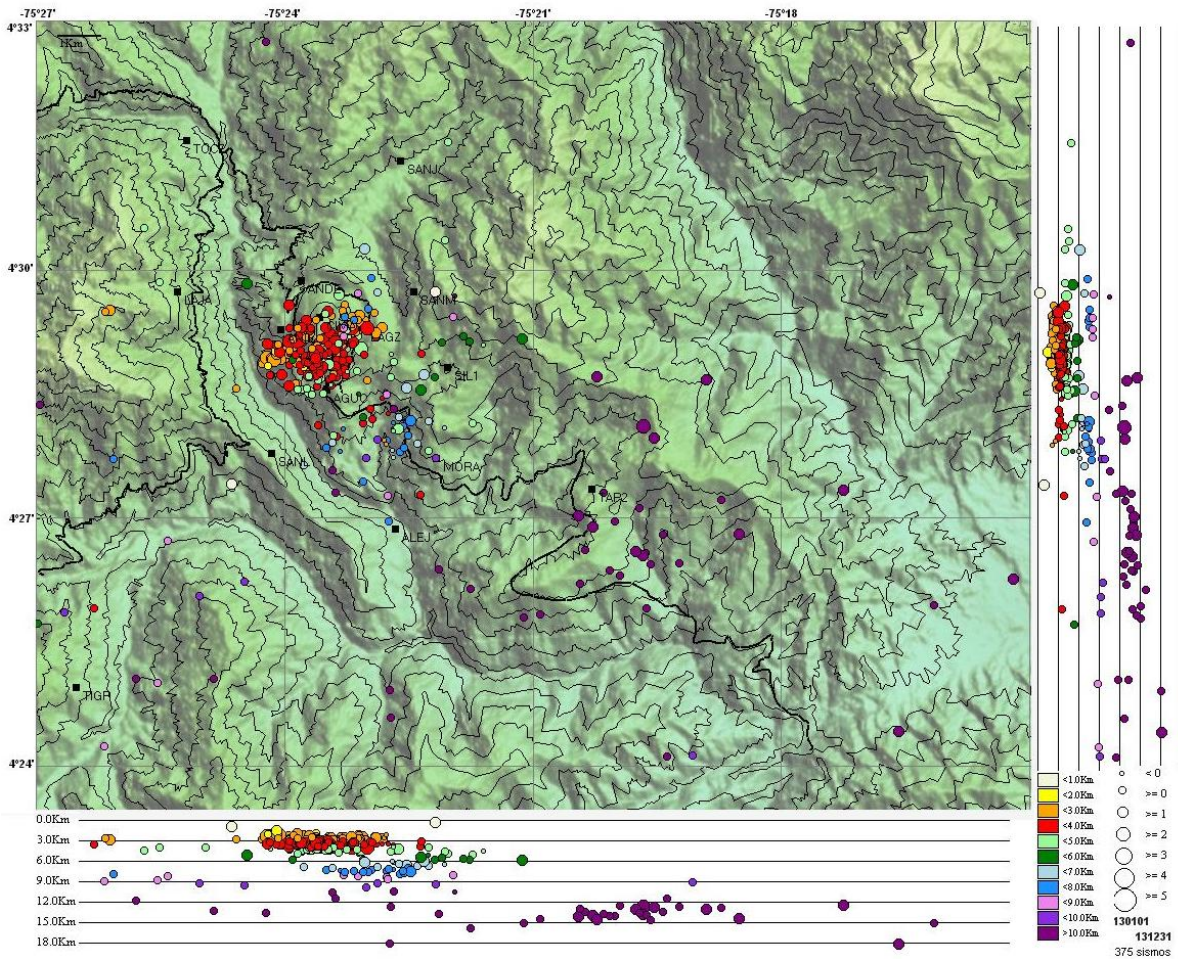


Figura 49. Localización hipocentral de sismos volcano-tectónicos en el Volcán Cerro Machín, año 2013, los cuadrados negros representan las estaciones sísmológicas.

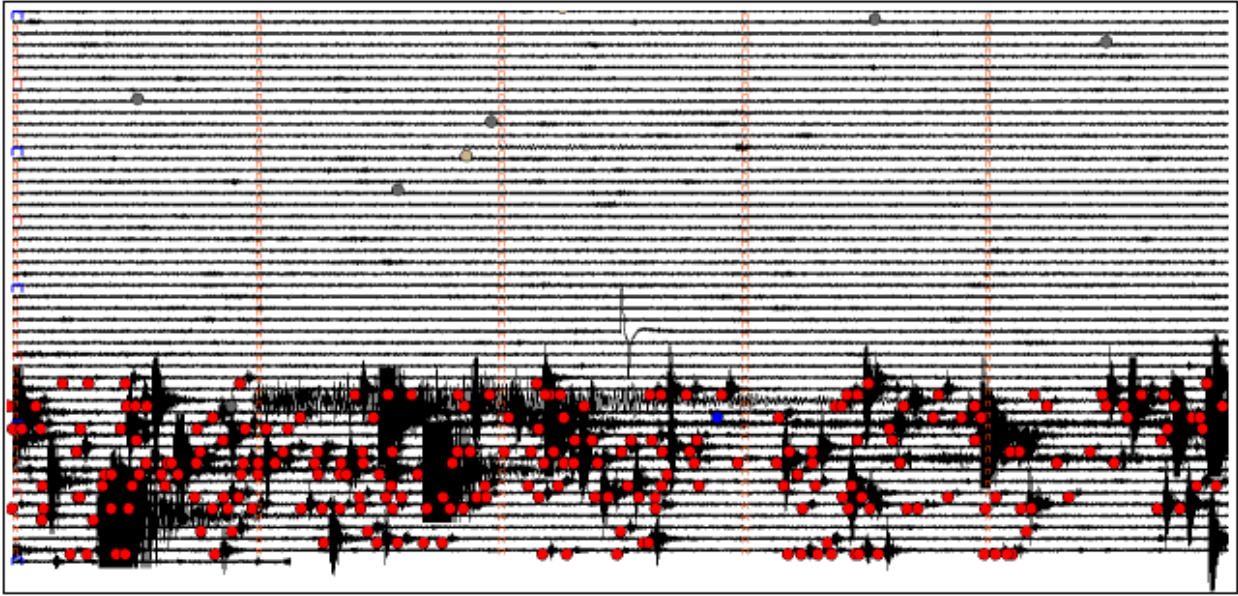


Figura 50. Sismograma representativo del enjambre sísmico del 10 de febrero de 2013. Los círculos rojos indican la clasificación del evento sísmico VT.

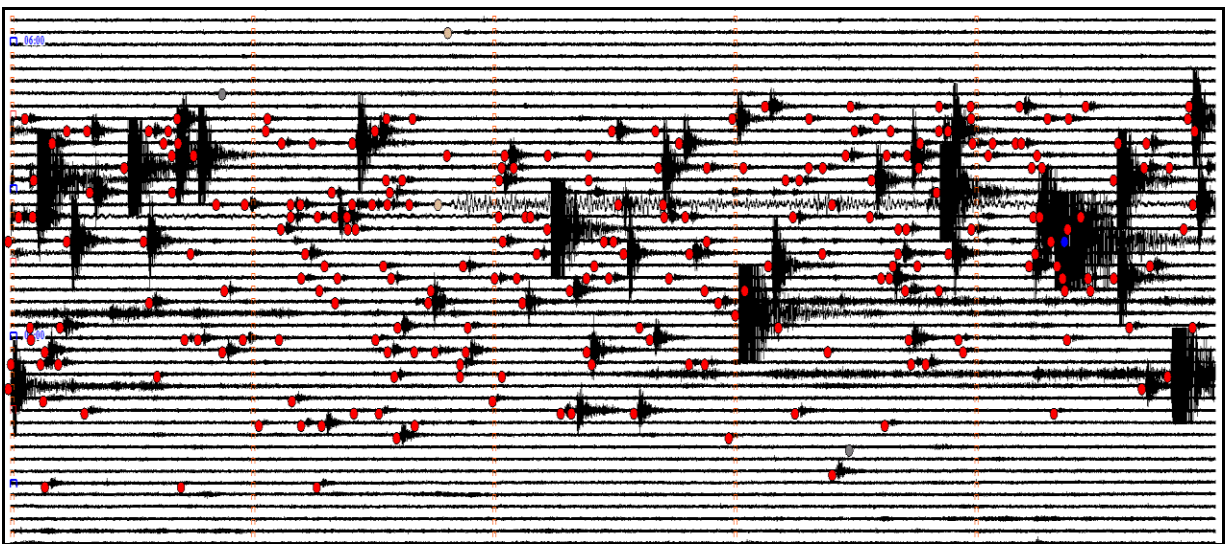


Figura 51. Sismograma representativo del incremento de actividad del Volcán Cerro Machín durante el mes de Junio. Los círculos rojos indican la clasificación del evento sísmico VT.

### 3.3 DEFORMACIÓN

Durante el 2013 operaron correctamente cinco estaciones GPS permanentes y cuatro de los cinco inclinómetros electrónicos instalados en el volcán. Adicionalmente se adelantó la instalación de una red de GPS de campaña, con el fin de complementar la red de estaciones GPS permanente y el procesamiento diferencial de los datos, así como la toma de datos gravimétricos

La Figura 52 muestra la red de deformación del Volcán Cerro Machín. Las estaciones GPS LAGU, MRAL SECR, SANA y RODE, muestran en general líneas bases estables, sin registrar procesos deformativos importantes en la estructura volcánica.

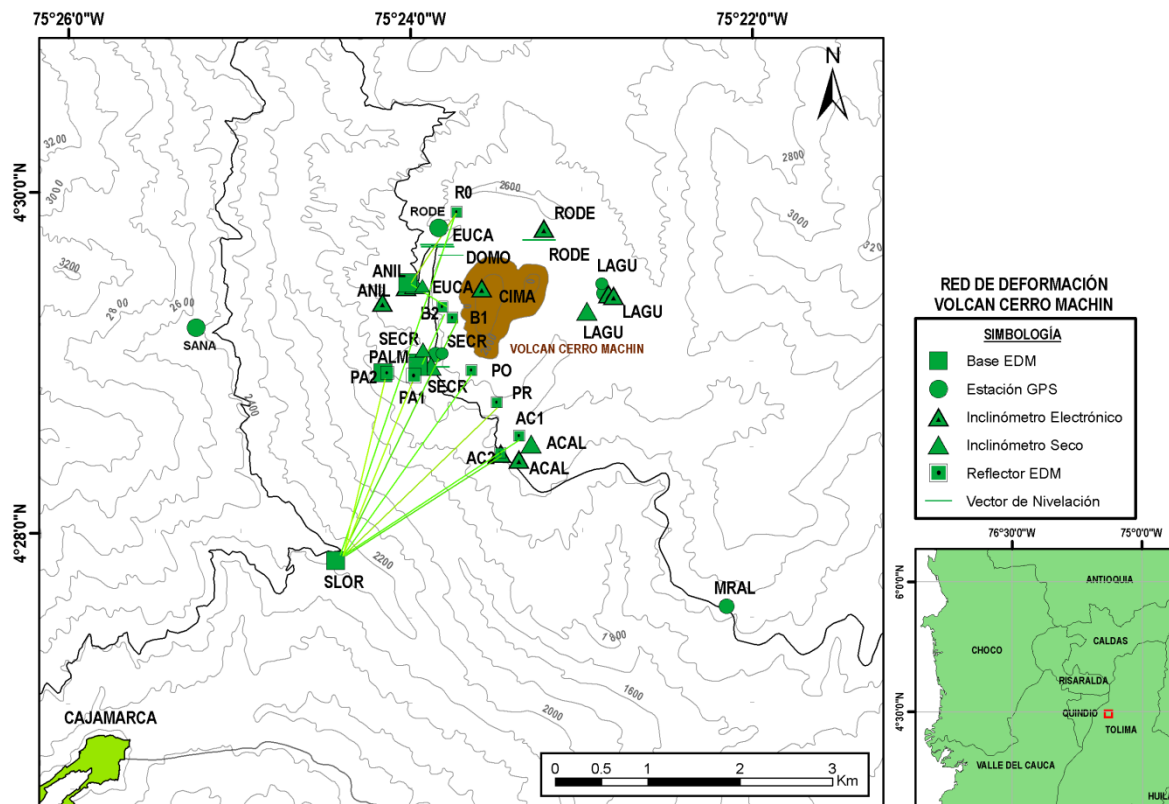


Figura 52. Red de deformación del Volcán Cerro Machín.

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 2013 de 191  $\mu$ rad (Figura 53 y Figura 54).



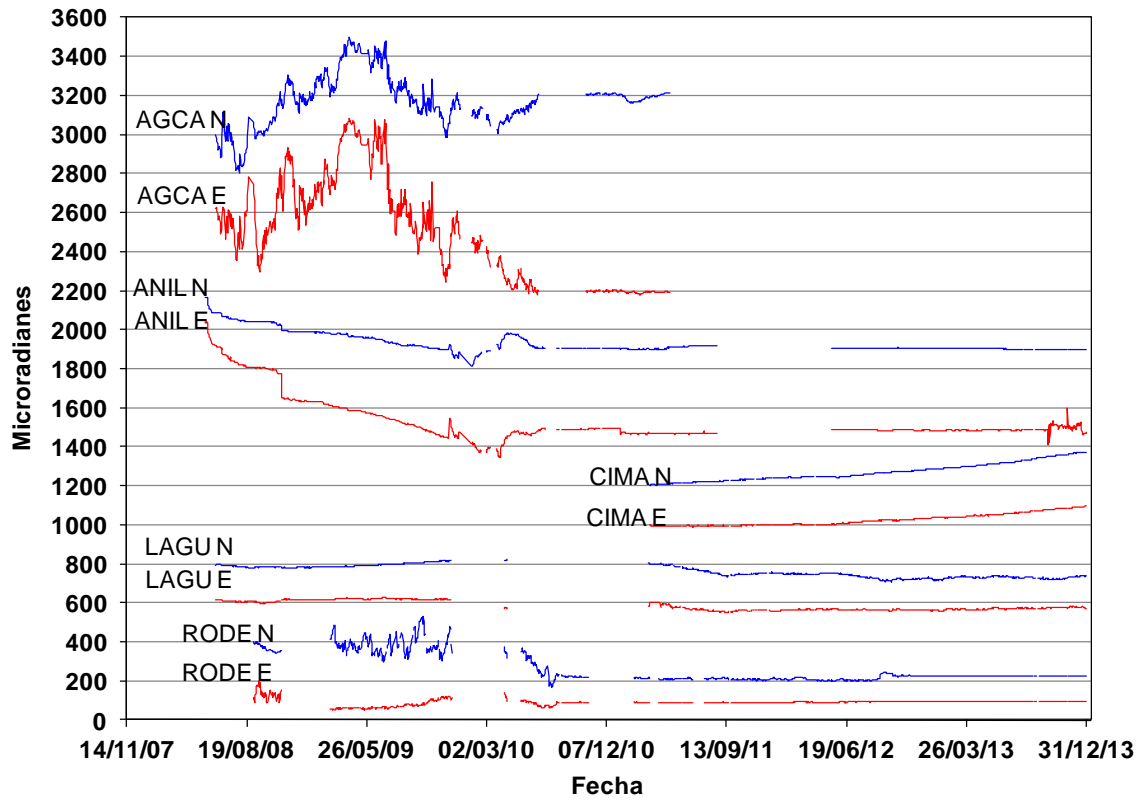


Figura 53. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) de los inclinómetros electrónicos AGCA, ANIL, CIMA, LAGU y RODE de la red de deformación del Volcán Cerro Machín hasta Diciembre de 2013.

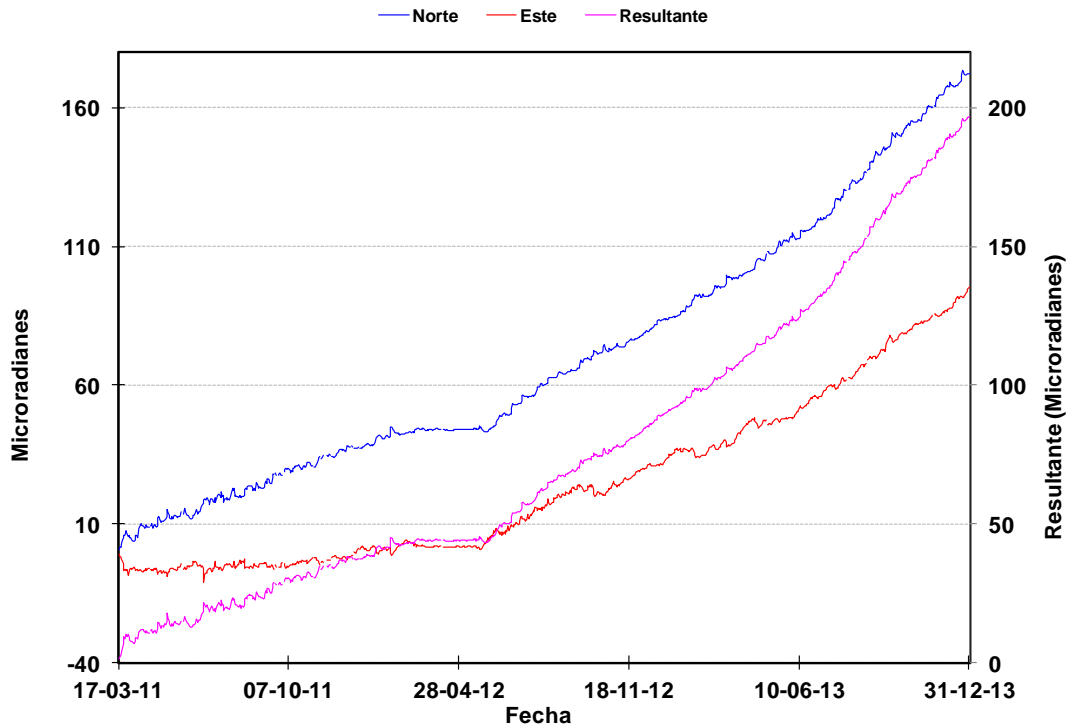


Figura 54. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónicos CIMA hasta Diciembre de 2013.

Durante el año se realizaron mediciones de control topográfico de las bases EDM Anillo, la Palma y San Lorenzo (Figura 55, Figura 56 y Figura 57). Adicionalmente se instalaron nuevos reflectores de la base Anillo con el fin de monitorear el actual proceso que registra la estación de Inclinometría electrónica CIMA localizada en el Domo principal.

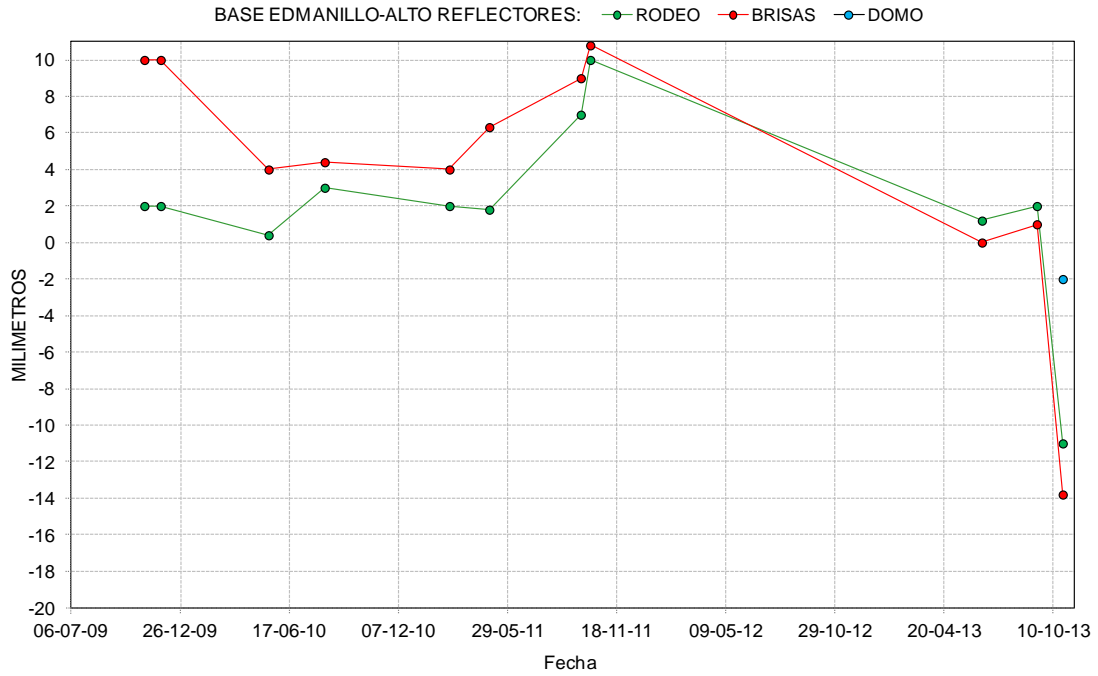


Figura 55. Ocupaciones de la Base EDM ANILLO. Durante el 2013, VCM.

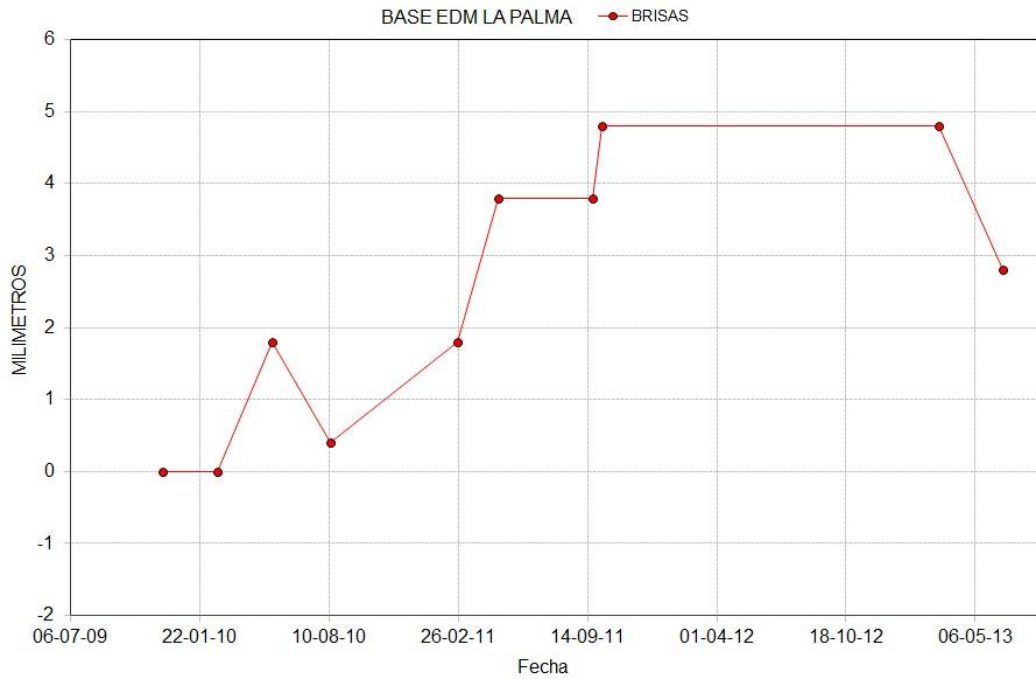


Figura 56. Ocupaciones de la Base EDM LA PALMA. Durante el 2013, VCM.

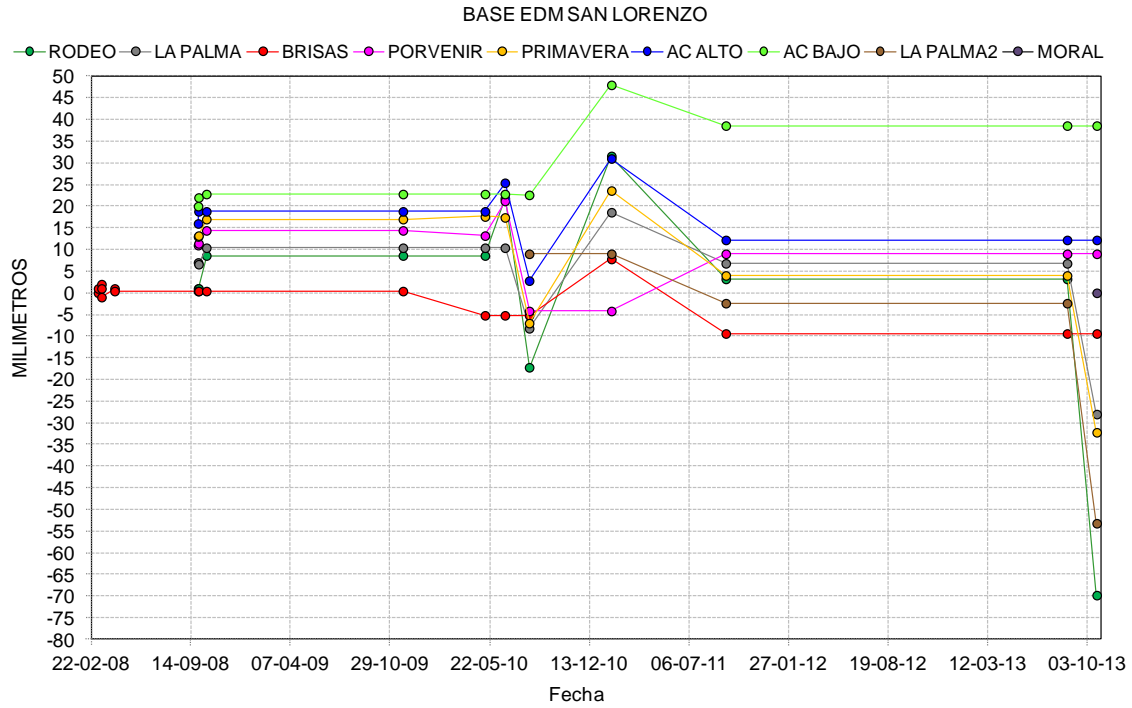


Figura 57. Ocupaciones de la Base EDM SAN LORENZO. Durante el 2013, VCM.

### 3.4 GEOQUÍMICA

Durante el año 2013 el grupo de Geoquímica del OVSM realizó muestreos, análisis in situ y en el laboratorio, de las Fuentes Termales y estaciones de CO<sub>2</sub>. También se realizó monitoreo permanente de las estaciones de Gas Radón. En la Figura 58 se presenta el mapa con las estaciones geoquímicas en el VCM.

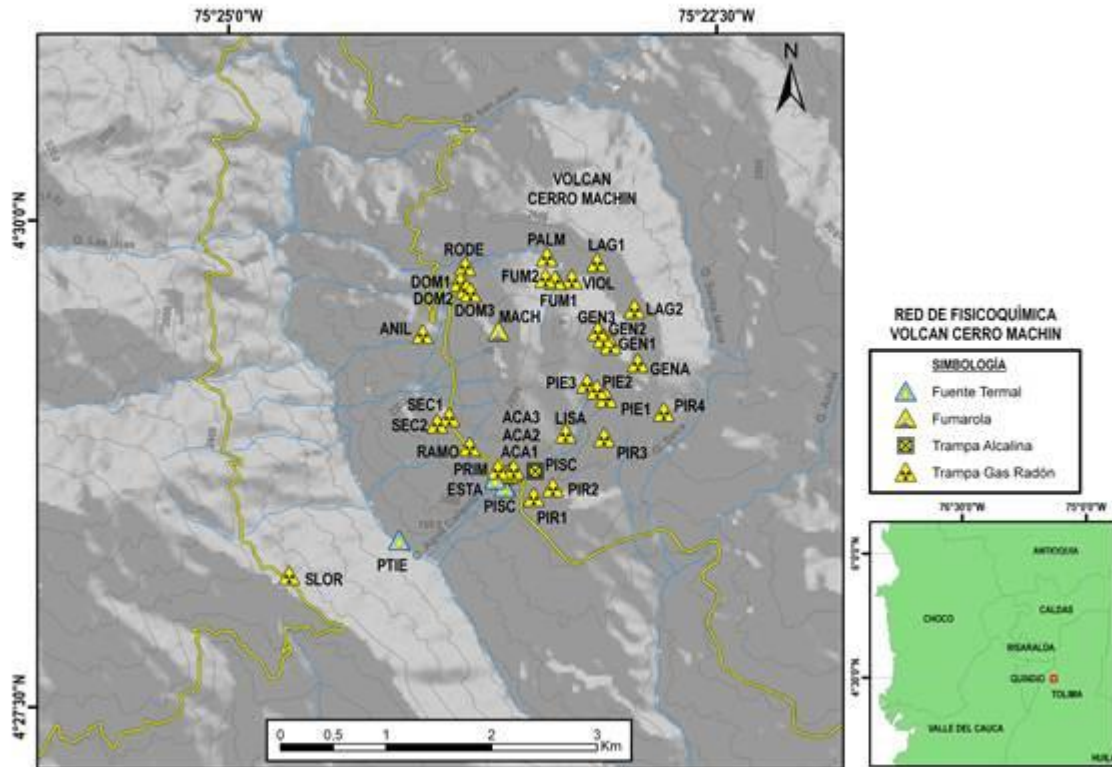


Figura 58. Mapa estaciones Geoquímicas. Volcán Cerro Machín.

### 3.4.1 Medidas de Gas Radón

Las mediciones se iniciaron en el mes de Abril, y se encontraron incrementos significativos en cada estación durante una época específica. Durante la primera semana del mes de Abril se presentaron incrementos significativos, las estaciones con mayor desgasificación de Radón fueron RODEO, VIOLETAS, FUMA 1, SECRETA 1, SECRETA 2, LAGUNA 1, PIEDRAS 1, SAN LORENZO Y PRIMAVERA en las cuales las concentraciones alcanzaron a estar por encima de los 2000 pCi/L. El incremento en la cantidad de radón en el mes de julio también se evidenció en las estaciones PALMAS, FUMA 1, SECRETA 2, GENA, SAN LORENZO Y PRIMAVERA, (Figura 59). Los incrementos presentados en la concentración de gas radón pueden estar relacionados con la sismicidad volcano-tectónica registrada en el VCM durante el año 2013.

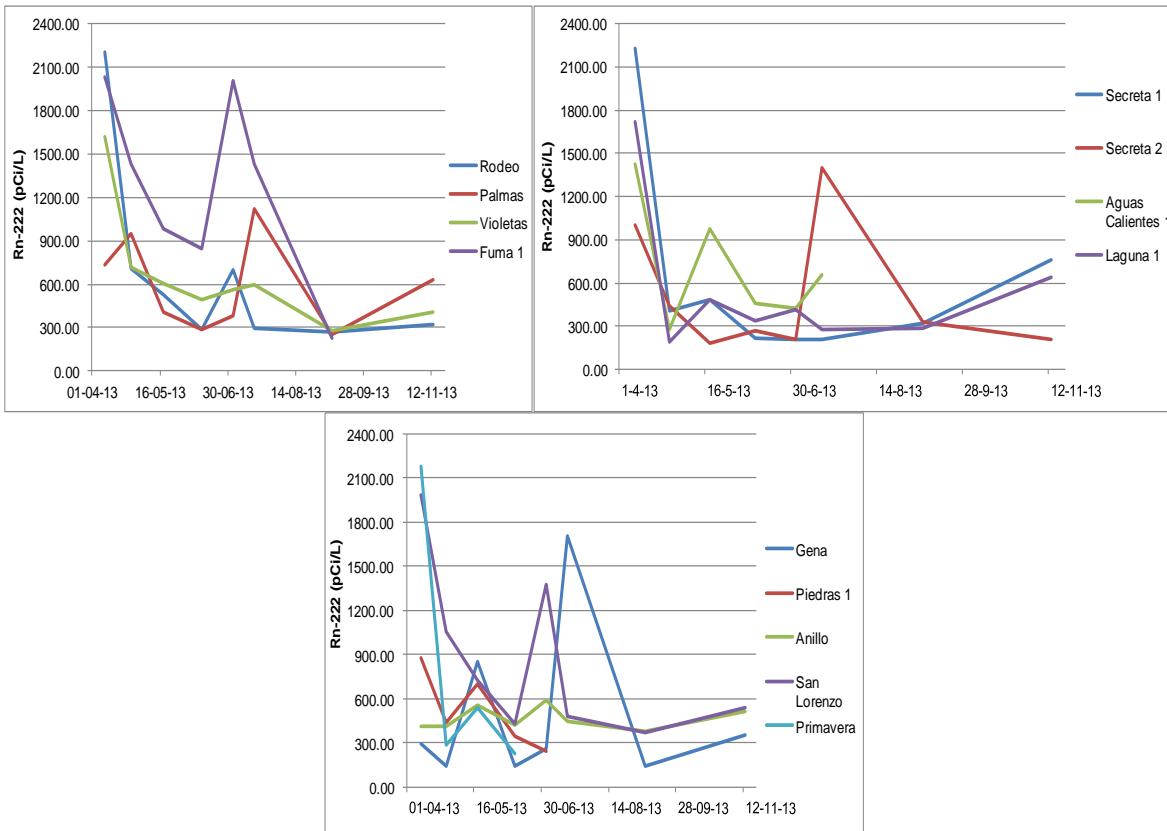


Figura 59. Variación de los niveles de Radón en suelo. Volcán Cerro Machín. 2013.

### 3.4.2 Fuentes Termales (FT)

En el año 2013 se realizó monitoreo periódico en dos fuentes termales, PISCINA Y ESTATUAS. Los valores en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales durante todo el año presentaron algunos cambios. En la Figura 60 se aprecia el comportamiento de la temperatura con el tiempo para las dos FT, allí se aprecia que el nacimiento termal PISCINA presentó variaciones durante este año registrando temperaturas entre 79.7 °C y 83.3 °C. La FT ESTATUAS no mostró cambios significativos en su temperatura.

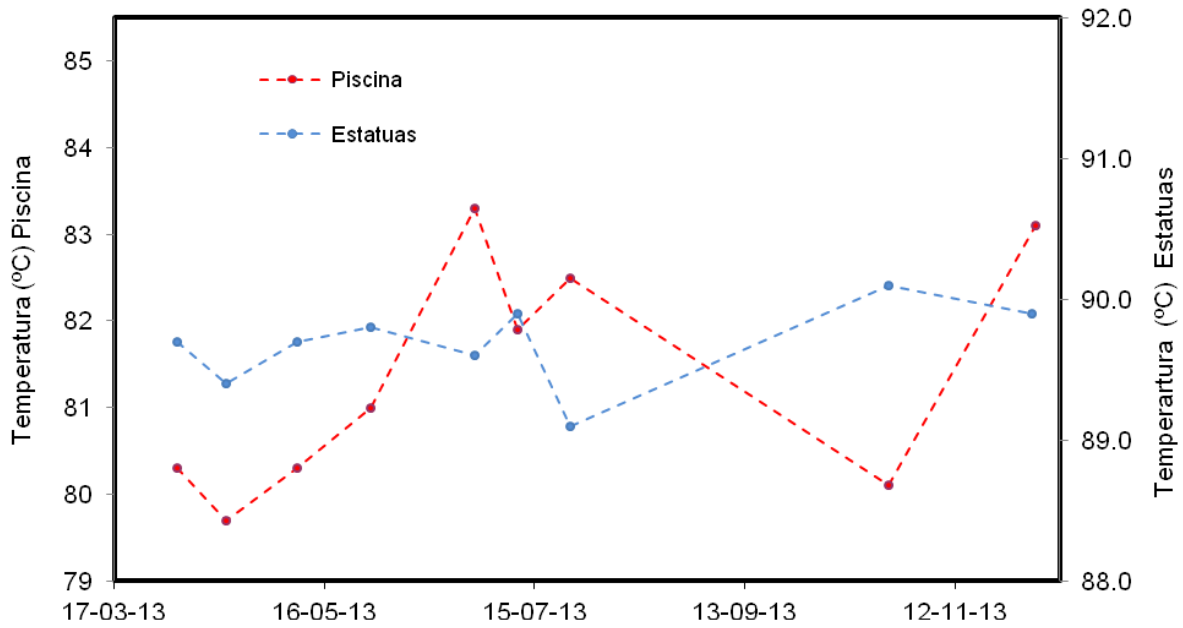


Figura 60. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: PISCINA Y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2013.

En lo referente al pH, se observan cambios significativos en las dos fuentes termales estudiadas, la fuente termal PISCINA tiene un promedio de 7.85 en el valor de pH, para los meses de mayo y julio de 2013 se evidenció un incremento significativo alcanzando un valor de 8.2 en el mes de mayo y 8.8 en el mes de julio, en la fuente termal ESTATUAS el promedio en el valor de pH es de 7.62, en esta fuente termal se notó aumento en el valor de pH en el mes de mayo y julio registrando valores de 8.5 y 8.6 respectivamente, para el mes de diciembre se registró un valor de pH de 6 evidenciando una disminución relativa en este parámetro analizado (Figura 61).

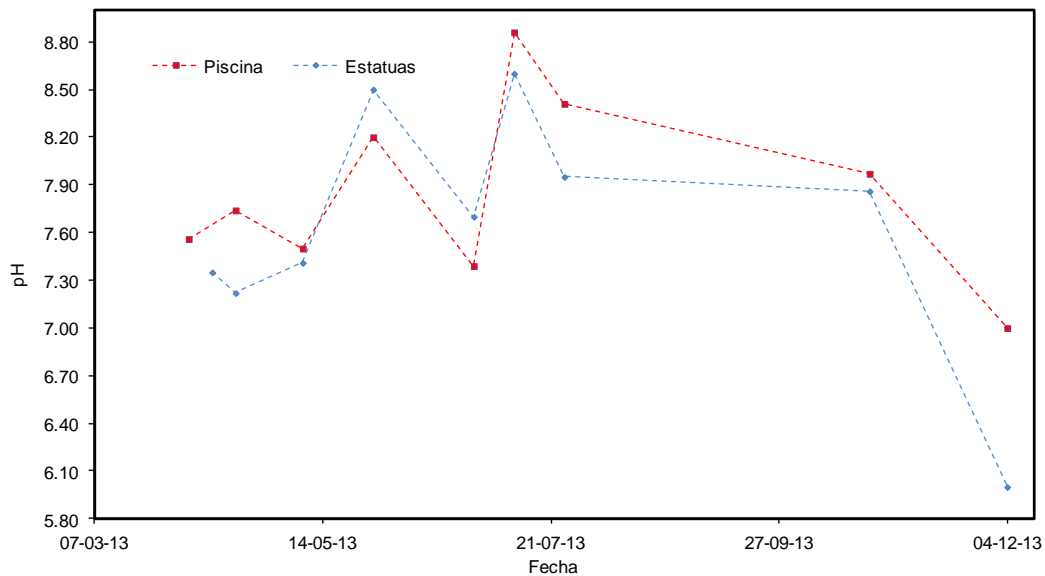


Figura 61. Variación del pH en Fuentes Termales: PISCINA Y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2013.

La conductividad eléctrica de las fuentes termales monitoreadas ha venido presentando variaciones importantes, sin embargo debido a problemas técnicos este monitoreo no pudo ser constante durante todo el año, lo que impide un mejor entendimiento de los datos. La conductividad eléctrica para PISCINA Y ESTATUAS presenta un valor promedio de 3.3 mS/cm. Para el mes de diciembre se evidencia disminución en este valor, lo cual puede estar asociado a disolución de las rocas circundantes al nacimiento, lo cual ocurre en ambientes con pH muy bajos y se observaron comportamientos inversos, (Figura 62).

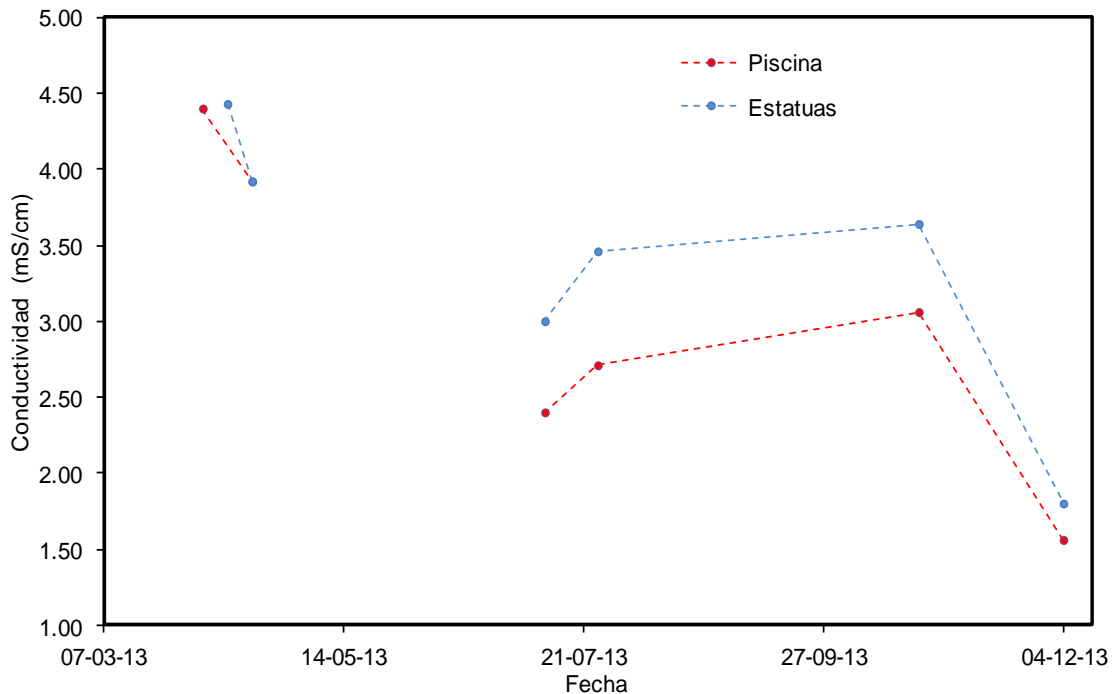


Figura 62. Variación de la conductividad eléctrica en Fuentes Termales: PISCINA Y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín, 2013.

Respecto al contenido de aniones mayoritarios (Figura 63) se presentaron variaciones en la concentración de Sulfatos en la fuente termal PISCINA el valor medio de concentración es de 207 ppm, en el mes de mayo se notó incremento alcanzando un valor de 320 ppm y para el mes de diciembre la concentración de sulfatos disminuyó, registrando una concentración de 68 ppm, en la fuente termal ESTATUAS el valor medio de concentración de sulfatos es de 318 ppm, se evidenció incremento en la concentración en el mes de abril, alcanzando una concentración máxima de 410 ppm. En lo referente a la concentración de Cloruros los valores no sufrieron fluctuaciones durante todo el año, la concentración permaneció dentro de los valores de su línea base.



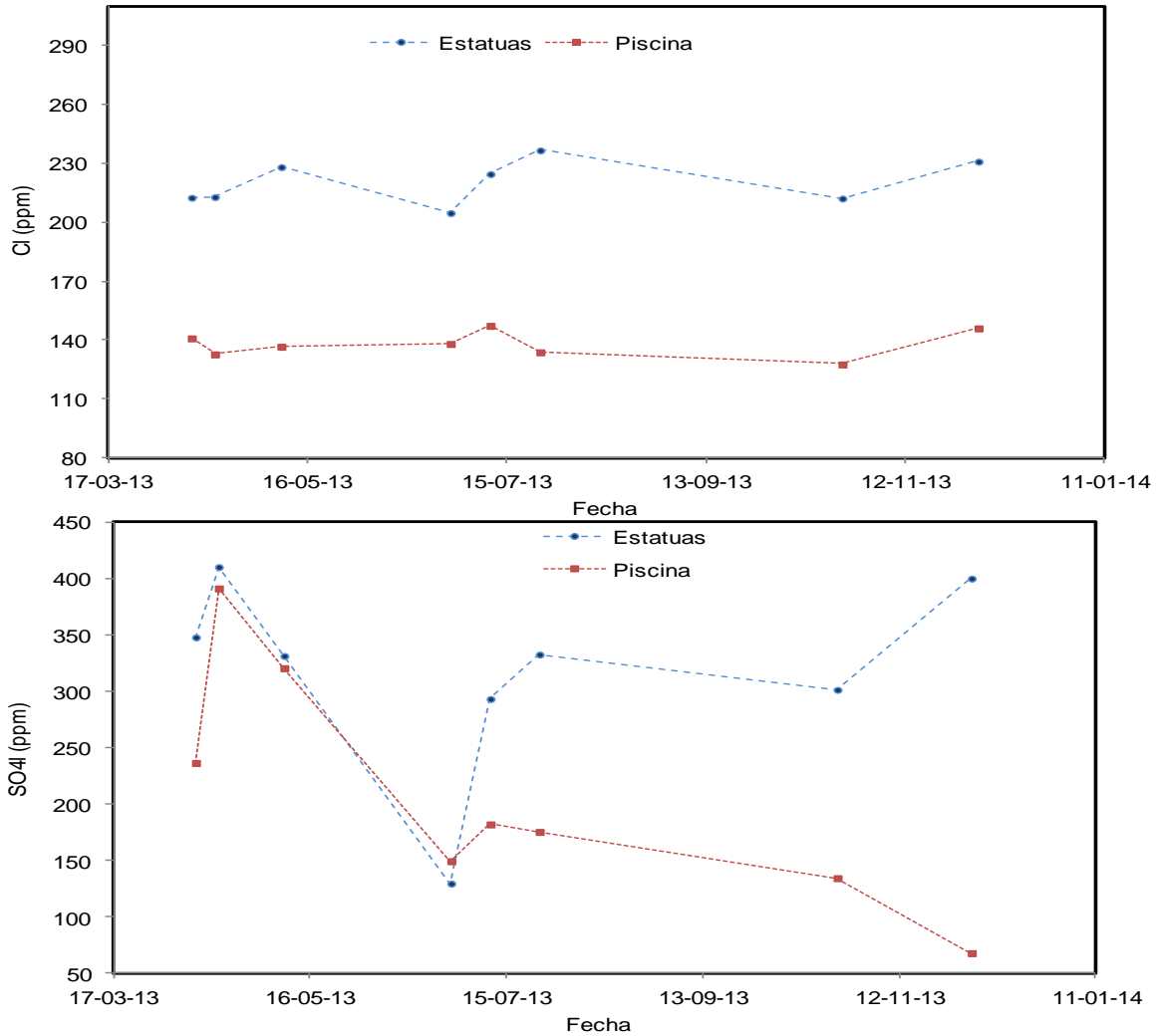


Figura 63. Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales: PISCINA Y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2013.

### 3.5 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS

#### 3.5.1 Magnetometría

Durante el año 2013, 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 64 a,b,c,d).

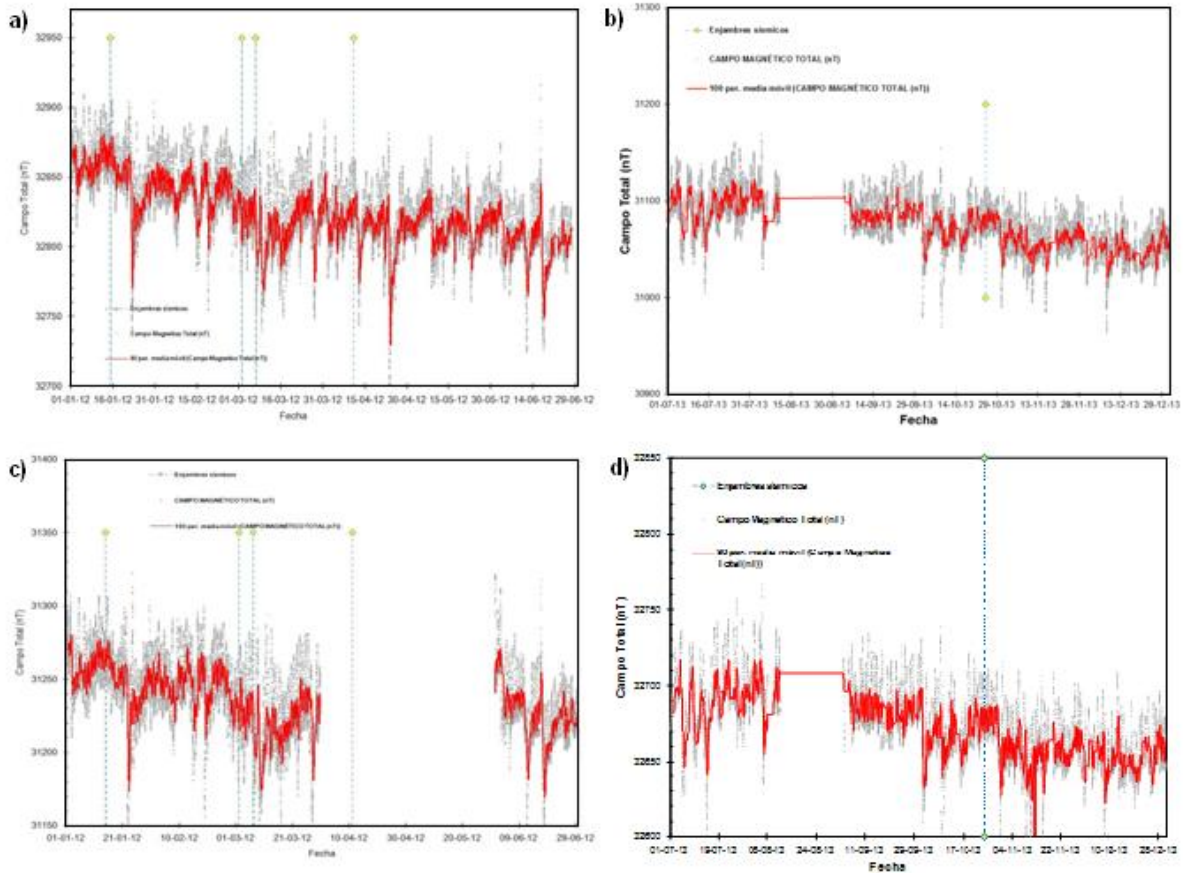


Figura 64. Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín, a) Estación DOMO, b) Estación AGUAS CALIENTES Enero - Junio de 2013. c) Estación DOMO, d) Estación AGUAS CALIENTES Julio –Diciembre de 2013.

### 3.5.2 Potencial espontáneo

La Figura 65 muestra los cambios en el potencial espontáneo en la estación DOMO entre Enero y Agosto del año 2013, con una tendencia estable en la componente N-S y pequeñas variaciones del orden de 50 milivoltios en la componente E-W. A partir del mes de Septiembre y hasta finales de Diciembre de 2013 esta estación presentó fallos técnicos del equipo, que a la fecha de emisión de este informe ya se encuentran reparados y esta estación se encuentra funcionando correctamente.

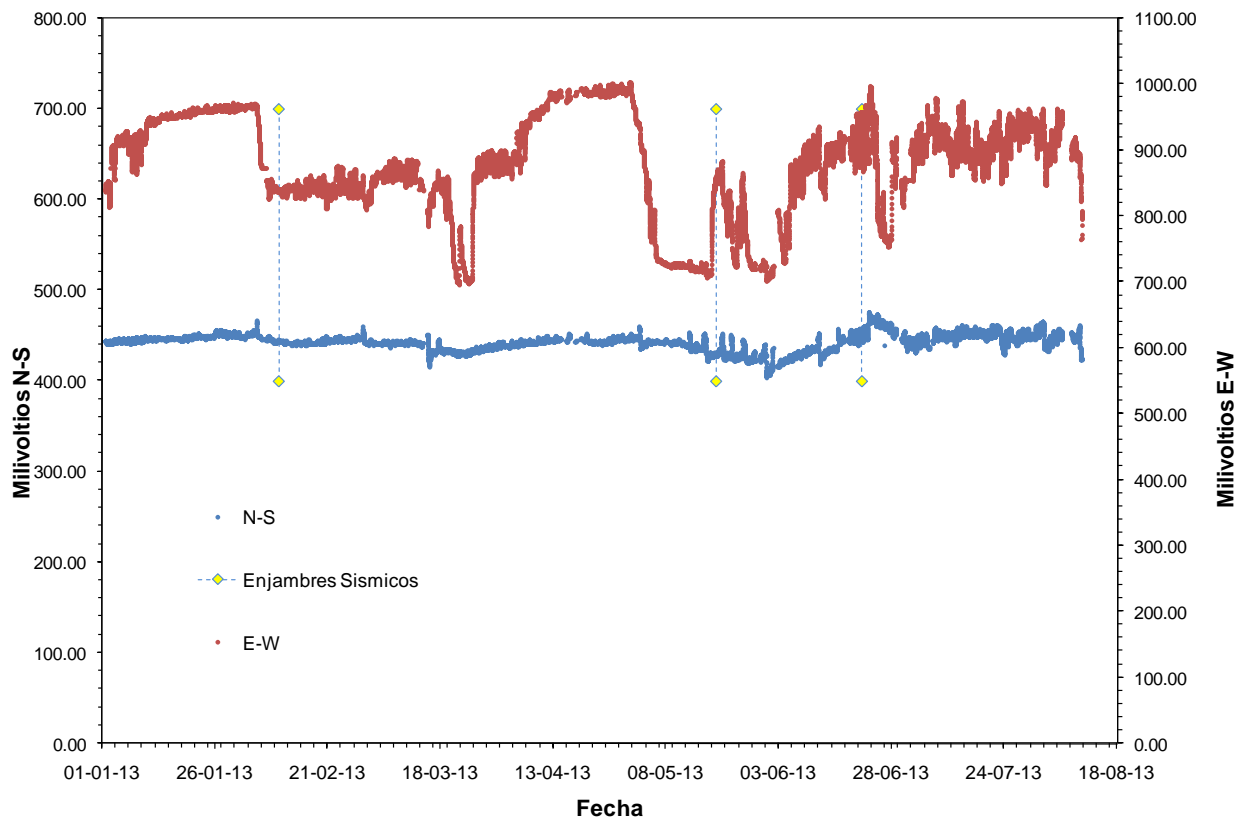


Figura 65. Valores registrados de potencial espontáneo Enero-Agosto de 2013, en la estación DOMO en el Volcán Cerro Machín.

## 4. VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)

### 4.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red telemétrica para este volcán durante el año 2013 fue del **79.3%**

Durante esta año se amplió significativamente la red de monitoreo a través de la instalación de las estaciones de corto periodo SIBERIA y BRASIL (Figura 66), siendo esta última una estación digital, adicionalmente fue instalada una estación de banda ancha en la cima del volcán la cual tiene como nombre TORRE (Figura 67).



Figura 66. Nuevas estaciones de corto periodo, SIBERIA y BRASIL.



Figura 67. Nueva estación banda ancha TORRE.

## 4.2 SISMOLOGÍA

El Volcán Cerro Bravo durante todo el año 2013 presentó un nivel bajo de actividad. Durante este período la red de vigilancia sísmica de este volcán (Figura 68) registró esporádicamente eventos sísmicos relacionados con actividad de fluidos al interior del edificio volcánico, de carácter profundo. En la Figura 69 se muestra una señal representativa de este tipo de sismicidad. En menor proporción se registraron algunos eventos asociados al fracturamiento de roca al interior del edificio volcánico. Adicionalmente, se registraron algunas señales asociadas a desprendimientos de roca y/o avalanchas.

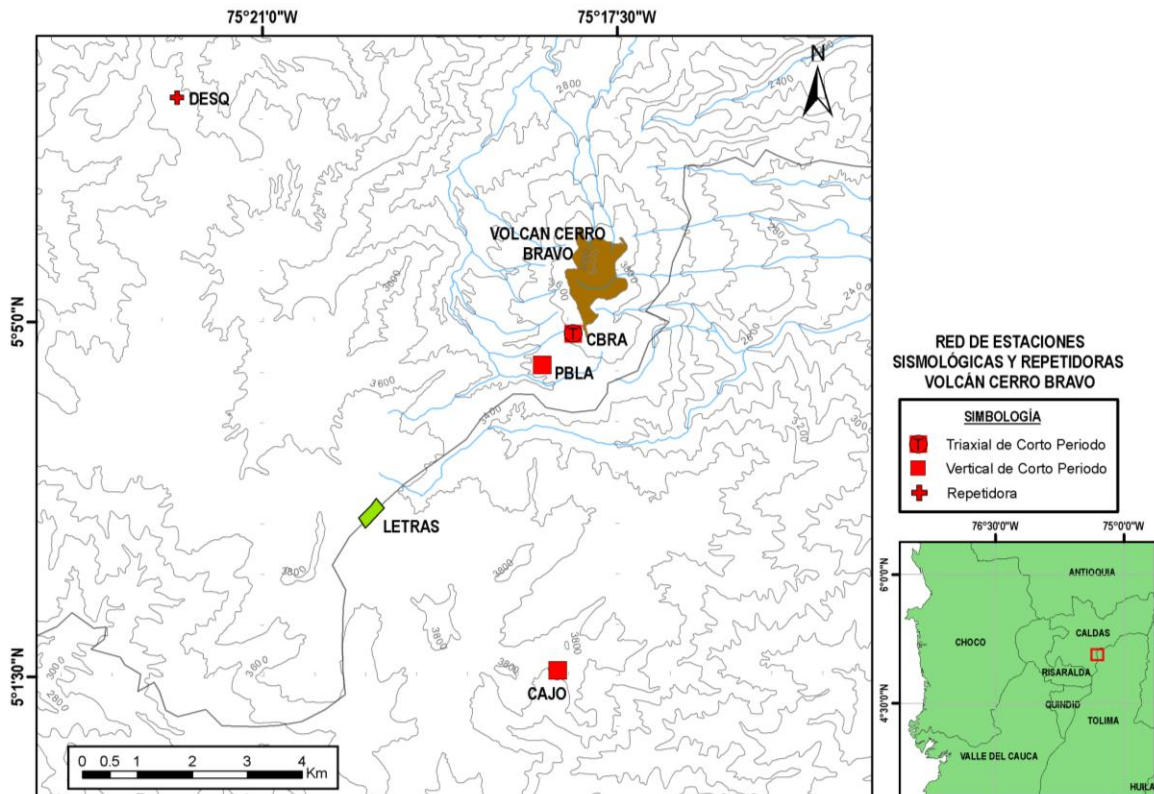


Figura 68. Red vigilancia sísmica, Volcán Cerro Bravo.

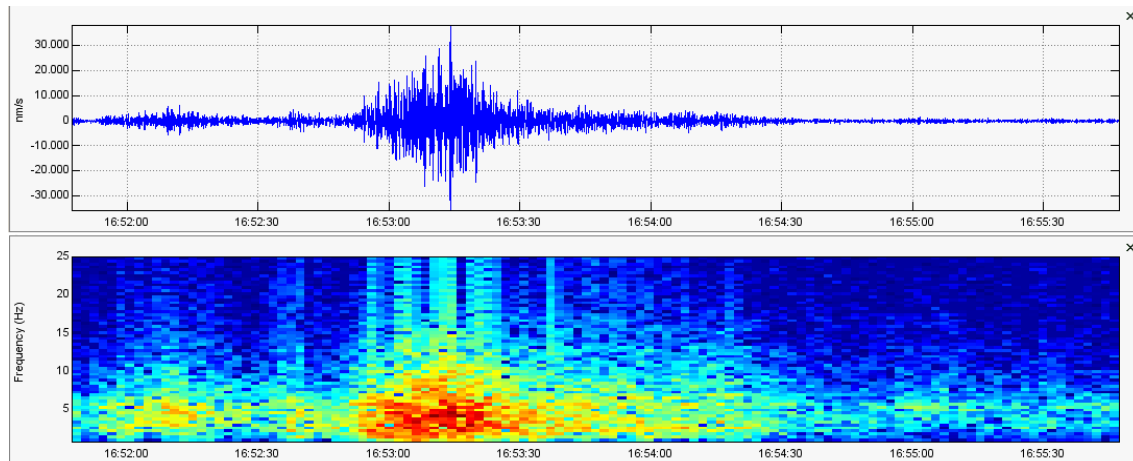


Figura 69. Registro sísmico y espectro asociado al sismo de largo periodo de mayor energía durante el mes, registrado el día 15 de Marzo a las 11:52 (hora local). El eje horizontal de la imagen es el tiempo (s) y el eje vertical el desplazamiento reducido (nm/s) y la frecuencia (Hz).

### 4.3 DEFORMACIÓN

Durante 2013 operó correctamente el inclinómetro electrónico CBRA localizado al suroccidente de la estructura volcánica. La Figura 70 muestra la red de deformación del Volcán Cerro Bravo. El comportamiento del inclinómetro electrónico CBRA se caracterizó por mostrar estabilidad en sus dos componentes manteniéndose con fluctuaciones dentro de  $\pm 10 \mu\text{rad}$ , aunque a finales del segundo semestre evaluado registró un descenso importante en sus componentes, lo cual podría estar relacionado con problemas de tipo electrónico, (Figura 71). Durante el año no se realizaron mediciones de control topográfico ni de distancias inclinadas.

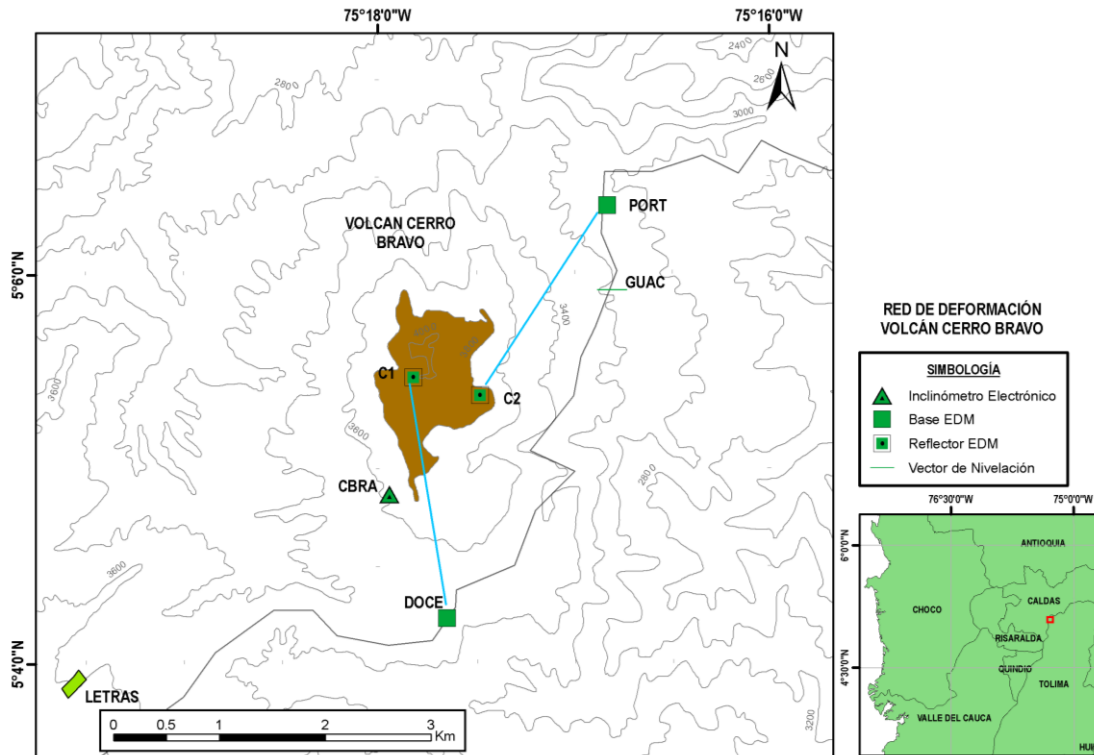


Figura 70. Red de deformación del Volcán Cerro Bravo.

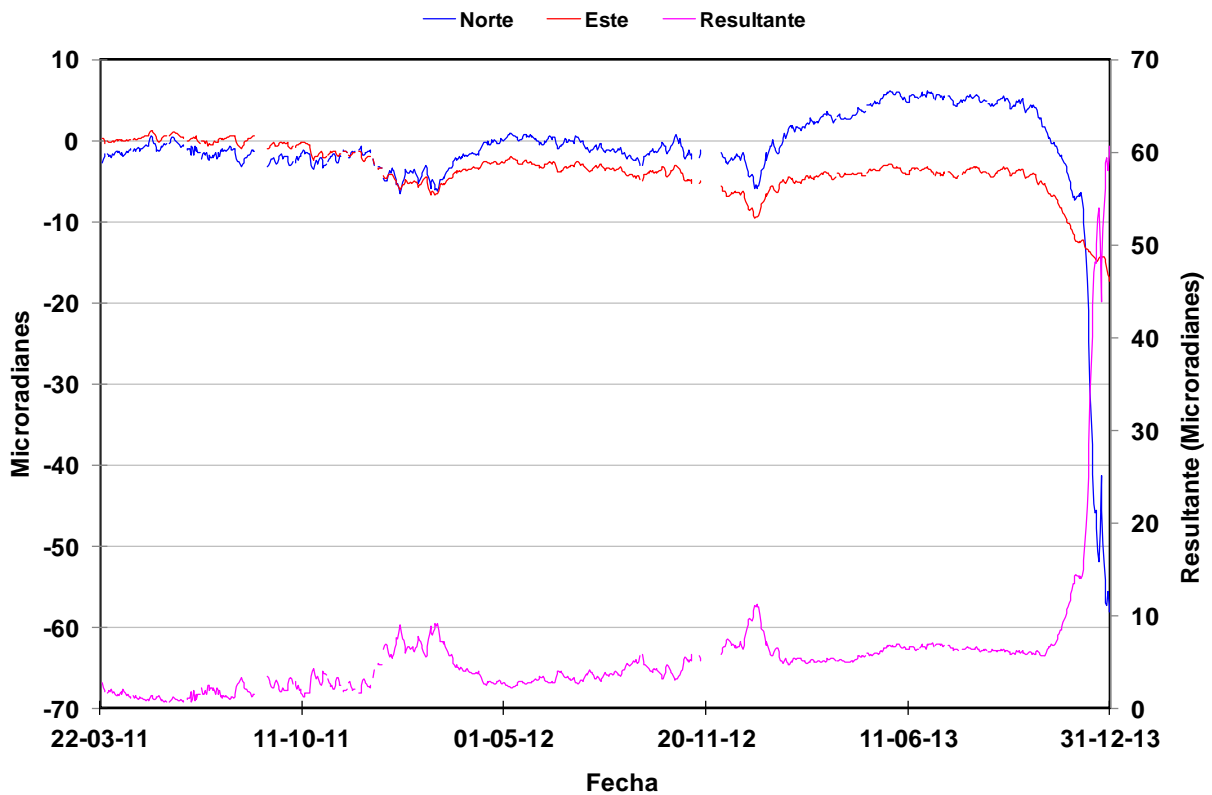


Figura 71. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CBRA hasta Diciembre de 2013.

#### 4.4 GEOQUÍMICA

En la Figura 72 se aprecia la red de geoquímica del VCB, la cual está constituida por 10 estaciones de gas Radón.

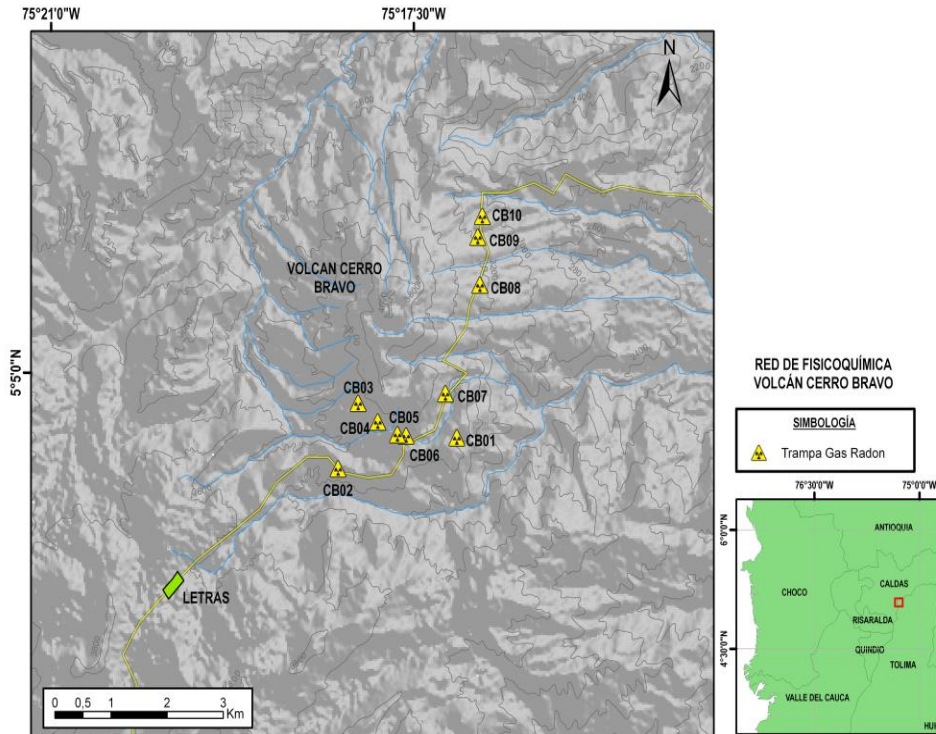


Figura 72. Red geoquímica Volcán Cerro Bravo.

##### 4.4.1 Medidas de Gas Radón

Durante el año 2013 se realizó monitoreo periódico en 6 de las estaciones de gas radón CERRO BRAVO 1, CERRO BRAVO 2, CERRO BRAVO 4, CERRO BRAVO 5, CERRO BRAVO 6 y CERRO BRAVO 7. A partir de las gráficas de concentración durante el 2013 (Figura 73) se puede observar que al principio de año hubo una desgasificación importante ya que se ve una disminución de la cantidad de Radón en todas las estaciones. El 10 de Julio se presentó una anomalía de Radón registrada en las estaciones CB7, CB1 y CB2, en las otras estaciones se observan incrementos pero en otros periodos. Adicionalmente finalizando el año se observó otro incremento en la emisión de este gas en la estación CB7.



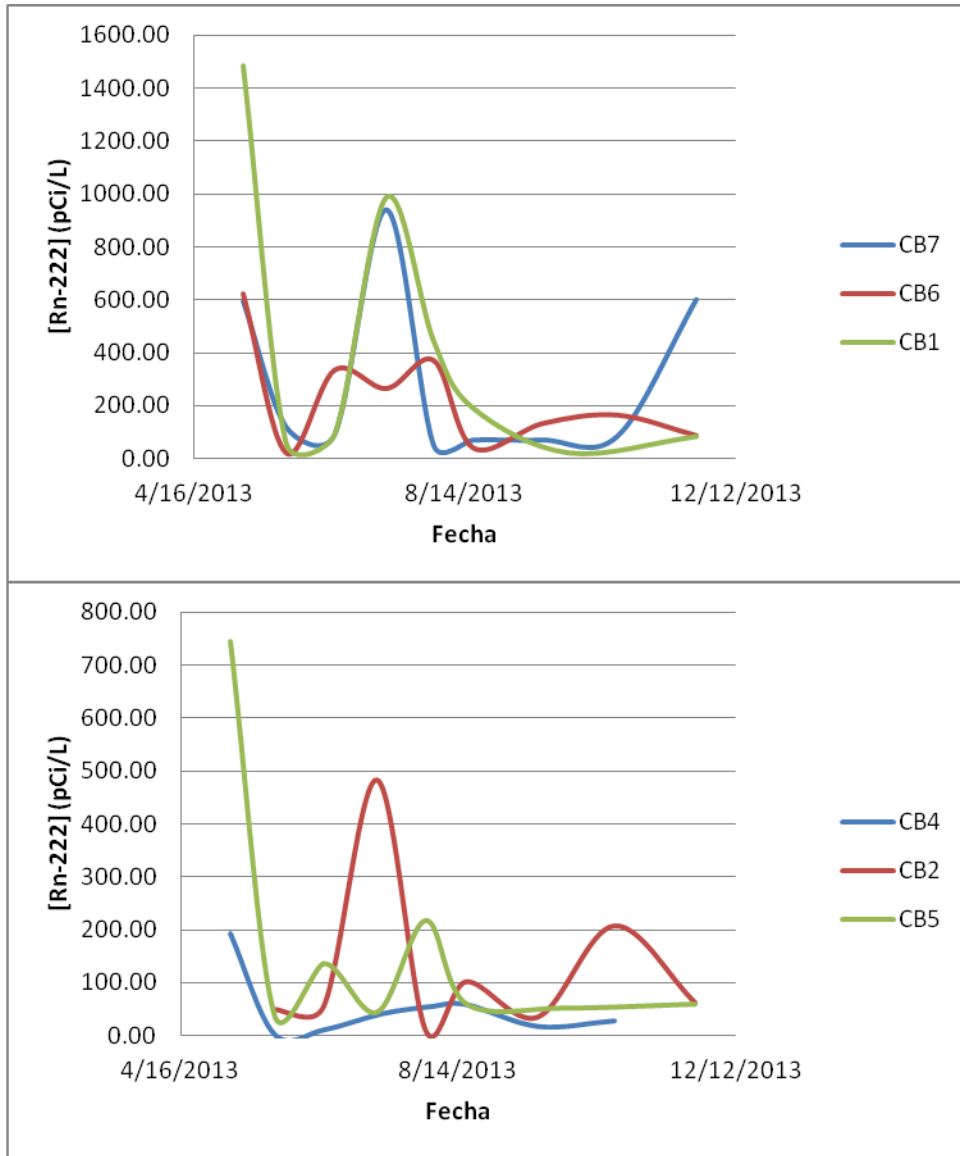


Figura 73. Variación de los Niveles de Radón en suelo. Estaciones CB7, CB6, CB5, CB4, CB2 y CB1. Volcán Cerro Bravo. 2013.

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

### 5.1 RED DE VIGILANCIA

La estación sismológica Paramillo continúa fuera de operación. Durante este año no se realizaron actividades de instalación o mantenimiento.

### 5.2 SISMOLOGÍA

En el Paramillo de Santa Rosa Durante el 2013 no se registraron señales sísmicas, ni se reportaron cambios en la actividad de este.

### 5.3 GEOQUÍMICA

En el Volcán Paramillo de Santa Rosa se han inventariado 15 manantiales termales, en los cuales se miden diferentes variables, entre las cuales se encuentran: pH, temperatura, conductividad eléctrica y se realizan cuantificaciones de aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{HCO}_3^-$ ). En este informe se presentan los datos correspondientes al monitoreo geoquímico de los manantiales termales ubicados en los Balnearios SANTA ROSA Y SANTA ELENA durante el año 2013, en los puntos POZO DEL AMOR, CALDERO Y LA CUEVA (Tabla 5), SE P1, SE P2, SE P3 y SE P4 (Tabla 6).

<b>Pozo Amor</b>	
Temperatura	55.3°C
pH	7.5
Conductividad	1.31 mS/cm
Cationes Mayores (ppm)	$\text{Na}^+$ (184.5); $\text{Si}^{4+}$ (108.5); $\text{Ca}^{2+}$ (71.7)
Aniones Mayores (ppm)	$\text{HCO}_3^-$ (576.4) ; $\text{Cl}^-$ (404.1); $\text{SO}_4^{2-}$ (22.4)
Clasificación $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$	Aguas Bicarbonato Cloruradas
Clasificación General	Agua neutra clorurada
<b>La Cueva</b>	
Temperatura	57.5°C
pH	7.4
Conductividad	3.14 mS/cm
Cationes Mayores (ppm)	$\text{Na}^+$ (186.5); $\text{Si}^{4+}$ (100.7); $\text{Ca}^{2+}$ (85.1)
Aniones Mayores (ppm)	$\text{HCO}_3^-$ (614.6) ; $\text{Cl}^-$ (421.9); $\text{SO}_4^{2-}$ (33.6)
Clasificación $\text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$	Aguas Bicarbonato Cloruradas
Clasificación General	Agua neutra clorurada
<b>El Caldero</b>	
Temperatura	56.2°C
pH	7.6
Conductividad	1.31 mS/cm

Cationes Mayores (ppm)	Na <sup>+</sup> (185.0); Si <sup>4+</sup> (109. 5); Ca <sup>2+</sup> (78.1)
Aniones Mayores (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (574.9) ; Cl <sup>-</sup> (375,7); SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (26.8)
Clasificación Cl <sup>-</sup> – SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Aguas Bicarbonato Cloruradas
Clasificación General	Agua neutra clorurada

Tabla 5. Clasificación Fuentes Termales POZO AMOR, LA CUEVA Y EL CALDERO. Paramillo de Santa Rosa. 2013.

En el año 2013 se realizó monitoreo periódico en las fuentes termales CALDERO, POZO AMOR Y LA CUEVA. Los valores en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales durante todo el año no presentaron cambios significativos. En la Figura 74 se aprecia el comportamiento de la temperatura con el tiempo para las FT, allí se aprecia que la temperatura permaneció dentro de los valores normales de su línea base.

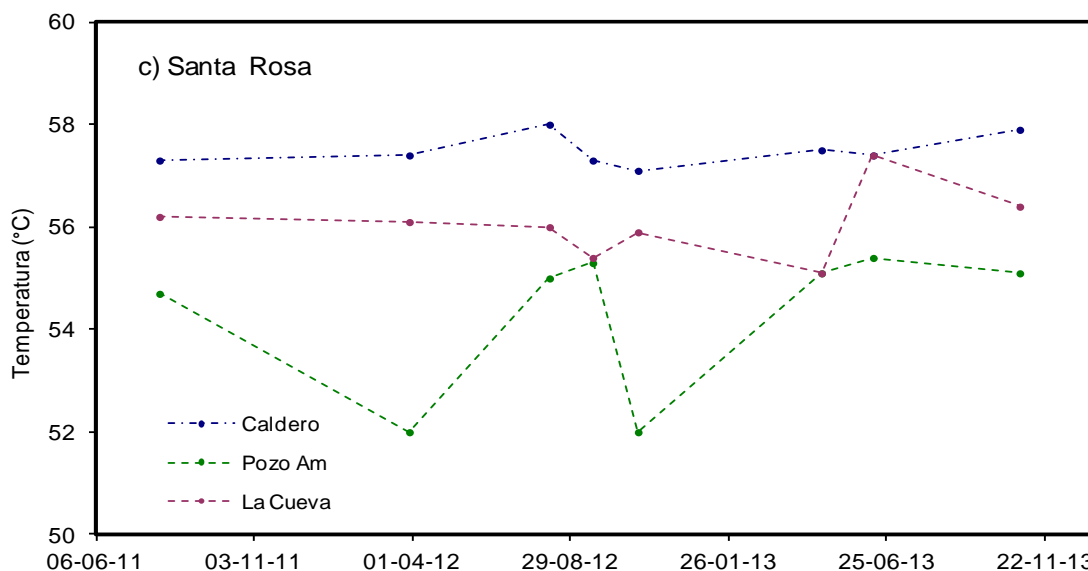


Figura 74. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: CALDERO, POZO AMOR Y LA CUEVA. Paramillo de Santa Rosa. 2013.

En lo referente al pH, se observan cambios significativos en las tres fuentes termales estudiadas, inicialmente se observa un incremento en la basicidad de las fuentes y luego una disminución de las mismas, en la parte final del año se observa que las fuentes termales presentan una disminución en la acidez (Figura 75).

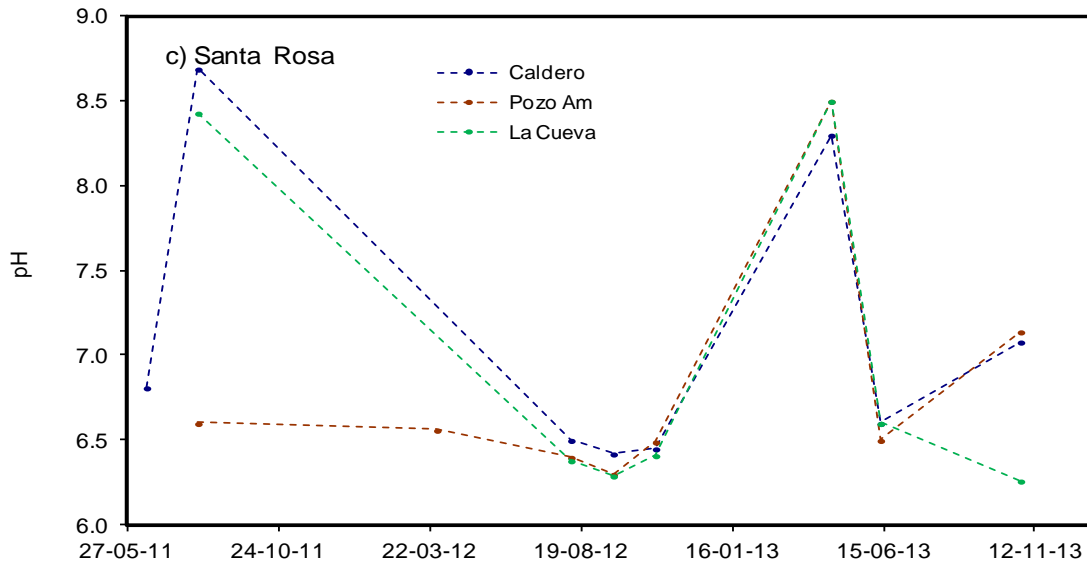


Figura 75. Variación del pH en Fuentes Termales: CALDERO, POZO AMOR Y LA CUEVA. Paramillo de Santa Rosa. 2013.

Respecto al contenido de aniones mayoritarios (Figura 76) se presentaron algunas variaciones en la concentración de Cloruros en las fuentes termales CALDERO Y POZO DEL AMOR, la concentración promedio para la fuente termal CALDERO es de 399 ppm de iones Cl, en el mes de junio de 2013 se evidencio un incremento alcanzando una concentración de 446 ppm, asimismo la fuente termal POZO DEL AMOR presento aumento en la concentración de iones Cl registrando una concentración de 432 ppm en el mes de junio para la fuente termal LA CUEVA el promedio fue de 369 ppm. En lo referente a la concentración de Sulfatos, los valores sufrieron fluctuaciones durante todo el año, en el mes de junio se registró aumento en la concentración en las tres fuentes termales, en el mes de octubre se evidencio disminución en la concentración de sulfatos en las fuentes termales CALDERO Y LA CUEVA.

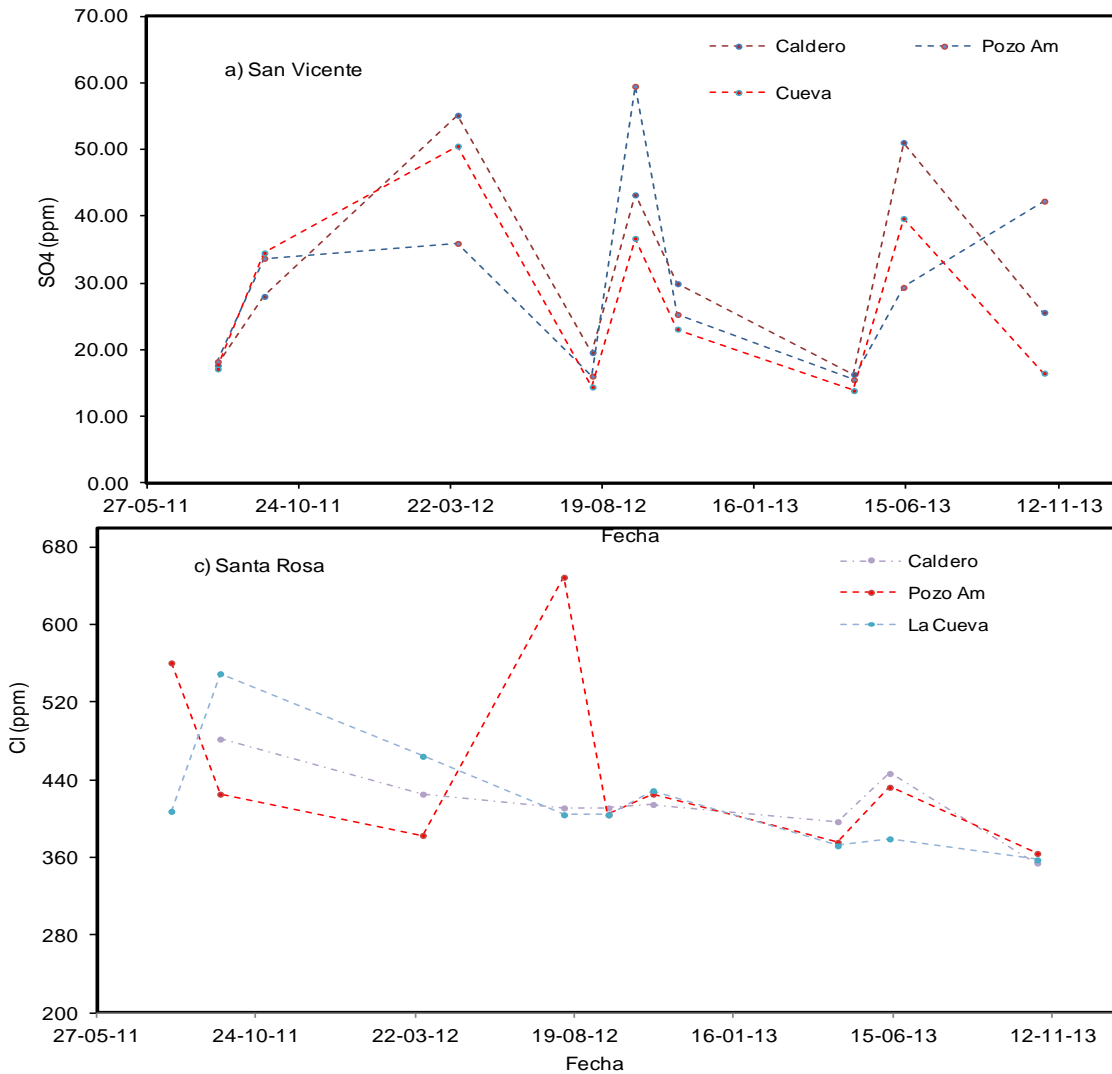


Figura 76. Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales: CALDERO, POZO AMOR Y LA CUEVA. Paramillo de Santa Rosa, 2013.

<b>Santa Elena P1</b>	
Temperatura	62.5 °C
pH	6.6
Conductividad	3.6 mS/cm
Cationes Mayores (ppm)	Na <sup>+</sup> (236.5); Si <sup>4+</sup> (121.1); Ca <sup>2+</sup> (71.3)
Aniones Mayores (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (675.6) ; Cl <sup>-</sup> (443.1); SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (30.3)
Clasificación Cl <sup>-</sup> – SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Aguas Bicarbonato Cloruradas

Clasificación General	Agua neutra clorurada
<b>Santa Elena P2</b>	
Temperatura	62.0 °C
pH	6.7
Conductividad	4.0 mS/cm
Cationes Mayores (ppm)	Na <sup>+</sup> (218.5); Si <sup>4+</sup> (114.0); Ca <sup>2+</sup> (60.5)
Aniones Mayores (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (672.5); Cl <sup>-</sup> (444.9); SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (51.7)
Clasificación Cl <sup>-</sup> – SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Aguas Bicarbonato Cloruradas
Clasificación General	Agua neutra clorurada sódica
<b>Santa Elena P3</b>	
Temperatura	60.0 °C
pH	7.6
Conductividad	3.48 mS/cm
Cationes Mayores (ppm)	Na <sup>+</sup> (214.0); Si <sup>4+</sup> (113.5); Ca <sup>2+</sup> (80.7)
Aniones Mayores (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (661.8); Cl <sup>-</sup> (435.9); SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (31.6)
Clasificación Cl <sup>-</sup> – SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Aguas Bicarbonato Cloruradas
Clasificación General	Agua neutra clorurada
<b>Santa Elena P4</b>	
Temperatura	60.5 °C
pH	6,7
Conductividad	3.48 mS/cm
Cationes Mayores (ppm)	Na <sup>+</sup> (216.5); Si <sup>4+</sup> (113.9); Ca <sup>2+</sup> (67.9)
Aniones Mayores (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (658.8); Cl <sup>-</sup> (436.0); SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (31.6)
Clasificación Cl <sup>-</sup> – SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Aguas Bicarbonato Cloruradas
Clasificación General	Agua neutra clorurada

Tabla 6. Clasificación Fuentes Termales SANTA ELENA P1, SANTA ELENA P2, SANTA ELENA P3 Y SANTA ELENA P4. Paramillo de Santa Rosa, 2013.

En el año 2013 se realizó monitoreo periódico en las fuentes termales SANTA ELENA P1, SANTA ELENA P2, SANTA ELENA P3 Y SANTA ELENA P4. Los valores en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales durante todo el año no presentaron cambios significativos. En la Figura 77 se aprecia el comportamiento de la temperatura con el tiempo para las FT, allí se aprecia que la temperatura permaneció dentro de los valores normales de su línea base.

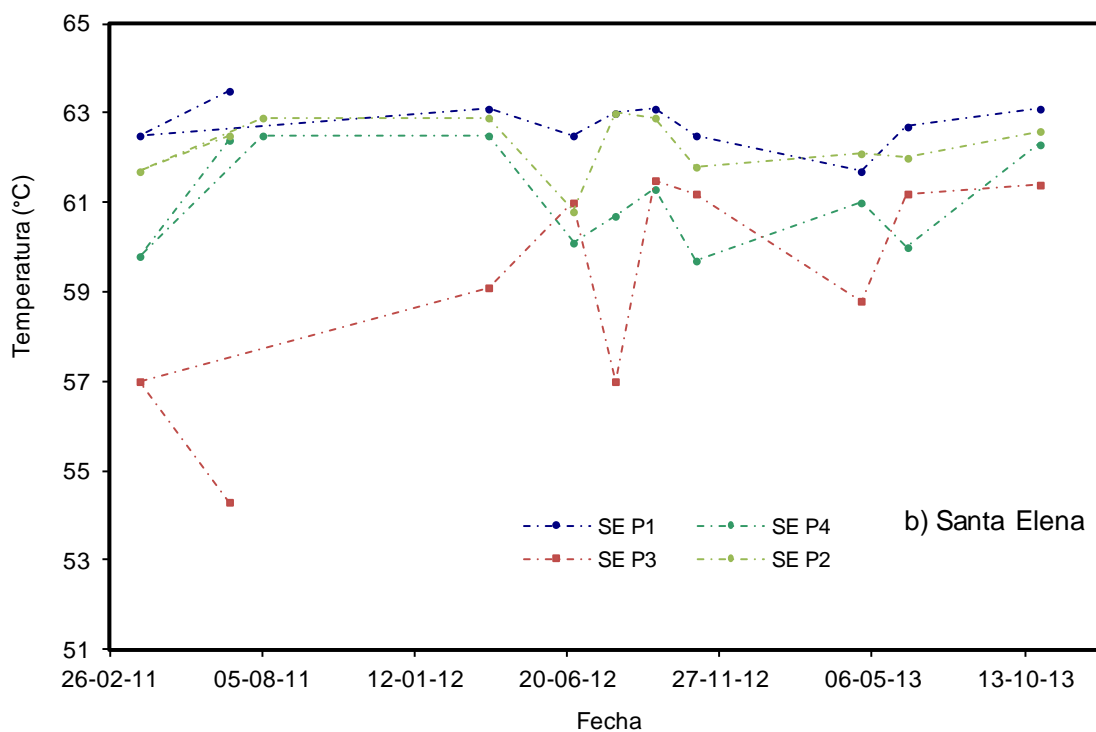


Figura 77. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: Santa ELENA P1, SANTA ELENA P2, SANTA ELENA P3 Y SANTA ELENA P4. Paramillo de Santa Rosa. 2013.

En lo referente al pH, se observan cambios significativos al final del año en las cuatro fuentes termales estudiadas (Figura 78).

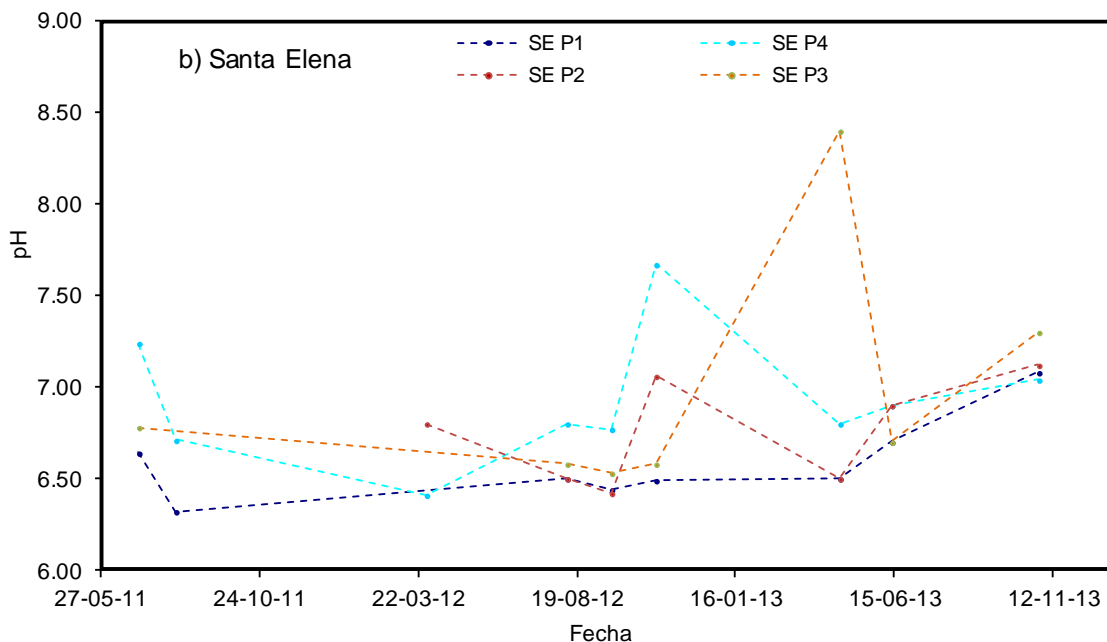


Figura 78. Variación del pH en Fuentes Termales: SANTA ELENA P1, SANTA ELENA P2, SANTA ELENA P3 Y SANTA ELENA P4. Paramillo de Santa Rosa. 2013.

Respecto al contenido de aniones mayoritarios (Figura 79) se presentaron algunas variaciones en la concentración de Cloruros, en la parte final del año se evidenció una disminución en todas las fuentes termales. En lo referente a la concentración de Sulfatos, los valores sufrieron fluctuaciones durante todo el año, en el mes de junio se registró aumento en la concentración en las cuatro fuentes termales, en el mes de octubre se evidenció disminución en la concentración de sulfatos en las fuentes termales.



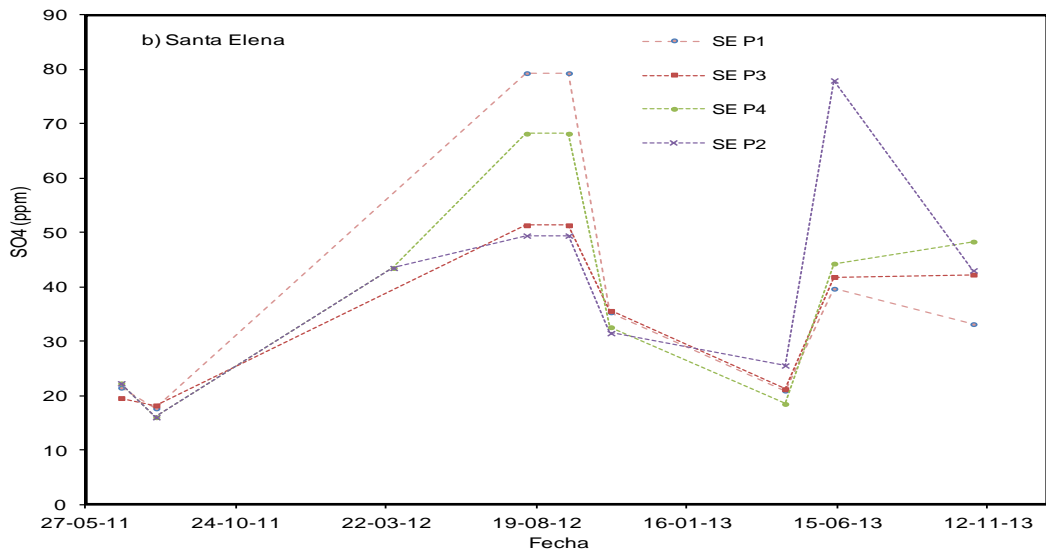
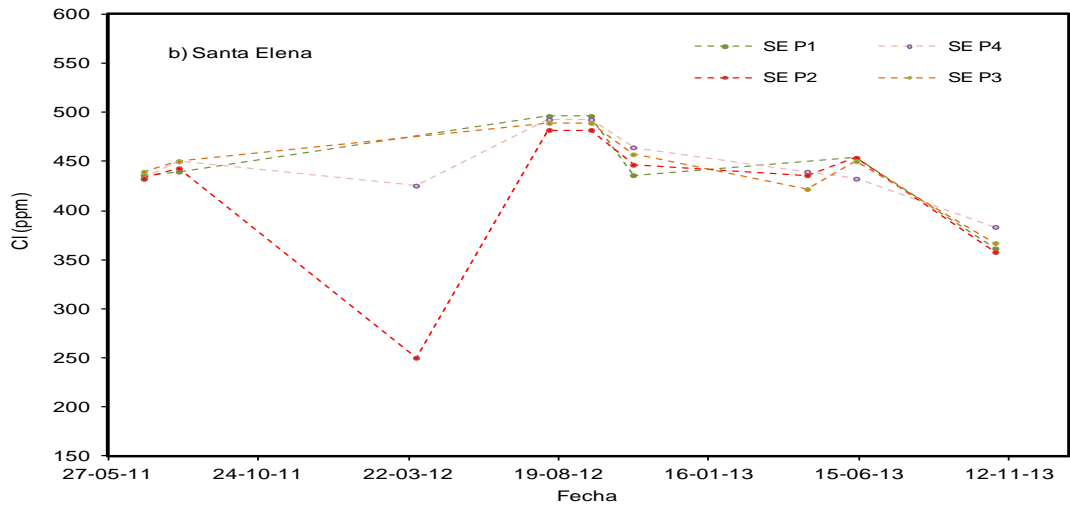


Figura 79. Variación de la Concentración de Cloruros y Sulfatos en las Fuentes Termales: SANTA ELENA P1, SANTA ELENA P2, SANTA ELENA P3 Y SANTA ELENA P4. Paramillo de Santa Rosa. 2013.

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

### 6.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red de vigilancia telemétrica para este volcán durante el año 2013 fue del **78.6%**.

En el año 2013 se mejoró la red de monitoreo del volcán mediante la instalación de la estación sismológica de banda ancha e inclinometría GLACIAR (Figura 80).



Figura 80. Nueva estación GLACIAR, Volcán Nevado de Santa Isabel.

### 6.2 SISMOLOGÍA

El Volcán Nevado de Santa Isabel, durante el 2013, presentó un nivel bajo de actividad sísmica. Se registraron 192 señales asociadas a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Figura 81 y Figura 82), las cuales se localizaron en los alrededores del edificio volcánico, a profundidades que oscilaron entre 1.5 y 8.0 km (Figura 83). El sismo de mayor magnitud fue registrado el 03 de Junio a las 05:11 (hora local) con una magnitud coda de 2.2  $M_L$  (Magnitud local).

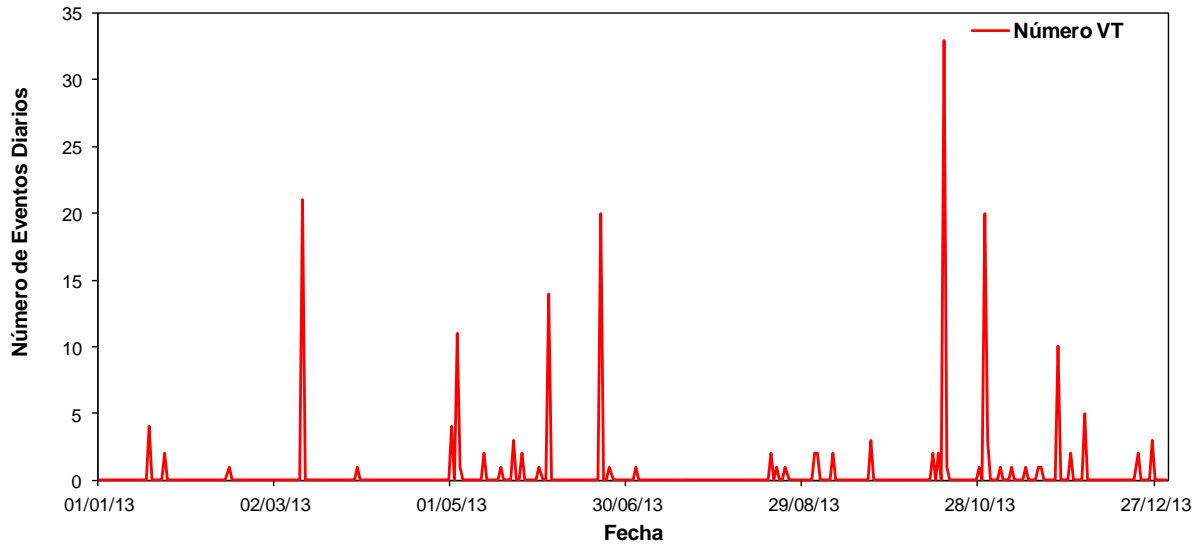


Figura 81. Numero de Sismos diarios, Volcán Nevado de Santa Isabel, 2013.

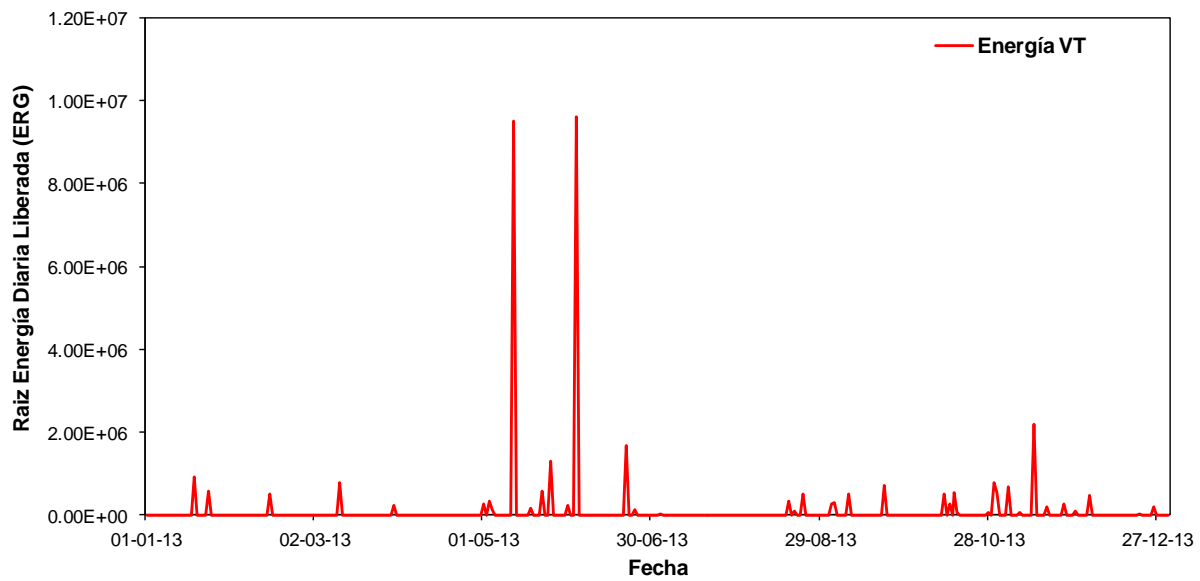


Figura 82. Raíz Energía sísmica diaria liberada, Volcán Nevado de Santa Isabel, 2013.

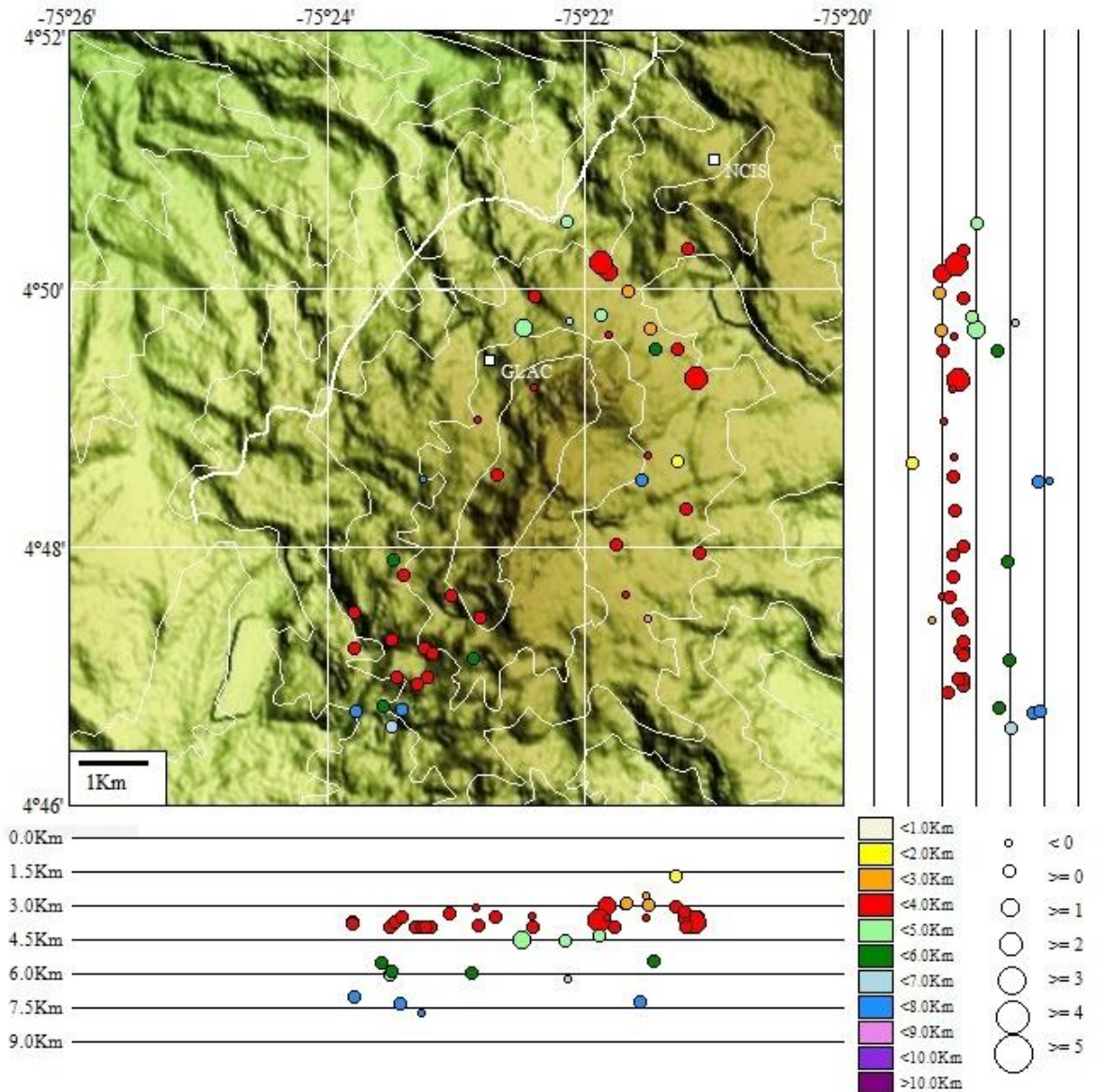


Figura 83. Localización hipocentral de sismos VT en el Volcán Nevado de Santa Isabel, 2013.

Durante el año se destaca un incremento registrado entre el 17 y el 25 de Noviembre en el cual se registraron 661 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 (Figura 84). Se destaca un importante incremento de esta sismicidad entre el 17 y el 18 de Noviembre, cuando se registró la mayor liberación de energía sísmica (Figura 85) debido no solo al número importante de eventos (Figura 86) sino también a las magnitudes de los mismos. La mayor magnitud registrada corresponde al sismo ocurrido el 17 de noviembre a las 17:33 (hora local), de 3.0  $M_L$  (magnitud local), el cual fue reportado como sentido por personal del Parque Natural Los Nevados en la Laguna del Otún y en el Paramillo del Cisne.

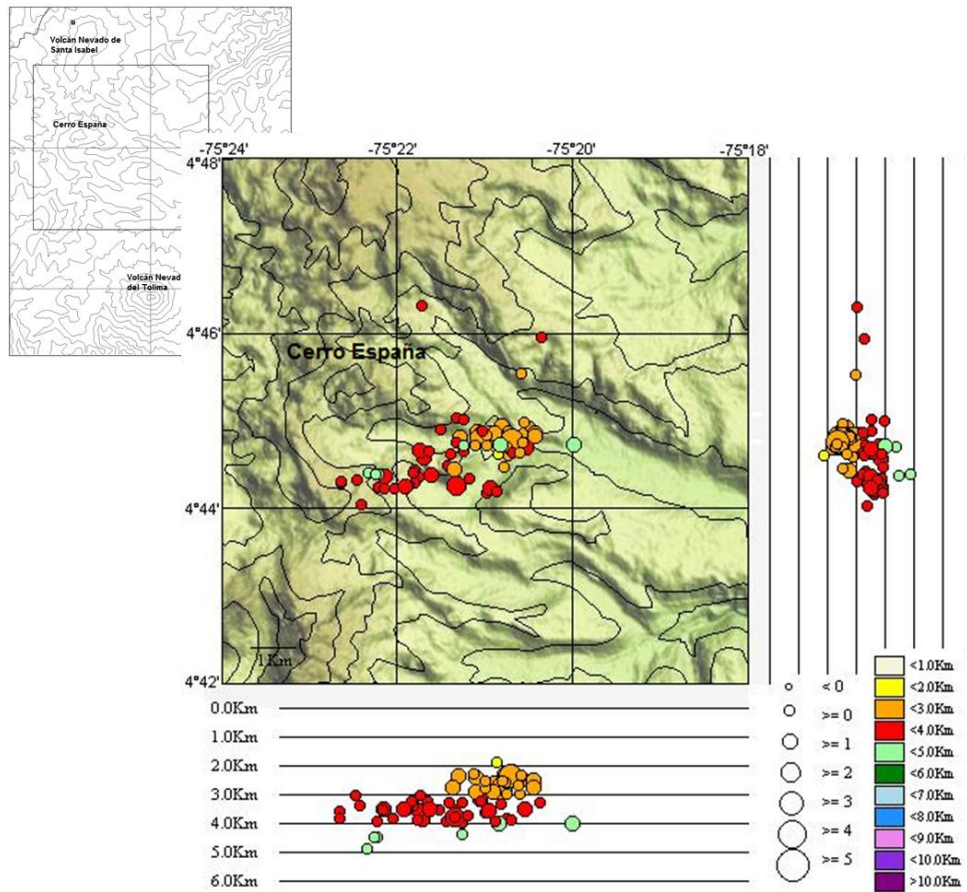


Figura 84. Localización hipocentral de sismos VT en el Cerro España, durante el incremento registrado en Noviembre de 2013.

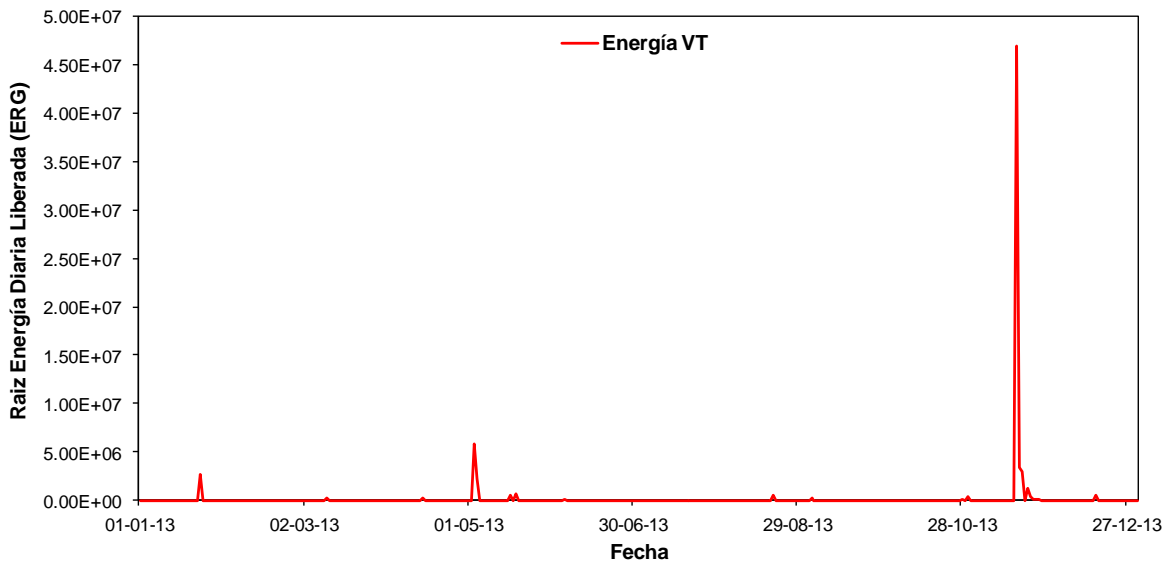


Figura 85. Raíz Energía sísmica diaria liberada, sector Cerro España, 2013.

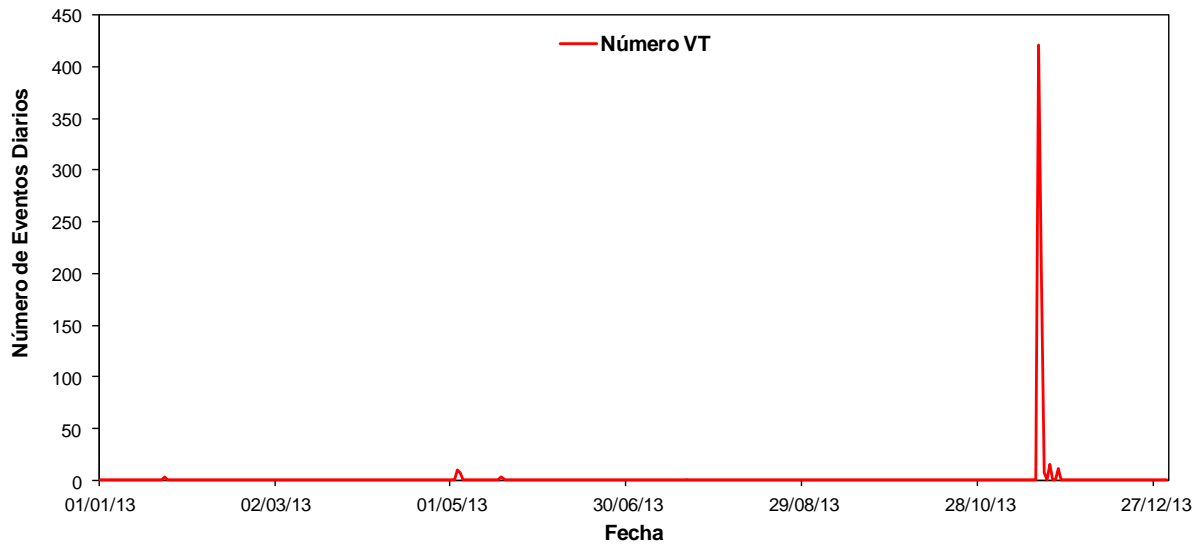


Figura 86. Numero de Sismos diarios, sector Cerro España, 2013.

### 6.3 DEFORMACIÓN

Durante 2013, se contó con la operación de los inclinómetros electrónicos CHAV y GLAC instalados al noroccidente y occidente del volcán respectivamente. Durante el año no se realizaron mediciones de control topográfico.

La Figura 87 muestra la red de deformación del Volcán Nevado Santa Isabel. Los inclinómetros electrónicos CHAV y GLAC no mostraron cambios importantes en cuanto a la deformación del edificio volcánico (Figura 88 y Figura 89).

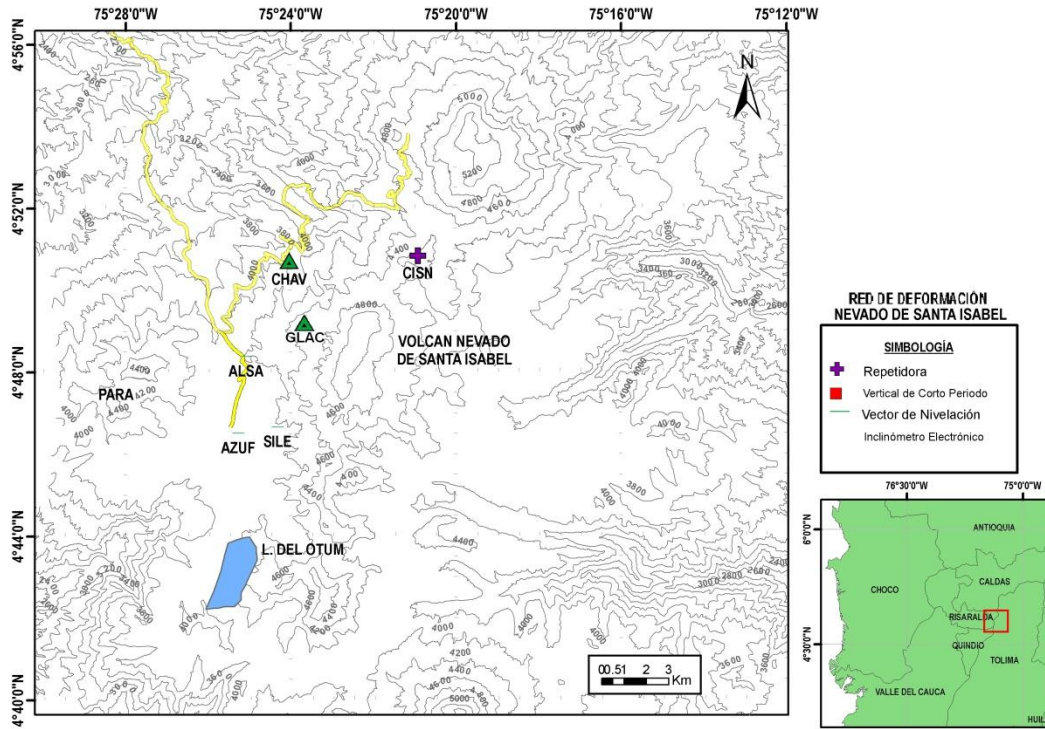


Figura 87. Red de deformación del Volcán Nevado de Santa Isabel.

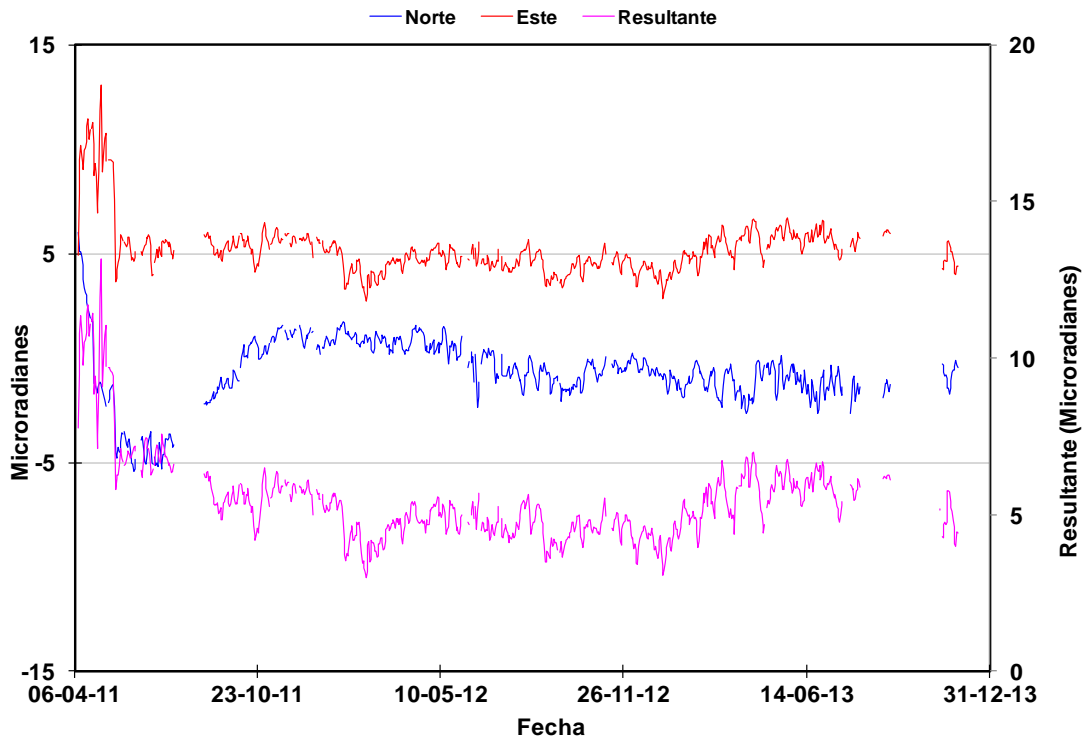


Figura 88. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CHAV hasta Diciembre de 2013.

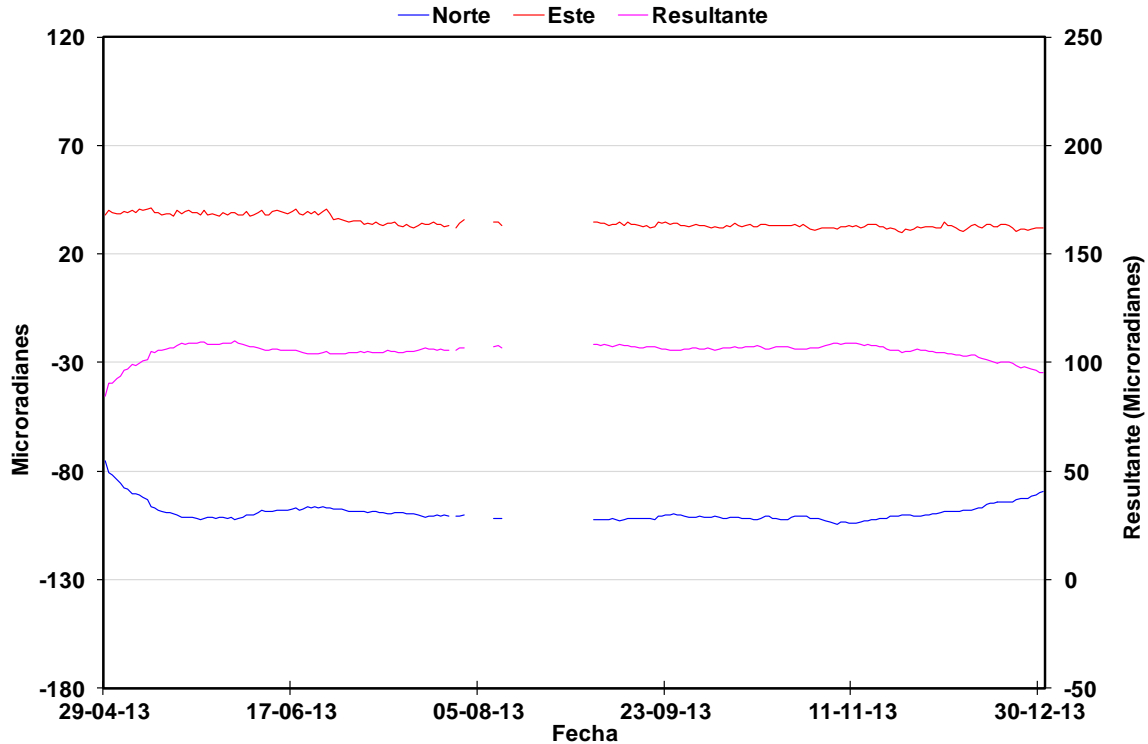


Figura 89. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico GLAC hasta Diciembre de 2013.

## 7. VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE (VPC)

### 7.1 SISMOLOGÍA

El volcán Paramillo del Cisne presentó un nivel bajo de actividad durante el 2013. Se registraron 173 señales sísmicas asociadas a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Figura 90 y Figura 91), 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 92). El sismo de mayor magnitud fue registrado el 04 de Enero a las 10:19 (hora local) con una magnitud de 2.2  $M_L$  (magnitud local).



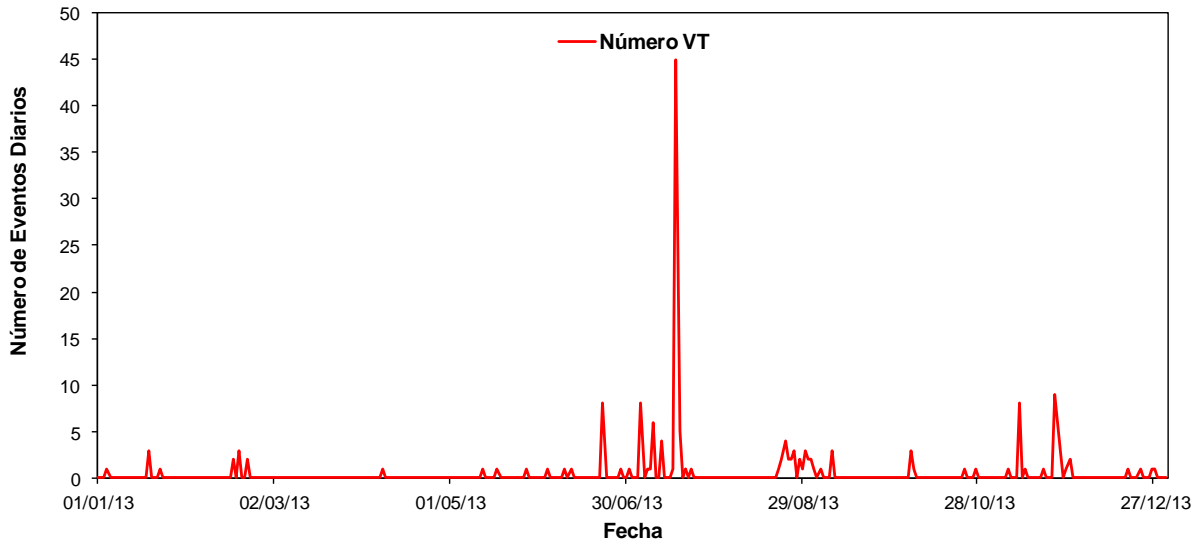


Figura 90. Número de sismos diarios, Paramillo del Cisne, 2013.

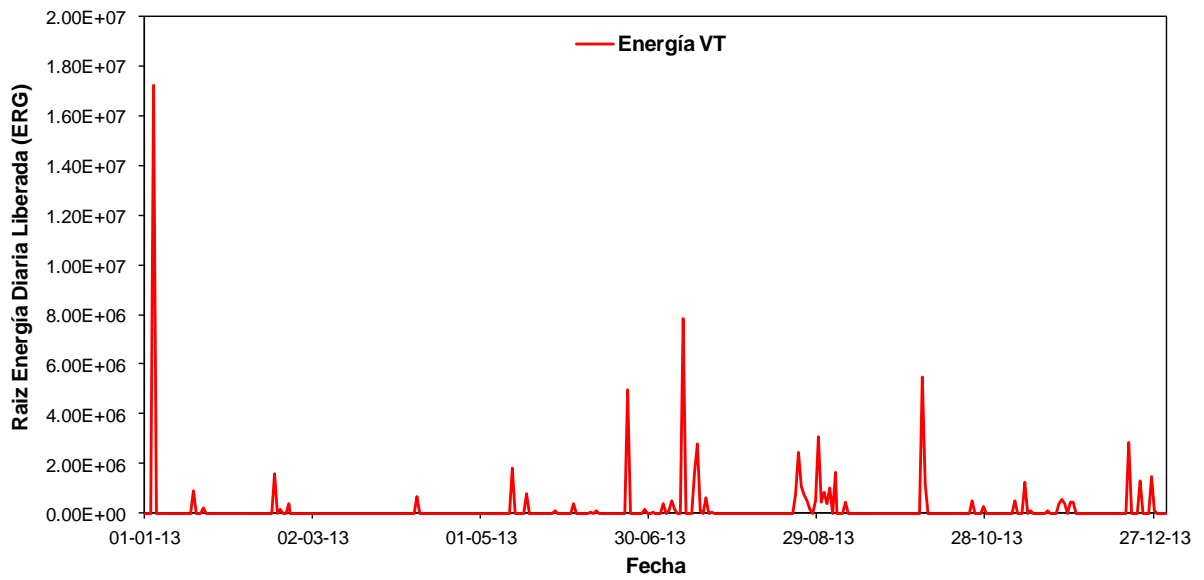


Figura 91. Raíz Energía sísmica diaria liberada, Paramillo del Cisne, 2013.

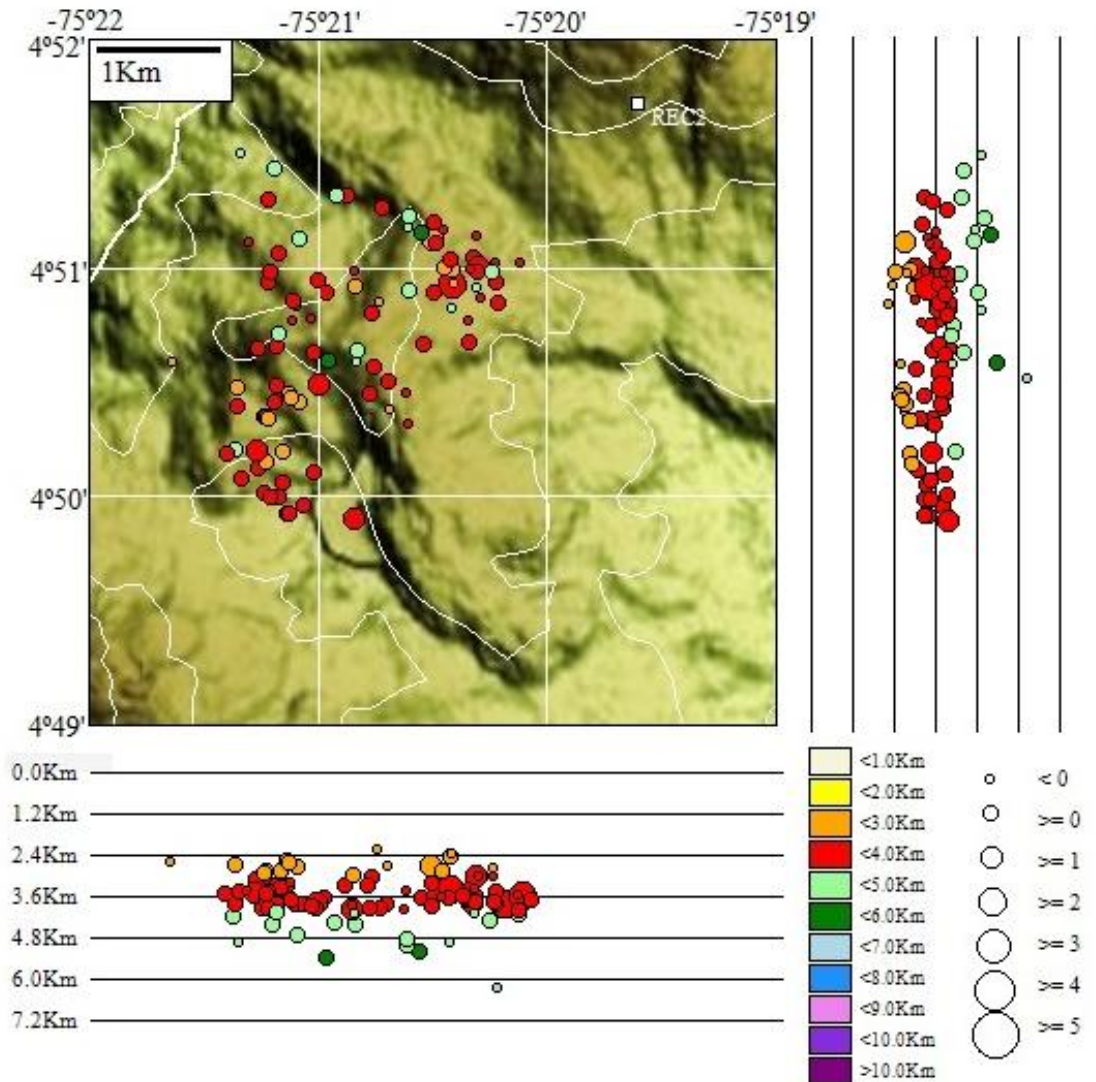


Figura 92. Localización hipocentral de sismos VT en el Paramillo del Cisne, 2013.

## 8. PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ)

### 8.1 SISMOLOGÍA

El Paramillo del Quindío presentó un nivel bajo de actividad durante el 2013. Se registraron 60 señales sísmicas asociadas a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Figura 93 y Figura 94), los cuales se localizaron al nororiente y sur del volcán a profundidades que oscilaron entre 1.5 y 7.5 km (Figura 95). El sismo de mayor magnitud fue registrado el 19 de Junio a las 09:12 (hora local) con una magnitud de 1.9 M<sub>L</sub> (magnitud local).

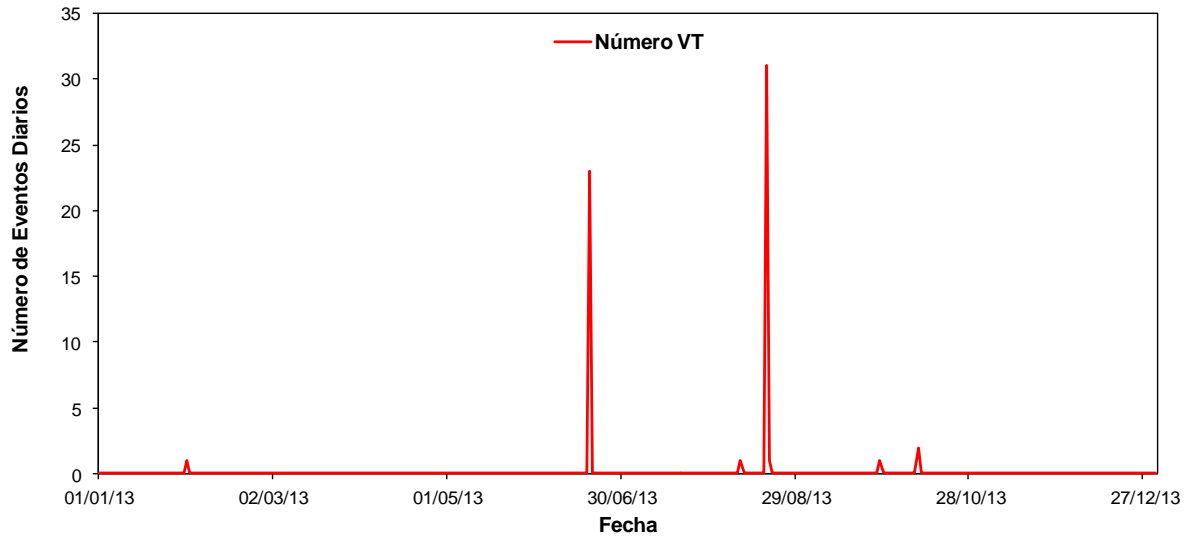


Figura 93. Número de sismos diarios, Paramillo del Quindío, 2013.

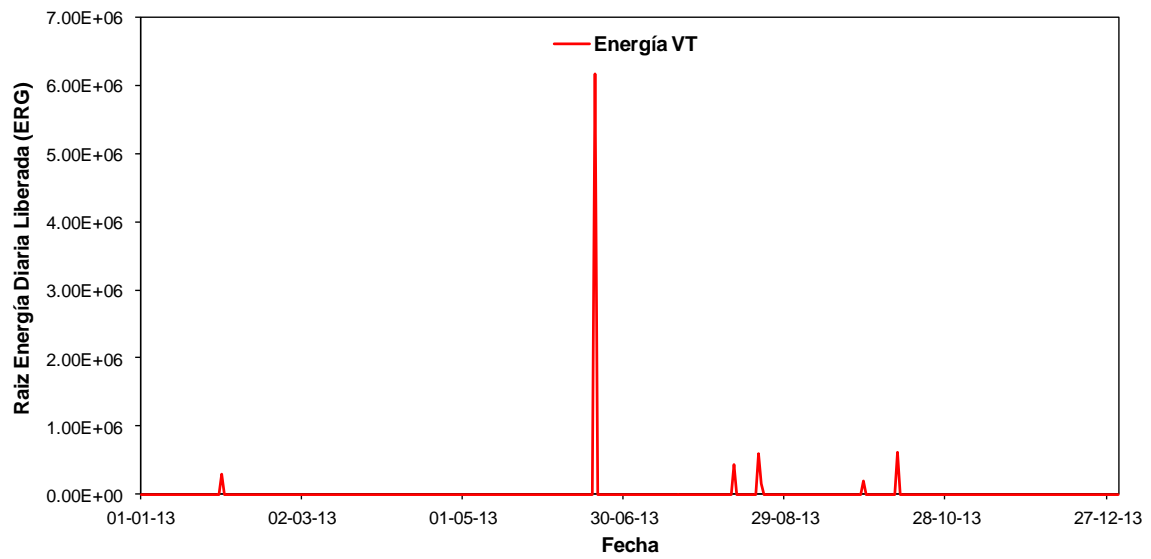


Figura 94. Energía sísmica diaria liberada, Paramillo del Quindío, 2013.

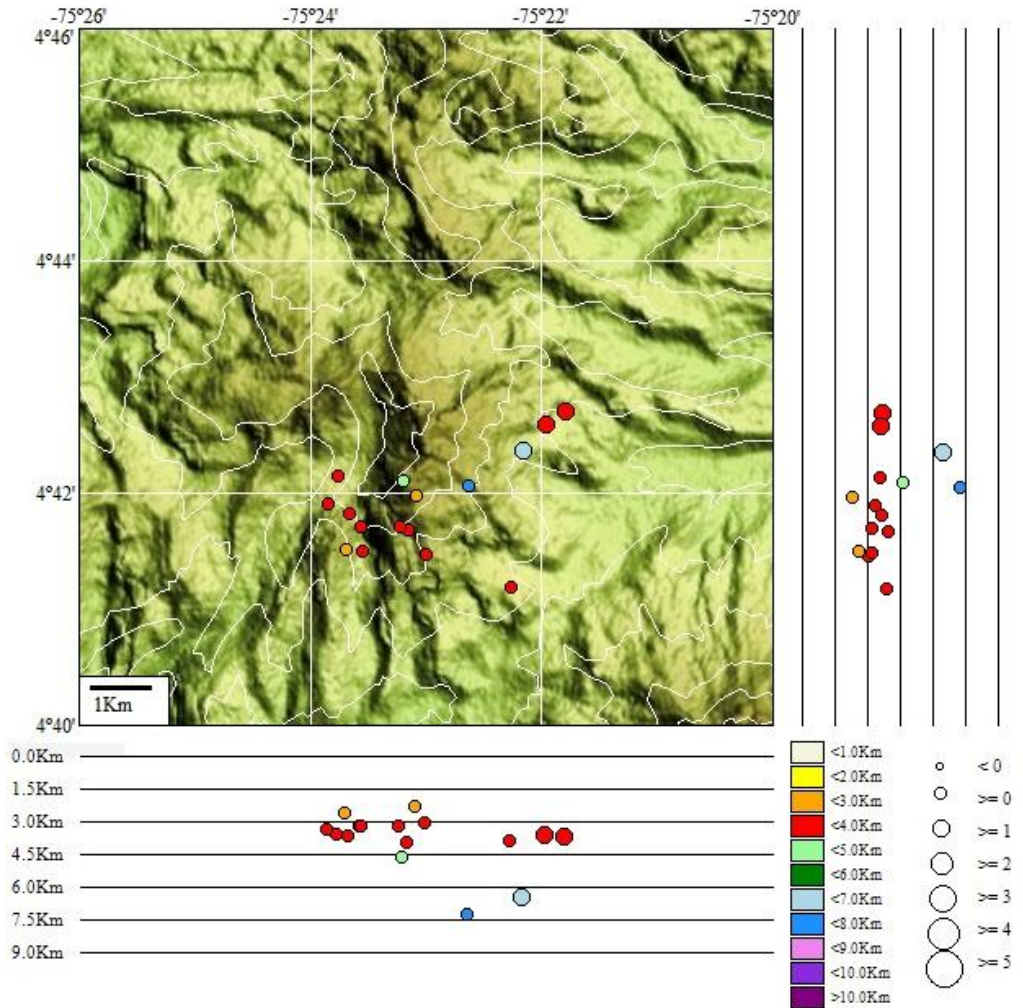


Figura 95. Localización hipocentral de sismos VT en el Paramillo del Quindío, 2013.

## 9. VOLCÁN SAN DIEGO

### 9.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red de vigilancia telemétrica para este volcán durante el año 2013 fue del **41.8%**.

Este año se inició el monitoreo en este volcán, para lo cual se instaló la estación de corto periodo SAN DIEGO (Figura 96) en conjunto con dos estaciones repetidoras, EL MIRADOR y SAMANÁ (Figura 97).



Figura 96. Nueva estación SAN DIEGO.



Figura 97. Nuevas estaciones repetidoras EL MIRADOR y SAMANA, Volcán San Diego

## 9.2. SISMOLOGÍA

En el Volcán San Diego durante el 2013 no se registraron señales sísmicas, ni se reportaron cambios en la actividad de éste.

## 10. VOLCÁN ROMERAL

### 10.1. RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red de vigilancia telemétrica para este volcán durante el año 2013 fue del **76.25%**.

### 10.2. SISMOLOGÍA

En el Volcán Romeral durante el 2013 no se registraron señales sísmicas, ni se reportaron cambios en la actividad de éste.

## 11. ACTIVIDAD TECTÓNICA

### 11.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia telemétrica de las estaciones regionales SAN JULIÁN, AGUADAS y MARSELLA durante el año 2013 fue del **74.9%**

Durante este año no se realizaron modificaciones importantes sobre estas estaciones, simplemente se realizaron trabajos de mantenimiento.

### 11.2. SISMOLOGÍA

En cuanto a la actividad sísmica tectónica, asociada con fracturas y fallas en la región del Eje Cafetero, durante el 2013 se registraron eventos sísmicos de carácter local, localizados en las fuentes sismogénicas Romeral, Cordillera Occidental, Armenia, Ibagué, Honda-Pulí y Anzoátegui-Alvarado (Figura 98).

**La Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC)** reportó la ocurrencia de sismos de magnitud destacada en el territorio colombiano, en donde los diez (10) sismos con mayor energía sísmica registrada oscilaron entre 4.6 y 6.4 en la escala de Richter. Estos fueron localizados en: El Bagre (Antioquia), Bahía Solano, Bajo Baudó, Riosucio (Chocó), Riohacha, Uribia (Guajira), Guaitarilla (Nariño), Los Santos (Santander), Dagua, Trujillo (Valle).

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.

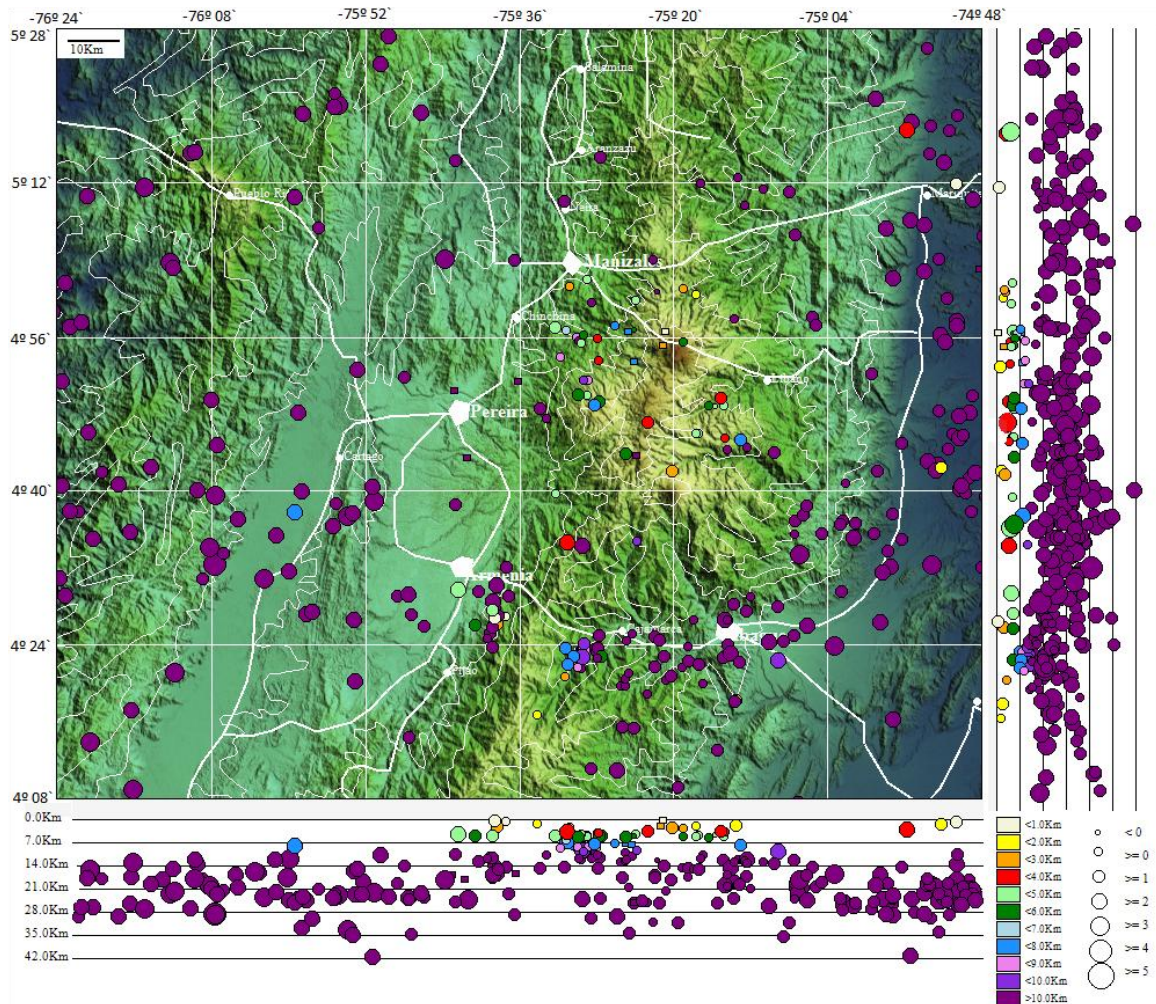


Figura 98. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante 2013, localizados por el OVSM.

## CONCLUSIONES

- Durante el año 2013 la actividad sísmica de los volcanes del Segmento Norte de Colombia, CVCBCM mostró niveles bajos, con excepción del Volcán Nevado del Ruiz el cual presentó un importante incremento en la actividad sísmica tipo VT (relacionada con fracturamiento al interior de la estructura volcánica) en comparación con el año 2012. Esta actividad estuvo localizada principalmente en las fuentes Norte, Noroccidental y Nororiental del volcán, a profundidades que oscilaron entre 0.5 km y 9.0 km, con magnitudes que alcanzaron 4.4  $M_L$  (magnitud local). Este tipo de sismicidad volcano-tectónica (interacción de la actividad volcánica y con las fallas geológicas en la zona del volcán) es normal dentro del nivel de actividad en el que se encuentra el sistema volcánico actualmente. Hasta el momento no se evidencia ningún efecto considerable de éste tipo de sismicidad en la actividad en el cráter activo, o en la parte más cercana al volcán. La sismicidad relacionada con el movimiento de fluidos al interior del volcán, aunque mostró una disminución con relación al año inmediatamente anterior, estuvo presente durante todo el 2013, en sismos tipo LP, HB y tremor volcánico.
- La columna de gases relacionada con actividad fumarólica en el cráter del Volcán Nevado del Ruiz, mostró en general un color blanco, en ocasiones con matices azules o grises debido a las concentraciones de Dióxido de Azufre ( $SO_2$ ) o de ceniza volcánica respectivamente. La altura máxima alcanzada fue 3500 m medidos sobre la cima del cráter Arenas, y la mayor parte del tiempo estuvo deflectada hacia el Occidente, siguiendo la dirección del viento en la zona.
- La intensa actividad sísmica así como las manifestaciones en superficie (pequeñas emisiones de ceniza) demuestran que el Volcán Nevado del Ruiz, continúa con un sistema magmático e hidrotermal inestable, en permanente cambio.
- En el Volcán Cerro Machín la actividad sísmica durante el año 2013, estuvo asociada a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico, fue considerada como de baja energía y en general se localizó en mayor proporción en el domo principal a profundidades que variaron entre 1 y 4.5 km; al suroriente a profundidades que variaron entre 4 y 18 km; en y en menor proporción hacia el sector sur y suroccidental a profundidades entre 4 y 14 Km.
- Los demás parámetros geofísicos monitoreados no registraron cambios importantes durante el año 2013.
- La actividad sísmica de los volcanes Cerro Bravo, Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío, el Cisne, Romeral y San Diego, permaneció en niveles estables. Adicionalmente, no se reportaron cambios en los demás parámetros monitoreados. Es importante destacar la actividad sísmica tipo VT registrada entre el 17 y el 25 de Noviembre de 2013, en el sector de Cerro España a unos 8 km al suroriente del Volcán Nevado de Santa Isabel, y cuyo máximo se alcanzó el día 17 de Noviembre cuando se registró un sismo de magnitud 3.0  $M_L$  (magnitud local), el cual fue reportado como sentido por personal de Parques Naturales Nacionales en la Laguna del Otún y el Paramillo del Cisne.



- La sismicidad de origen tectónico de carácter local se concentró en las fuentes sísmogénicas: Cordillera Occidental, Armenia, Ibagué, Romeral, Anzoátegui-Alvarado y Honda-Pulí.
- Algunas de las estaciones de la red de deformación del VNR continúan evidenciando cambios deformativos, claramente relacionados con el actual estado de actividad del volcán, principalmente en cercanías de la estación de Inclinometría electrónica de REFU, la cual ha mostrado un cambio acumulado de 204  $\mu\text{rad}$  desde el pasado 10 de Octubre de 2013. Las demás estaciones de Inclinometría electrónica se han mantenido en términos generales estables.
- 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 191  $\mu\text{rad}$ .
- 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 2013 se amplió de manera importante la red de monitoreo de la deformación volcánica, del segmento Norte de Colombia, con la instalación de nuevas estaciones GPS permanentes, inclinómetros electrónicos, así como reflectores para EDM y bases de campaña GPS.
- En las estaciones de gas Radón del Volcán Nevado del Ruiz se encontraron incrementos significativos en la emisión de este gas en los meses de mayo, julio, agosto y septiembre.
- La temperatura y el pH de las fuentes termales Hotel y Aguas Calientes presentaron cambios significativos en algunas épocas del año.
- Se presentaron pequeñas variaciones en la concentración de Cloruros en la fuente termal Hotel, mientras que en la fuente termal aguas calientes se observó un incremento, la concentración de Sulfatos, los valores sufrieron fluctuaciones durante todo el año.
- En las trampas alcalinas ubicadas en el Volcán Nevado del Ruiz la cantidad de HCl en comparación con el S total aumentó durante la primera parte del 2013, sin embargo después se observó una disminución del mismo tratándose de estabilizar, La relación  $\text{CO}_2/\text{S}$  total tuvo un comportamiento estable en 4 de las estaciones monitoreadas.
- Las medidas de  $\text{SO}_2$  en el 2013 se presentaron incrementos en las emisiones especialmente entre los meses Mayo-Junio.

- Se reinició el monitoreo de los manantiales termales asociados al Volcán Nevado del Tolima, se realizaron medidas de parámetros fisicoquímicos.
- En las estaciones de gas Radón del Volcán Cerro Machín se encontraron incrementos significativos.
- El pH de las fuentes termales estudiadas evidenció un incremento en los meses de mayo y julio.
- El contenido de aniones mayoritarios presento variaciones en la concentración de sulfatos en la fuente termal Piscina y Estatuas, el contenido de cloruros en las fuentes termales del Volcán Cerro Machín no presento cambios significativos.
- La emisión de gas Radón en el Volcán Cerro Bravo presento cambios significativos en el 2013.