



**INFORME TÉCNICO ANUAL DE ACTIVIDAD VOLCÁNICA DEL SEGMENTO  
VOLCÁNICO NORTE DE COLOMBIA**

**Manizales, 2014**



## RESUMEN

La actividad del Segmento Volcánico Norte de Colombia durante el año de 2014, conservó los niveles de actividad hasta el momento establecidos. Los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín, continuaron mostrando un comportamiento variable en su actividad y los demás edificios volcánicos mostraron un comportamiento estable.

El volcán Nevado del Ruiz (VNR) presentó cambios importantes con respecto al año anterior. En cuanto a la actividad sísmica asociada a fracturamiento de roca, continuó presentando una alta tasa de ocurrencia de eventos, especialmente en el mes de diciembre, cuando se presentaron 24509 eventos y se registró la magnitud máxima alcanzada en el año de 3.4  $M_L$ . Este tipo de actividad estuvo localizada en la mayoría de fuentes sismogénicas asociadas al volcán, a profundidades que oscilaron entre 0.1 y 10 km. Con respecto a la actividad de fluidos al interior de los conductos volcánicos, se registró un incremento entre octubre y diciembre, tanto en número de eventos como en los desplazamientos reducidos, mostrando un incremento en este tipo de actividad con respecto al año 2013. Como consecuencia del incremento en la actividad de fluidos, a partir del 18 de noviembre y hasta el momento de publicación de este informe, se han venido registrando reiteradamente episodios de tremor continuo, asociados a limpieza de conductos y emisiones de ceniza a la atmósfera. Estas emisiones han sido confirmadas mediante fotografías, reportes de los habitantes en las inmediaciones del volcán y municipios aledaños, imágenes satelitales, entre otros.

El volcán Cerro Machín (VCM) presentó actividad sísmica de tipo VT asociada a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico. Los sismos se localizaron principalmente en el domo principal a profundidades que variaron entre 2 y 7.5 km; al suroriente a profundidades que variaron entre 2.5 y 16 km; y en menor proporción hacia el sector sur y suroccidental a profundidades entre 2.5 y 12.5 km. La máxima magnitud registrada durante el año fue de 3.5  $M_L$  (magnitud local), asociada a un sismo ocurrido el 15 de octubre a las 15:02 respectivamente (hora local).

Con relación a los demás parámetros monitoreados, se observó en el volcán Nevado del Ruiz algunos cambios en la deformación del volcán, así como en los parámetros fisicoquímicos monitoreados. Los demás edificios volcánicos no mostraron variaciones importantes en los parámetros monitoreados.

Otros edificios volcánicos como Santa Isabel y el Paramillo del Cisne también se destacaron por mostrar incrementos importantes en su actividad sísmica en comparación con años anteriores.

Con base en la evaluación integral de los parámetros que se monitorean continuamente, se concluye que continúan en NIVEL AMARILLO ■ (o III): Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín, y en NIVEL VERDE ● (o IV): Volcán activo y comportamiento estable, los volcanes Nevado del Tolima, Cerro Bravo, Nevado Santa Isabel, Paramillo del Cisne, Paramillo del Quindío, Paramillo de Santa Rosa, San Diego y Romeral.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR).....</b>	<b>3</b>
1.1 RED DE VIGILANCIA .....	3
1.2 SISMOLOGÍA.....	5
1.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT) .....	10
1.2.2 Sismos de largo período (LP).....	17
1.2.3 Actividad superficial (la columna de gas y señales sísmicas asociadas a la actividad glacial) .....	25
1.3 DEFORMACIÓN.....	27
1.4 GEOQUÍMICA .....	35
1.4.1 Emisiones de SO <sub>2</sub> en Estaciones DOAS.....	36
1.4.2 Medidas Móviles de SO <sub>2</sub> .....	42
1.4.3 Emisiones de Gas Radón.....	44
1.4.4 Fuentes Termales (FT).....	46
1.4.5 Gases en Botellas de Giggenbach .....	49
<b>2. VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT).....</b>	<b>50</b>
2.1 RED DE VIGILANCIA .....	50
2.2 SISMOLOGÍA.....	50
2.2.1 Señales asociadas a la actividad glacial.....	53
2.3 DEFORMACIÓN.....	54
<b>3. VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM) .....</b>	<b>56</b>
3.1 RED DE VIGILANCIA .....	56
3.2 SISMOLOGÍA.....	58
3.2.1 Sismos volcano-tectónicos.....	58
3.3 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS .....	62
3.3.1 Magnetometría.....	62
3.3.2 Potencial espontáneo.....	63
3.4 DEFORMACIÓN.....	64
3.5 GEOQUÍMICA .....	70
3.5.1 Medidas de Gas Radón.....	71
3.5.2 Fuentes Termales (FT).....	73
3.5.3 TEMPERATURA .....	76
<b>4. VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB) .....</b>	<b>78</b>
4.1 RED DE VIGILANCIA .....	78
4.2 SISMOLOGÍA.....	78
4.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT).....	79
4.2.2 Sismos de Largo Período (LP) .....	80
4.2.3 Actividad Superficial.....	80
4.3 DEFORMACIÓN.....	81
4.4 GEOQUÍMICA .....	84

4.4.1	Medidas de Gas Radón.....	84
<b>5.</b>	<b>VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VPSR) .....</b>	<b>86</b>
5.1	RED DE VIGILANCIA .....	86
5.2	SISMOLOGÍA.....	87
5.2.1	Sismos volcano-tectónicos (VT) .....	87
5.3	GEOQUÍMICA .....	90
<b>6.</b>	<b>VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL (VNSI).....</b>	<b>94</b>
6.1	RED DE VIGILANCIA .....	94
6.2	SISMOLOGÍA.....	94
6.2.1	Sismos volcano-tectónicos (VT) .....	94
6.3	DEFORMACIÓN.....	100
<b>7.</b>	<b>VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE (VPC) .....</b>	<b>102</b>
7.1	SISMOLOGÍA.....	102
7.1.1	Sismos volcano-tectónicos (VT) .....	102
<b>8.</b>	<b>PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ) .....</b>	<b>104</b>
8.1	SISMOLOGÍA.....	104
<b>9.</b>	<b>VOLCÁN SAN DIEGO.....</b>	<b>105</b>
9.1	RED DE VIGILANCIA .....	105
9.2.	SISMOLOGÍA.....	105
<b>10.</b>	<b>VOLCÁN ROMERAL .....</b>	<b>106</b>
10.1	RED DE VIGILANCIA .....	106
10.2	SISMOLOGÍA.....	106
<b>11.</b>	<b>ACTIVIDAD TECTÓNICA.....</b>	<b>106</b>
11.1	RED DE VIGILANCIA. ....	106
11.2.	SISMOLOGÍA.....	106
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>108</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. RED DE VIGILANCIA COMPLEJO VOLCÁNICO NORTE DE COLOMBIA.....	2
FIGURA 2. ADECUACIONES DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DE EQUIPOS (GABINETE EN FIBRA) Y ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE PANELES SOLARES EN LA ESTACIÓN MULTIPARAMÉTRICA GUALI.....	3
FIGURA 3. ESTACIÓN METEOROLÓGICA OLLETA.....	4
FIGURA 4. ESTACIÓN MULTIPARAMÉTRICA RECIO 3.....	5
FIGURA 5. RED SISMOLÓGICA. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ.....	7
FIGURA 6. NÚMERO DE SISMOS DIARIOS OCURRIDOS EN EL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ, .....	8
FIGURA 7. RAÍZ DE LA ENERGÍA SÍSMICA DIARIA LIBERADA POR EVENTOS TIPO VT Y HB EN EL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. A) PERIODO 2010 – 2014 Y, B) PERIODO 2014. LÍNEA PUNTEADA AZUL MUESTRA COMO AUMENTA LA ENERGÍA SÍSMICA LIBERADA DURANTE EL AÑO 2014. ....	9
FIGURA 8. MAPA DE LOCALIZACIÓN HIPOCENTRAL DE EVENTOS SÍSMICOS TIPO VT (CÍRCULOS DE COLORES) REGISTRADOS EN EL ÁREA DEL VNR DURANTE AÑO 2014. LOS CUADRADOS NEGROS REPRESENTAN LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS.....	10
FIGURA 9. INCREMENTO SIGNIFICATIVO DE EVENTOS TIPO VT EN LA ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ, DICIEMBRE 02 AL 05 DEL 2014. SISMOGRAMAS REPRESENTATIVOS DE LAS HORAS DE MAYOR REGISTRO SÍSMICO DE TIPO VT (CÍRCULOS ROJOS) EN LA COMPONENTE VERTICAL DE LA ESTACIÓN DE OLLETA (IZQUIERDA). LA ESTRELLA AMARILLA SEÑALA EL INICIO DEL EVENTO DE MAYOR MAGNITUD TANTO DEL INCREMENTO COMO DEL AÑO (3.4 M <sub>L</sub> ). GRÁFICA DEL NÚMERO DE EVENTOS TIPO VT REGISTRADOS POR HORA DURANTE EL INCREMENTO (DERECHA, ARRIBA). MAPA DE LOCALIZACIONES DE LOS EVENTOS (DERECHA, ABAJO), COLORES CÁLIDOS REPRESENTAN SISMOS CON PROFUNDIDADES MENORES A <4 KM Y COLORES FRÍOS EVENTOS CON PROFUNDIDADES MAYORES O IGUALES A ≥4 KM.....	13
FIGURA 10. INCREMENTO SIGNIFICATIVO DE EVENTOS TIPO VT EN LA ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ, DICIEMBRE 12 AL 14 DEL 2014. SISMOGRAMA REPRESENTATIVO DE LAS HORAS DE MAYOR REGISTRO SÍSMICO DE TIPO VT (CÍRCULOS ROJOS) EL DÍA 13 DE DICIEMBRE DE 2014, EN LA COMPONENTE VERTICAL DE LA ESTACIÓN DE OLLETA (IZQUIERDA, ARRIBA). GRÁFICA DEL NÚMERO DE EVENTOS TIPO VT REGISTRADOS POR HORA DURANTE EL INCREMENTO (IZQUIERDA, ABAJO). MAPA DE LOCALIZACIONES DE LOS EVENTOS (DERECHA), COLORES CÁLIDOS REPRESENTAN SISMOS CON PROFUNDIDADES MENORES <4 KM Y COLORES FRÍOS EVENTOS CON PROFUNDIDADES MAYORES O IGUALES A ≥4 KM.....	14
FIGURA 11. MAPA DE LOCALIZACIÓN EPICENTRAL DE EVENTOS SÍSMICOS TIPO LP (CÍRCULOS NARANJAS) EN EL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ DURANTE EL AÑO 2014. NÓTESE LA SUAVE MIGRACIÓN DE LA SISMICIDAD TIPO LP EN EL AÑO, DEL SECTOR SUR-SUROCCIDENTE- SURORIENTE (ENERO – ABRIL, DERECHA SUPERIOR) A SURORIENTE – ORIENTE (OCTUBRE – DICIEMBRE, DERECHA INFERIOR) DEL CRÁTER ARENAS.....	18
FIGURA 12. PERIODOS DE LOS SISMOS LP REGISTRADOS DURANTE EL AÑO 2014 EN EL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ.....	18
FIGURA 13. REGISTRO SÍSMICO Y ESPECTRO ASOCIADO AL EVENTO TIPO LP DE MAYOR DESPLAZAMIENTO REDUCIDO REGISTRADO DURANTE EL AÑO 2014. ESTACIÓN OLLETA, COMPONENTE VERTICAL. EL EJE HORIZONTAL DE LA IMAGEN ES TIEMPO (EN HORA UTC) DADO EN SEGUNDOS Y LOS EJES VERTICALES SON LA AMPLITUD DE LA SEÑAL EN NM/S Y LA FRECUENCIA EN HZ, RESPECTIVAMENTE.....	19
FIGURA 14. REGISTRO SÍSMICO Y ESPECTRO ASOCIADO DE ALGUNOS EVENTOS TIPO LP DE MAYOR DESPLAZAMIENTO REDUCIDO REGISTRADOS DURANTE EL AÑO 2014. EL EJE HORIZONTAL DE LA IMAGEN ES TIEMPO (EN HORA UTC) DADO EN SEGUNDOS Y LOS EJES VERTICALES SON LA AMPLITUD DE LA SEÑAL EN NM/S O CUENTAS Y LA FRECUENCIA EN HZ, RESPECTIVAMENTE.....	20
FIGURA 15. QR EN EL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ MEDIANTE EL MÉTODO SOMPI PARA EL AÑO 2014.....	21
FIGURA 16. GRÁFICA DE LA MEDIDA DE LA AMPLITUD SÍSMICA EN TIEMPO REAL - RSAM (POR SUS SIGLAS EN INGLÉS) PARA EL REGISTRO DEL TREMOR VOLCÁNICO CONTINUO EN EL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ DURANTE EL 2014.....	23

FIGURA 17. SISMOGRAMA Y ESPECTROGRAMA REPRESENTATIVO DE LOS EPISODIOS DE TC (CÍRCULOS CIAN) REGISTRADOS DURANTE EL AÑO 2014, EN EL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. ESTACIÓN DE BIS, COMPONENTE VERTICAL. INICIO REGISTRO DE LA SEÑAL DE TC EN DICIEMBRE 15 (IZQUIERDA) Y FOTOGRAFÍA DE LA EMISIÓN DE CENIZA RELACIONADA CON LA SEÑAL (IZQUIERDA, ABAJO), CAPTURADA POR LA CÁMARA DEL OVSM DESDE EL SECTOR DE PIRAÑA. NÓTESE LAS VARIACIONES EN EL NIVEL ENERGÉTICO DE LA SEÑAL DEL TC DURANTE LOS DÍAS 22 AL 23 DE DICIEMBRE (DERECHA).....	24
FIGURA 18. ALTURA DE COLUMNA DE GASES Y CENIZA OBSERVADA ENTRE ENERO-DICIEMBRE DE 2014 A PARTIR DE APRECIACIONES VISUALES DESDE EL OVSM Y DE LAS CÁMARAS INSTALADAS EN EL ÁREA DEL VOLCÁN. ....	25
FIGURA 19. COLUMNA DE GASES DEL CRÁTER ARENAS, VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. FOTOGRAFÍAS CAPTURADAS DURANTE EL AÑO DE 2014, DESDE LAS CÁMARAS UBICADAS EN INMEDIACIONES DE LA ESTRUCTURA VOLCÁNICA DEL VNR -SECTOR DE PIRAÑA (SUPERIOR) Y SECTOR DEL CERRO GUALÍ (INFERIOR, IZQUIERDA)- Y DESDE LAS INSTALACIONES DEL OVSM (INFERIOR, CENTRAL Y DERECHA). ....	26
FIGURA 20. IMÁGENES ASTER DEL SENSOR OLI-TIRS, ACOPLADO AL SATÉLITE LANDSAT8, LOS DÍAS: A) 24 DE NOVIEMBRE Y B) 26 DE DICIEMBRE DE 2014. ....	26
FIGURA 21. RED DE DEFORMACIÓN. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. ....	27
FIGURA 22. SERIE DE TIEMPO VERTICAL, GPS BLLR, GUAL, NERE, OLLE, PIRA Y RUBI A PARTIR DE PROCESAMIENTO "ABSOLUTO" CON EL SOFTWARE GAMIT-GLOBK. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. ....	28
FIGURA 23. SERIE DE TIEMPO ESTE, GPS. BLLR, GUAL, NERE, OLLE, PIRA Y RUBI A PARTIR DE PROCESAMIENTO "ABSOLUTO" CON EL SOFTWARE GAMIT-GLOBK. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. ....	29
FIGURA 24. SERIE DE TIEMPO NORTE, GPS BLLR, GUAL, NERE, OLLE, PIRA Y RUBI A PARTIR DE PROCESAMIENTO "ABSOLUTO" CON EL SOFTWARE GAMIT-GLOBK. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. ....	30
FIGURA 25. 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 2014. ....	31
FIGURA 26. COMPORTAMIENTO DE LAS COMPONENTES NORTE (N) (AZUL), ESTE (E) (ROJO) Y RESULTANTE (MAGENTA) DE LOS INCLINÓMETROS ELECTRÓNICOS AZUF (A), LISA (B), RECI (C), GUAL (D), REFU (E), DE LA RED DE DEFORMACIÓN DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ DESDE ENERO DE 2012 HASTA DICIEMBRE DE 2014. ....	32
FIGURA 27. COMPORTAMIENTO DE LA BASE EDM REFUGIO REFLECTORES R1, R2, R3, Y R4, DE LA RED DE DEFORMACIÓN DEL VNR HASTA DICIEMBRE DE 2014. ....	33
FIGURA 28. A) INTERFEROGRAMA Y B) SERIE DE TIEMPO ASOCIADA, CON LA DEFORMACIÓN PRESENTADA EN EL SECTOR DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ ENTRE EL 2011 Y EL 2014. CORTESÍA DR. SERGEY SANSONOV CANADA CENTRE FOR MAPPING AND EARTH OBSERVATION NATURAL RESOURCES CANADA. ....	34
FIGURA 29. RED GEOQUÍMICA. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. ....	35
FIGURA 30. MAPA DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES SCAN DOAS. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. ....	36
FIGURA 31. FLUCTUACIONES DE LOS FLUJOS MÁXIMOS DE SO <sub>2</sub> EN EL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ ENTRE EL 2010-2014. ....	38
FIGURA 32. FLUJO DE SO <sub>2</sub> PROMEDIO Y DIARIO ESTIMADO DESDE ESTACIONES SCAN DOAS. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014. ....	39
FIGURA 33. FRECUENCIA DE LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO PREDOMINANTES PARA EL AÑO 2014. ....	40
FIGURA 34. IMÁGENES OMI QUE MUESTRAN LA DESGASIFICACIÓN SO <sub>2</sub> EN EL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014. ....	42
FIGURA 35. FLUJOS DE SO <sub>2</sub> ESTIMADOS CON EQUIPO MOBILEDOAS. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014. ....	43
FIGURA 36. RUTAS FRECUENTES PARA MEDIDA DE SO <sub>2</sub> CON EQUIPO MOBILEDOAS. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014. ....	44
FIGURA 37. VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE RADÓN EN SUELO ESTACIONES GUALI, AZUFRADO, OLLETA Y ALFOMBRALES. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014. ....	45

FIGURA 38. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN FUENTES TERMALES HOTEL Y AGUAS CALIENTES VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014.....	46
FIGURA 39. VARIACIÓN DEL PH EN FUENTES TERMALES HOTEL Y AGUAS CALIENTES. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014.....	47
FIGURA 40. VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN FUENTES TERMALES HOTEL Y AGUAS CALIENTES. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014.....	47
FIGURA 41. VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SULFATOS Y CLORUROS EN LAS FUENTES HOTEL Y AGUAS CALIENTES. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014.....	48
FIGURA 42. ESTACIONES NIDO DE AGUILA Y ESMERALDA.....	50
FIGURA 43. RED SISMOLÓGICA. VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA.....	51
FIGURA 44. NÚMERO DE SISMOS DIARIOS OCURRIDOS EN EL VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA, ENERO A DICIEMBRE DE 2014.....	52
FIGURA 45. RAÍZ DE LA ENERGÍA DIARIA LIBERADA EN EL VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA, ENERO A DICIEMBRE DE 2014.....	52
FIGURA 46. MAPA DE LOCALIZACIÓN HIPOCENTRAL SISMOS VOLCANO-TECTÓNICOS (CÍRCULOS DE COLORES), VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA, ENERO A DICIEMBRE DE 2014. LOS CUADROS NEGROS REPRESENTAN LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS.....	53
FIGURA 47. RED DE DEFORMACIÓN. VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA.....	54
FIGURA 48. COMPORTAMIENTO DE LAS COMPONENTES NORTE, ESTE Y RESULTANTE DEL INCLINÓMETRO ELECTRÓNICO ESME, DE LA RED DE DEFORMACIÓN DEL VNT HASTA DICIEMBRE DE 2014. VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	55
FIGURA 49. ANTENA SATELITAL EN LA REPETIDORA CIELO ROTO.....	56
FIGURA 50. IMÁGENES DEL SISTEMA DE RADIO DE 5GHZ EN LAS ESTACIONES LAGUNA Y LA SECRETA.....	57
FIGURA 51. NUEVAS ESTACIÓN METEOROLÓGICA CIMA.....	57
FIGURA 52. RED SISMOLÓGICA. VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	58
FIGURA 53. NÚMERO DE SISMOS DIARIOS OCURRIDOS EN EL VOLCÁN CERRO MACHÍN, ENERO A DICIEMBRE DE 2014.....	59
FIGURA 54. RAÍZ DE LA ENERGÍA SÍSMICA DIARIA LIBERADA POR EL VOLCÁN CERRO MACHÍN, ENERO A DICIEMBRE DE 2014.....	59
FIGURA 55. LOCALIZACIÓN HIPOCENTRAL DE SISMOS VOLCANO-TECTÓNICOS EN EL VOLCÁN CERRO MACHÍN, AÑO 2014, LOS CUADROS NEGROS REPRESENTAN LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS.....	60
FIGURA 56. REGISTRO SÍSMICO Y ESPECTRO ASOCIADO AL SISMO VOLCANO-TECTONICO DE MAYOR ENERGÍA DURANTE EL AÑO, REGISTRADO EL DÍA 15 DE OCTUBRE A LAS 15:02 (HORA LOCAL) EN EL VCM. EL EJE HORIZONTAL DE LA IMAGEN ES EL TIEMPO (S) Y EL EJE VERTICAL ES LA AMPLITUD EN CUENTAS Y LA FRECUENCIA (Hz).....	60
FIGURA 57. SISMOGRAMA REPRESENTATIVO DEL ENJAMBRE SÍSMICO DEL 15 DE OCTUBRE DE 2014. LOS CÍRCULOS ROJOS INDICAN LA CLASIFICACIÓN DEL EVENTO SÍSMICO VT.....	61
FIGURA 58. VARIACIONES DEL CAMPO MAGNÉTICO EN EL VOLCÁN CERRO MACHÍN, PERIODO ENERO-DICIEMBRE DE 2014. ESTACIÓN AGUAS CALIENTES.....	62
FIGURA 59. VARIACIONES DEL CAMPO MAGNÉTICO EN EL VOLCÁN CERRO MACHÍN, PERIODO ENERO-DICIEMBRE DE 2014. ESTACIÓN DOMO.....	63
FIGURA 60. VALORES REGISTRADOS DE POTENCIAL ESPONTÁNEO ENERO-DICIEMBRE DE 2014, EN LA ESTACIÓN DOMO EN EL VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	64
FIGURA 61. RED DE DEFORMACIÓN. VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	65
FIGURA 62. SERIE DE TIEMPO VERTICAL, GPS. LAGU, MRAL, RODE, SANA A PARTIR DE PROCESAMIENTO "ABSOLUTO" CON EL SOFTWARE GAMIT-GLOBK. VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	66
FIGURA 63. SERIE DE TIEMPO ESTE, GPS. LAGU, MRAL, RODE, SANA A PARTIR DE PROCESAMIENTO "ABSOLUTO" CON EL SOFTWARE GAMIT-GLOBK. VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	66
FIGURA 64. SERIE DE TIEMPO NORTE, GPS. LAGU, MRAL, RODE, SANA A PARTIR DE PROCESAMIENTO "ABSOLUTO" CON EL SOFTWARE GAMIT-GLOBK. VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	67
FIGURA 65. COMPORTAMIENTO DE LAS COMPONENTES NORTE (N) (AZUL) Y ESTE (E) (ROJO) DEL INCLINÓMETRO ELECTRÓNICOS CIMA HASTA DICIEMBRE DE 2014. VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	68

FIGURA 66. COMPORTAMIENTO DE LAS COMPONENTES NORTE (N) (AZUL) Y ESTE (E) (ROJO) DEL INCLINÓMETRO ELECTRÓNICOS CIMA HASTA DICIEMBRE DE 2013.....	69
FIGURA 67. OCUPACIONES DE LA BASE EDM LA PALMA. DURANTE EL 2014. VOLCÁN CERRO MACHÍN..	69
FIGURA 68. OCUPACIONES DE LA BASE EDM SAN LORENZO. DURANTE EL 2014. VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	70
FIGURA 69. RED GEOQUÍMICA. VOLCÁN CERRO MACHÍN. ....	71
FIGURA 70. VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE RADÓN EN SUELO. VOLCÁN CERRO MACHÍN. 2014. (LOS RECTÁNGULOS ROJOS REPRESENTAN PÉRDIDA DE DATOS POR MAL FUNCIONAMIENTO DE LAS ESTACIONES).....	72
FIGURA 71. VARIACIÓN DE TEMPERATURA FUENTES TERMALES PISCINA Y ESTATUAS. VOLCÁN CERRO MACHÍN. 2014.....	73
FIGURA 72. VARIACIÓN DE PH FUENTES TERMALES TERMALES PISCINA Y ESTATUAS. VOLCÁN CERRO MACHÍN. 2014.....	74
FIGURA 73. VARIACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA FUENTES TERMALES PISCINA Y ESTATUAS. VOLCÁN CERRO MACHÍN. 2014.....	74
FIGURA 74. VARIACIÓN EN EL CONTENIDO DE ANIONES MAYORITARIOS FUENTE TERMAL PISCINA .....	75
FIGURA 75. VARIACIÓN EN EL CONTENIDO DE ANIONES MAYORITARIOS FUENTE TERMAL ESTATUAS .....	76
FIGURA 76. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN CIMA Y ESTATUAS. VOLCÁN CERRO MACHÍN. 2014. ...	77
FIGURA 77. IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS DE TRANSMISIÓN 2,4 GHZ EN LA REPETIDORA CERRO BRAVO. ....	78
FIGURA 78. RED VIGILANCIA SÍSMICA, VOLCÁN CERRO BRAVO. ....	79
FIGURA 79. NÚMERO DIARIO DE EVENTOS SÍSMICOS REGISTRADOS EN EL VOLCÁN CERRO BRAVO, DURANTE EL AÑO 2014.....	80
FIGURA 80. RAÍZ DE LA ENERGÍA SÍSMICA LIBERADA DIARIAMENTE EN EL VOLCÁN CERRO BRAVO, DURANTE EL AÑO 2014.....	81
FIGURA 81. RED DE DEFORMACIÓN DEL VOLCÁN CERRO BRAVO. ....	82
FIGURA 82. COMPORTAMIENTO DE LAS COMPONENTES NORTE (N) (AZUL) Y ESTE (E) (ROJO) DEL INCLINÓMETRO ELECTRÓNICO CBRA HASTA DICIEMBRE DE 2014. VOLCÁN CERRO BRAVO.....	83
FIGURA 83. OCUPACIONES DE LA BASE EDM EL DOCE, DURANTE EL 2014. VOLCÁN CERRO BRAVO.....	83
FIGURA 84. RED GEOQUÍMICA. VOLCÁN CERRO BRAVO.....	84
FIGURA 85. VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE RADÓN EN SUELO. VOLCÁN CERRO BRAVO. 2014.....	85
FIGURA 86. ESTACIÓN DE BANDA ANCHA PARAMILLO. ....	86
FIGURA 87. ESTACIÓN DE BANDA ANCHA EL AGUILA.....	87
FIGURA 88. RED SISMOLÓGICA. VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA.....	88
FIGURA 89. NÚMERO DE EVENTOS SÍSMICOS DIARIOS TIPO VT, REGISTRADOS DURANTE EL 2014 EN EL VPSR.....	88
FIGURA 90. RAÍZ DE LA ENERGÍA SÍSMICA DIARIA LIBERADA POR EVENTOS SÍSMICOS TIPO VT REGISTRADOS EN EL VPSR, DURANTE EL AÑO 2014.....	89
FIGURA 91. MAPA DE LOCALIZACIÓN HIPOCENTRAL DE LOS SISMOS VOLCANO-TECTÓNICOS (CÍRCULOS DE COLORES) REGISTRADOS EN EL ÁREA DEL VPSR, DURANTE EL AÑO 2014. LOS CUADRADOS NEGROS REPRESENTAN LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS.....	90
FIGURA 92. VARIACIÓN DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DE LOS MANANTIALES TERMALES BALNEARIO SANTA ROSA. VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA. 2014.....	91
FIGURA 93. VARIACIÓN DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DE LOS MANANTIALES TERMALES BALNEARIO SANTA ELENA. VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA. 2014.....	92
FIGURA 94. VARIACIÓN DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DE LOS MANANTIALES TERMALES BALNEARIO SAN VICENTE. VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA. 2014. ....	93
FIGURA 95. PROFUNDIZACIÓN DEL SENSOR DE BANDA ANCHA EN LA ESTACIÓN GLACIAR.....	94
FIGURA 96. RED SISMOLÓGICA. VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL. ....	95
FIGURA 97. NÚMERO DE EVENTOS SÍSMICOS DIARIOS TIPO VT, OCURRIDOS DURANTE EL AÑO 2014 EN EL VNSI. ....	96
FIGURA 98. RAÍZ DE LA ENERGÍA SÍSMICA LIBERADA DIARIA DE LOS EVENTOS SÍSMICOS TIPO VT	

REGISTRADOS EN EL VNSI DURANTE EL AÑO 2014. ....	96
FIGURA 99. MAPA DE LOCALIZACIÓN HIPOCENTRAL DE LOS SISMOS VOLCANO-TECTÓNICOS (CÍRCULOS DE COLORES) REGISTRADOS EN EL ÁREA DEL VNSI, DURANTE EL AÑO 2014. LOS CUADRADOS NEGROS REPRESENTAN LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS.....	97
FIGURA 100. NÚMERO DE EVENTOS SÍSMICOS DIARIOS TIPO VT, REGISTRADOS DURANTE EL AÑO 2014 EN EL CERRO ESPAÑA. ....	98
FIGURA 101. RAÍZ DE LA ENERGÍA SÍSMICA LIBERADA DIARIA DE LOS EVENTOS SÍSMICOS TIPO VT REGISTRADOS EN EL CE DURANTE EL AÑO 2014.....	98
FIGURA 102. MAPA DE LOCALIZACIÓN HIPOCENTRAL DE LOS SISMOS VOLCANO-TECTÓNICOS (CÍRCULOS DE COLORES) REGISTRADOS EN EL ÁREA DEL CERRO ESPAÑA, DURANTE EL AÑO 2014. LOS CUADRADOS NEGROS REPRESENTAN LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS. ....	99
FIGURA 103. RED DE DEFORMACIÓN. VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL.....	100
FIGURA 104. COMPORTAMIENTO DE LAS COMPONENTES NORTE (N) (AZUL) Y ESTE (E) (ROJO) DEL INCLINÓMETRO ELECTRÓNICO CHAV HASTA DICIEMBRE DE 2014. ....	101
FIGURA 105. COMPORTAMIENTO DE LAS COMPONENTES NORTE (N) (AZUL) Y ESTE (E) (ROJO) DEL INCLINÓMETRO ELECTRÓNICO GLAC HASTA DICIEMBRE DE 2014. ....	101
FIGURA 106. NÚMERO DE EVENTOS SÍSMICOS TIPO VT DIARIOS REGISTRADOS EN EL VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE DURANTE EL 2014. ....	102
FIGURA 107. RAÍZ DE LA ENERGÍA SÍSMICA DIARIA LIBERADA POR EVENTOS TIPO VT EN EL VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE DURANTE EL 2014. ....	103
FIGURA 108. MAPA DE LOCALIZACIÓN HIPOCENTRAL DE EVENTOS SÍSMICOS TIPO VT (CÍRCULOS DE COLORES) REGISTRADOS EN EL VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE DURANTE EL AÑO 2014. LOS CUADRADOS NEGROS REPRESENTAN LAS ESTACIONES SISMOLÓGICAS INSTALADAS EN EL ÁREA. LÍNEAS ROJAS CORRESPONDEN A LOS RASGOS ESTRUCTURALES MÁS RELEVANTES. ....	103
FIGURA 109. NÚMERO DE SISMOS DIARIOS, PARAMILLO DEL QUINDÍO, 2014. ....	104
FIGURA 110. ENERGÍA SÍSMICA DIARIA LIBERADA, PARAMILLO DEL QUINDÍO, 2014. ....	104
FIGURA 111. LOCALIZACIÓN HIPOCENTRAL DE SISMOS VT EN EL PARAMILLO DEL QUINDÍO, 2014. ....	105
FIGURA 112. LOCALIZACIÓN HIPOCENTRAL DE SISMOS TECTÓNICOS LOCALES EN LA REGIÓN CENTRAL DE COLOMBIA, DURANTE 2014, LOCALIZADOS POR EL OVSM. ....	107

## LISTA DE TABLAS

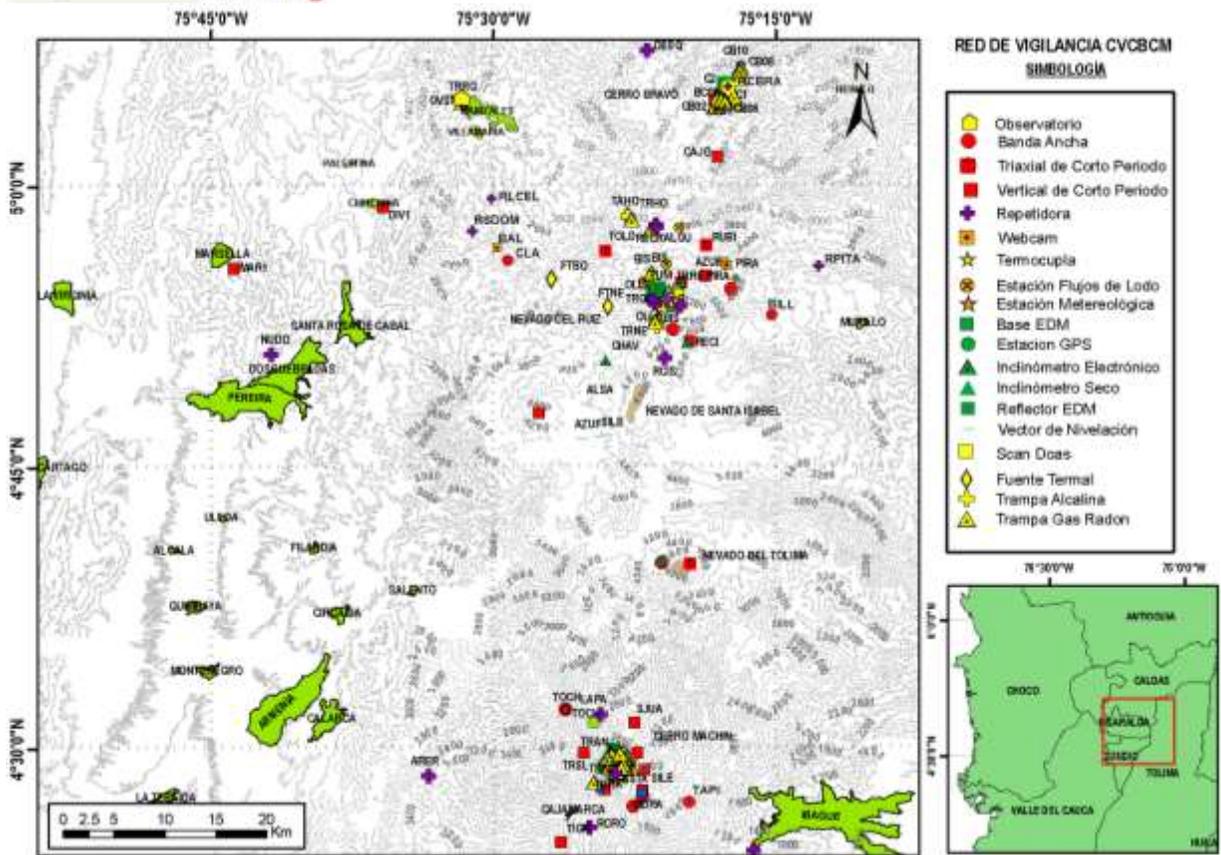
TABLA 1. LISTADO DE LOS EVENTOS DE MAYOR MAGNITUD REGISTRADOS MENSUALMENTE DURANTE EL 2014.....	12
TABLA 2. PRINCIPALES INCREMENTOS SÍSMICOS EN CUANTO AL NÚMERO DE EVENTOS TIPO VT REGISTRADOS EN EL ÁREA DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ DURANTE EL 2014.....	15
TABLA 3. PRINCIPALES EVENTOS SÍSMICOS TIPO VT EN CUANTO A ENERGÍA SÍSMICA LIBERADA, REGISTRADOS EN EL ÁREA DEL VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ DURANTE EL 2014.....	16
TABLA 4. LISTADO DE EVENTOS ASOCIADOS A GASES Y FLUIDOS DE MAYOR DR POR MES DEL AÑO 2014....	17
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS EPISODIOS DE TC PARA EL PERIODO DE NOVIEMBRE 18 A NOVIEMBRE 30 DE 2014. ....	23
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LOS EPISODIOS DE TC PARA EL PERIODO DE DICIEMBRE 15 AL 31 DE 2014. ....	24
TABLA 7. FLUJOS DE SO <sub>2</sub> ESTIMADOS DE LAS ESTACIONES SCAN DOAS. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ.....	37
TABLA 8. PARÁMETROS DE VIENTO Y RUTAS USADAS PARA MEDIDAS MÓVILES DE SO <sub>2</sub> . VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014.....	43
TABLA 9. DATOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA FUENTE TERMAL BOTERO LONDOÑO. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014.....	49
TABLA 10. DATOS FÍSICOQUÍMICOS DE LA FUENTE TERMAL NEREIDAS. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014. ....	49
TABLA 11. DATOS DE CONCENTRACIÓN DE GASES EN LA FUMAROLA NEREIDAS. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ. 2014.....	49
TABLA 12. EVENTOS SÍSMICOS CON MAGNITUDES LOCALES $\geq 2.0$ , REGISTRADOS EN EL VPSR, DURANTE EL AÑO 2014.....	89
TABLA 13. EVENTOS SÍSMICOS CON MAGNITUDES LOCALES $\geq 2.0$ , REGISTRADOS EN EL VNSI, DURANTE EL AÑO 2014.....	97

## INTRODUCCIÓN

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

Cumpliendo con la misión que le ha sido encomendada, el OVS-Manizales realiza monitoreo continuo del comportamiento que presentan los volcanes anteriormente mencionados, 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 del Segmento Norte de Colombia, correspondiente al año de 2014. Este informe compila la información obtenida a través de las redes de vigilancia instaladas en los alrededores de los centros volcánicos (Figura 1).



## 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 2014 fue del **89.3%**.

Durante este año se destacan los trabajos que se realizaron para mejorar la infraestructura física de protección de equipos y de aislamiento térmico de los sensores en las estaciones de monitoreo volcánico. Además, se mejoraron los sistemas de suministro de energía eléctrica solar en muchas estaciones, donde se rediseñó para obtener una mayor autonomía de funcionamiento de los equipos. En particular, 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. También se reemplazaron algunos gabinetes metálicos de hierro por otros de fibra de vidrio (Figura 2).



Figura 2. Adecuaciones del sistema de protección de equipos (Gabinete en fibra) y estructuras de soporte de paneles solares en la estación multiparamétrica GUALI.

Por otra parte, la red de monitoreo se amplió mediante las instalaciones de la estación de corto periodo digitalizado OLLETA 2, la estación meteorológica OLLETA (Figura 2) y la estación de gas radón OLLETA. (Figura 3).



Figura 3. Estación Meteorológica OLLETA.

También se comenzaron a unificar algunas telemetrías y estaciones, de tal modo que ahora se consideran estaciones multiparamétricas. Las estaciones BRUMA (SO<sub>2</sub>), GPS GUALI, y ANEMOMETRO GUALI ahora forman una sola estación, igualmente se unificaron las estaciones GPS, INCLINOMETRO y CORTO PERIODO RECIO (Figura 4).



Figura 4. Estación multiparamétrica RECIO 3.

## 1.2 SISMOLOGÍA

Durante el año de 2014, la red de estaciones sismológicas instaladas en el Volcán Nevado del Ruiz (VNR)

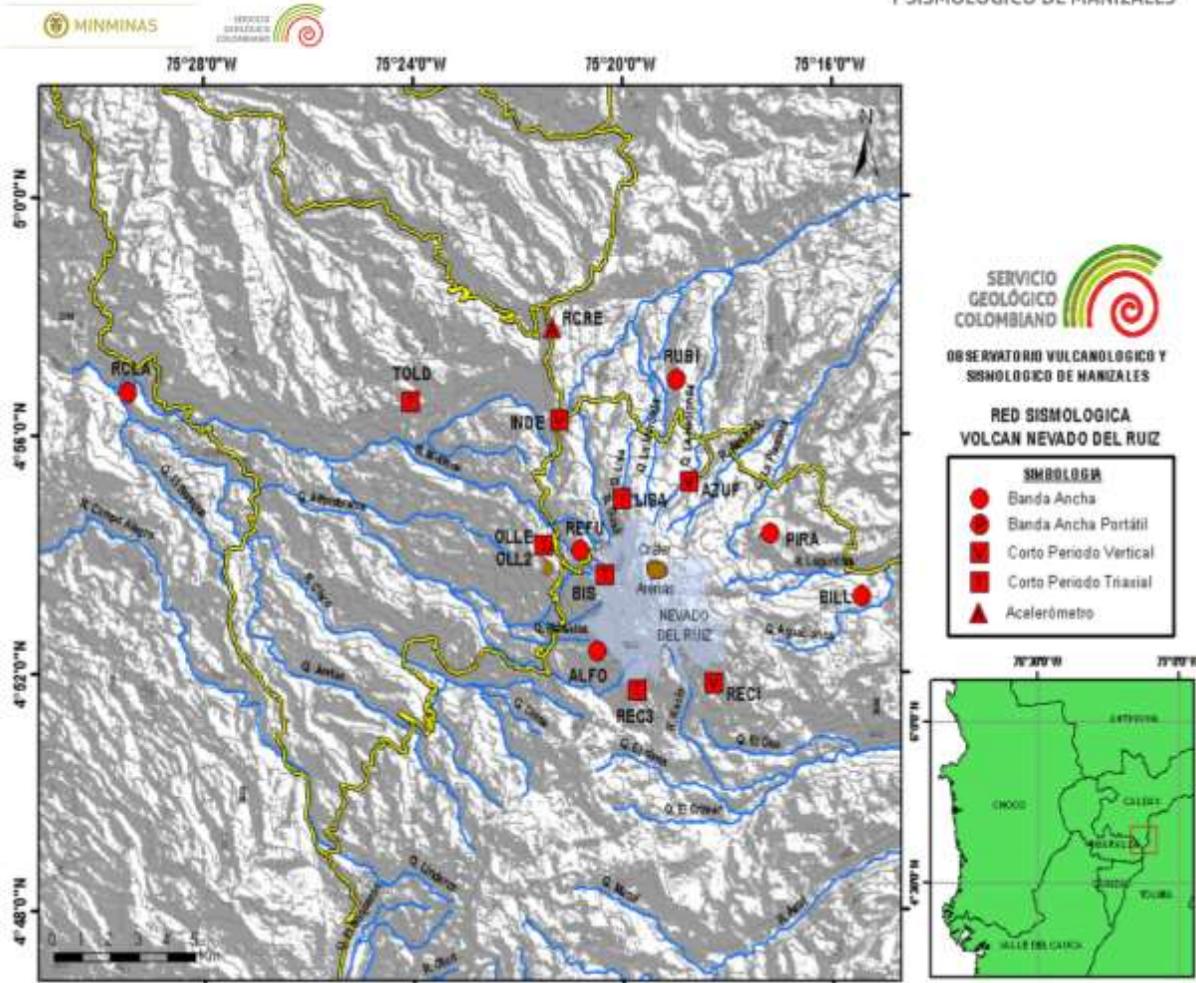


Figura 5) registró, aunque en menor proporción que el año anterior, una intensa actividad sísmica, significativamente notoria en el mes de diciembre tanto en número como en energía sísmica liberada (Figura 6 y Figura 7). Dicha actividad sísmica estuvo principalmente relacionada con el fracturamiento de roca dentro de la estructura volcánica y la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos.

En totalidad se registraron 55232 eventos sísmicos volcánicos, entre ellos se destacan 48336 sismos de tipo volcano-tectónico (VT), 5549 sismos de largo periodo (LP), 1276 pulsos de tremor volcánico (TR) y 7 episodios de tremor continuo (TC) de energía variable, algunos de éstos últimos asociados a emisiones importantes de gases y ceniza a la atmósfera. En una menor proporción se registraron eventos tipo híbrido (HB) y sismos tipo múltiple o multi-eventos (ME).

Adicionalmente la red registró una cantidad considerable de eventos sísmicos relacionados con la dinámica del glaciar que cubre la parte superior del edificio volcánico.

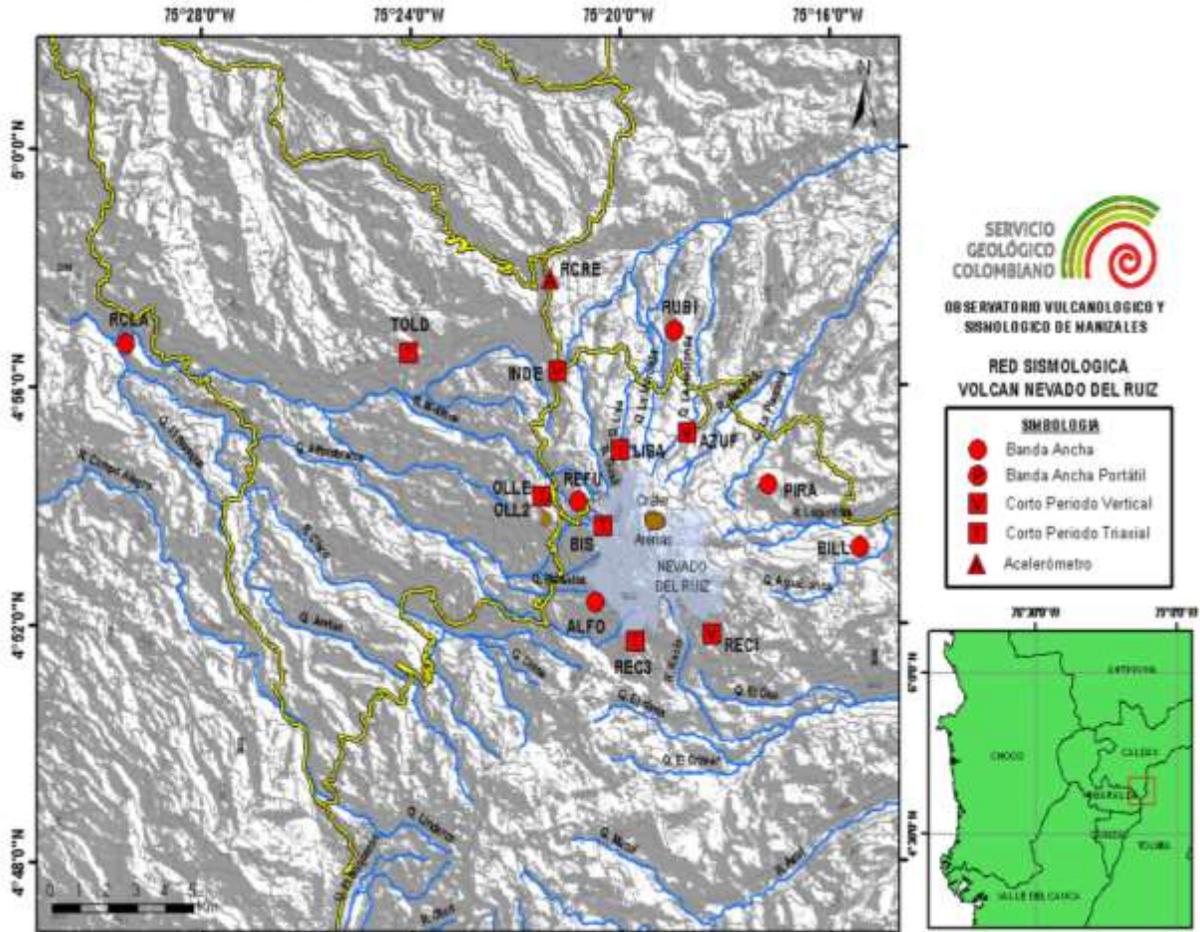
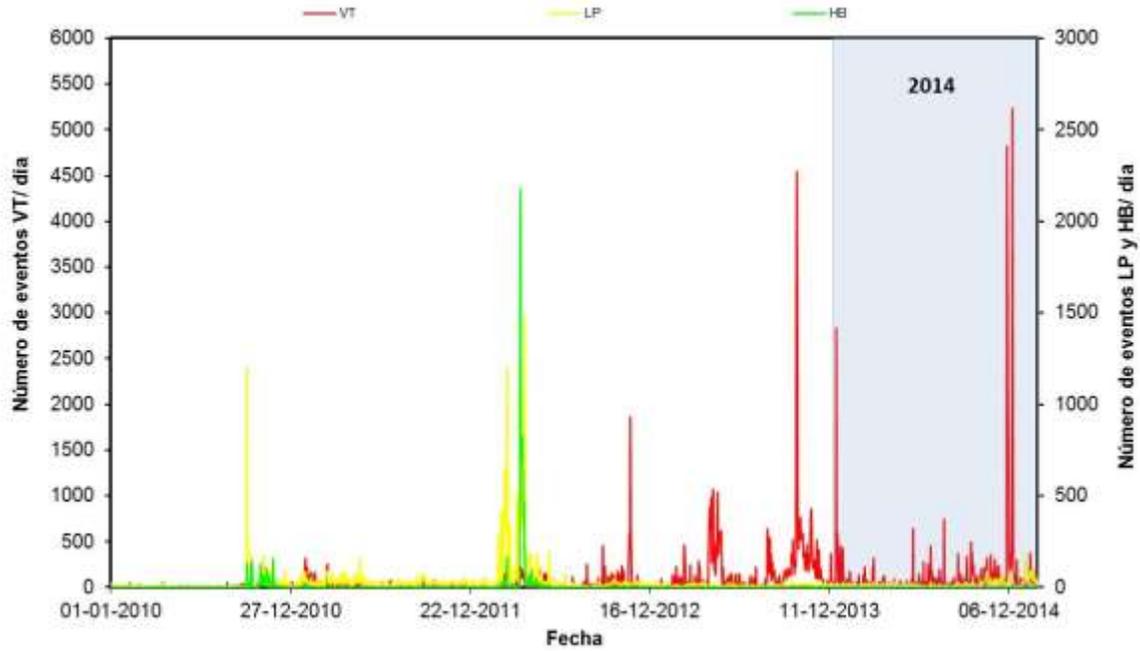


Figura 5. Red Sismológica. Volcán Nevado del Ruiz.

a)



b)

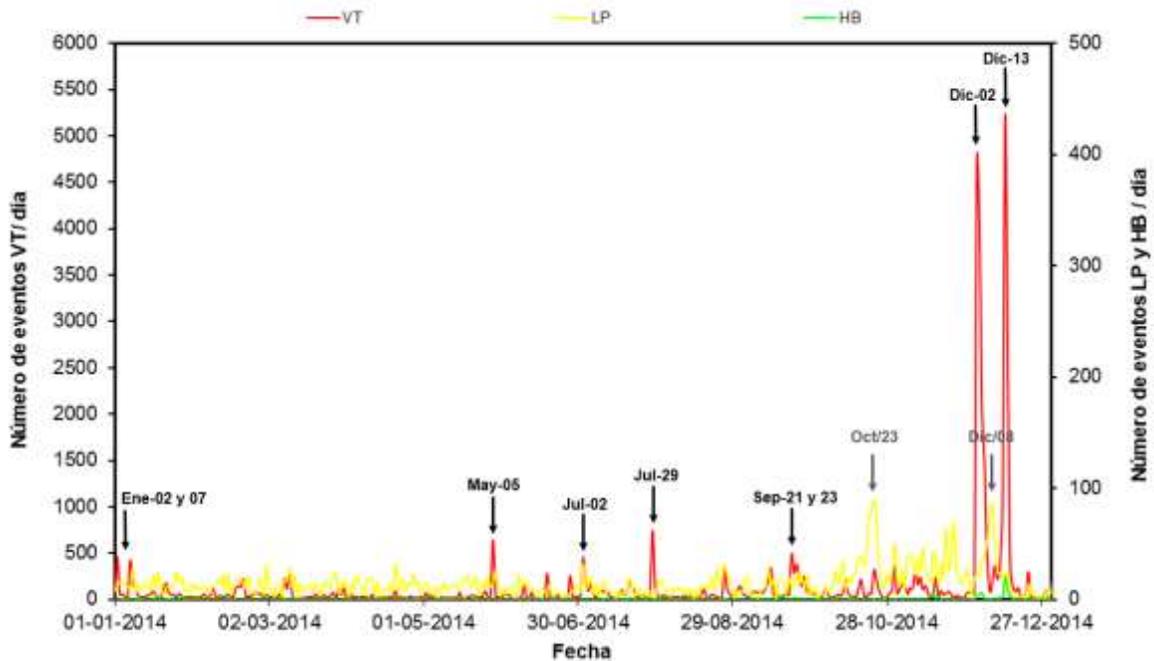
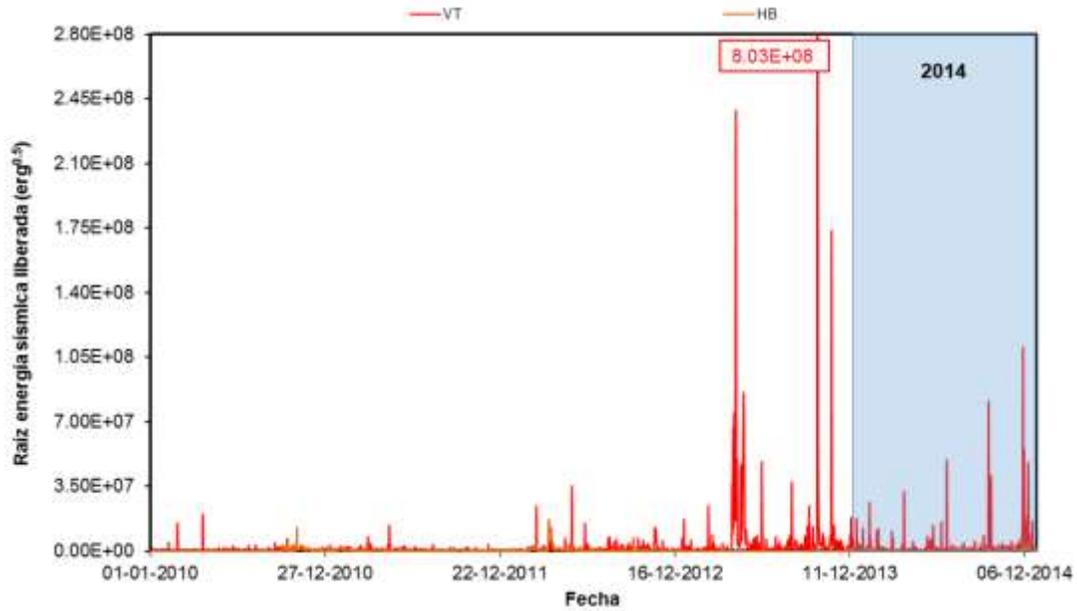


Figura 6. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Nevado del Ruiz, a) Periodo 2010 – 2014 y, b) Periodo 2014.

a)



b)

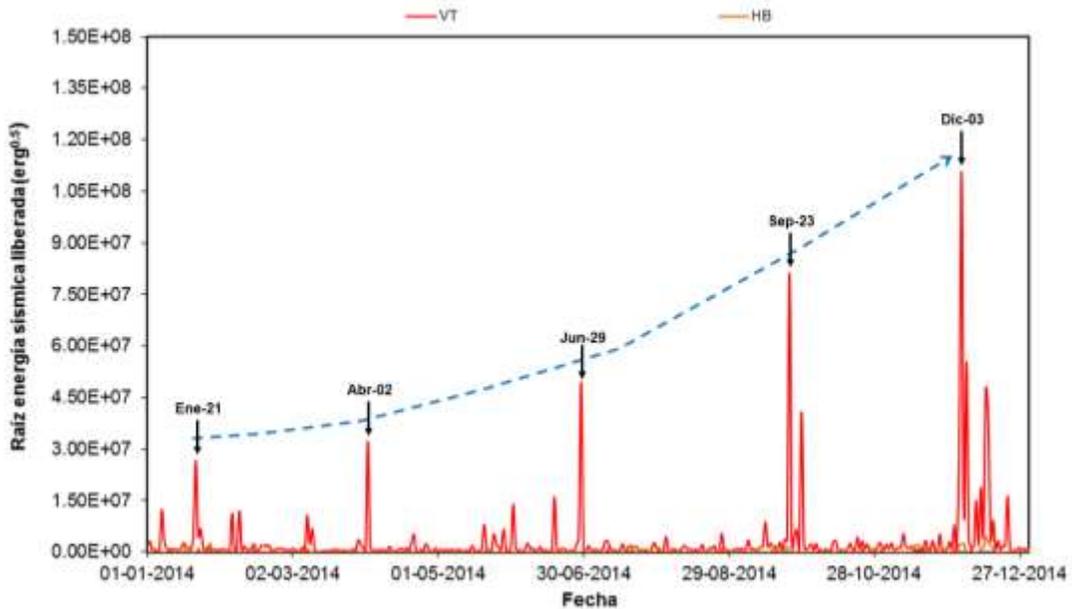


Figura 7. Raíz de la energía sísmica diaria liberada por eventos tipo VT y HB en el Volcán Nevado del Ruiz. a) Periodo 2010 – 2014 y, b) Periodo 2014. Línea punteada azul muestra como aumenta la energía sísmica liberada durante el año 2014.

### 1.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT)

La actividad de tipo VT en el VNR durante el 2014 mostró niveles significativos de sismicidad relacionados al fracturamiento de roca dentro de la estructura volcánica, continuando con el proceso de incremento en la actividad sísmica que inició a finales de 2010. Esta actividad fue localizada principalmente en los sectores Sur-Suroccidente, Sureste, Oriente y Oriente-Nororiente del cráter Arenas y en el cráter, y en una menor proporción en las fuentes sismogénicas localizadas al Occidente y Norte de éste (Figura 8). Las profundidades oscilaron entre 0.1 (en proximidades del cráter) y 10 km (en sectores distales del cráter) con un predominio de eventos tipo VT con profundidades menores a 4 km. Las magnitudes locales ( $M_L$ ) estimadas oscilaron entre -0.5 y 3.4  $M_L$ , registrándose 47 eventos con magnitud local mayor o igual  $\geq 2.0 M_L$ , siendo algunos de éstos reportados como sentidos por los habitantes en el área de influencia del volcán.

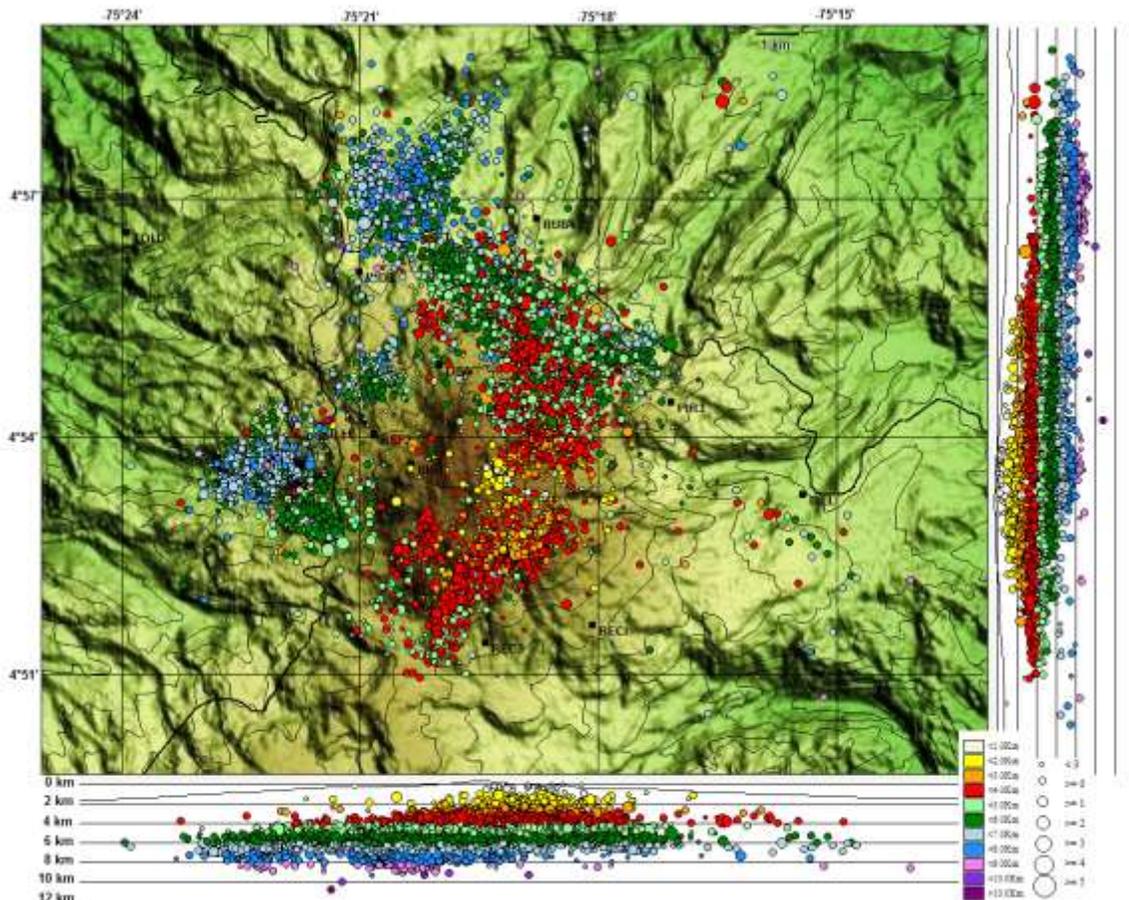


Figura 8. Mapa de localización hipocentral de eventos sísmicos tipo VT (círculos de colores) registrados en el área del VNR durante año 2014. Los cuadrados negros representan las estaciones sismológicas.

En la Tabla 1 se enumeran los eventos tipo VT de mayor relevancia para cada uno de los meses del año 2014 de acuerdo con la magnitud estimada, indicando la relación del evento con incrementos en la actividad sísmica del volcán y si dicho evento fue reportado como sentido.

Mes	Fecha y hora local	Magnitud (M <sub>L</sub> )	Profundidad (km)	Fuente sismogénica*	Sismo Sentido	Observaciones**
Enero	21/01/2014 04:48	2.5 M <sub>L</sub>	2.80	Sur-Suroccidente	NO	Asociados a un incremento menor en ambas fuentes.
	21/01/2014 06:54	2.5 M <sub>L</sub>	2.89	Suroriente	NO	
Febrero	08/02/2014 15:48	2.3 M <sub>L</sub>	3.30	Nororiente	NO	Evento aislado, no asociado a un incremento.
Marzo	08/03/2014 08:00	2.3 M <sub>L</sub>	3.20	Oriente	NO	Asociado a un incremento menor al Oriente del Cráter.
Abril	02/04/2014 22:23	2.8 M <sub>L</sub>	2.81	Norte	NO	Evento aislado, no asociado a un incremento.
Mayo	20/05/2014 03:34	2.1 M <sub>L</sub>	3.10	Sur-Suroccidente	SI	Asociado a un incremento menor al Suroccidente del Cráter. Sentido en el sector del Cisne
	24/05/2014 11:39	1.9 M <sub>L</sub>	4.37	Noroccidente cercano	NO	Evento aislado, no asociado a un incremento.
	28/05/2014 04:33	1.9 M <sub>L</sub>	3.67	Suroriente	NO	Asociado a un incremento menor al Suroriente del Cráter.
Junio	01/06/2014 09:27	2.1 M <sub>L</sub>	3.70	Sur-Suroccidente	SI	Evento aislado, no asociado a un incremento.
	18/06/2014 21:52	2.4 M <sub>L</sub>	3.40	Sur-Suroccidente	SI	Asociado a un incremento menor al Suroccidente del Cráter. Sentido en el sector del Cisne
	29/06/2014 02:29	2.9 M <sub>L</sub>	3.15	Noroccidente distal	SI	Evento aislado, no asociado a un incremento. Sentido por habitantes del área de influencia.
Julio	10/07/2014 06:58	1.6 M <sub>L</sub>	4.55	Norte	NO	Asociado a un incremento menor en el sector Norte a Noroccidente distal del Cráter.
Agosto	26/08/2014 12:52	1.9 M <sub>L</sub>	2.69	Suroriente	NO	Asociado a un incremento menor en el sector Suroriente del Cráter.
Septiembre	23/09/2014 15:12	3.2 M <sub>L</sub>	3.05	Norte y Nor-Noroccidente cercano	SI	Asociado a un incremento menor en el sector Norte a Nor-Noroccidente cercano del Cráter. Sentido por funcionarios del PNNN.
	28/09/2014 14:15	2.9 M <sub>L</sub>	3.39	Nororiente	NO	Evento aislado, no asociado a un incremento.
Octubre	21/10/2014 22:22	1.7 M <sub>L</sub>	3.24	Suroriente	NO	Evento aislado, no asociado a un incremento.
Noviembre	30/11/2014 01:34	2.1 M <sub>L</sub>	2.76	Nororiente	NO	Asociado a un incremento menor en el sector Nororiente al Cráter.
Diciembre	02/12/2014 13:27	2.4 M <sub>L</sub>	2.24	Oriente-Cráter	NO	Asociado a un incremento mayor en los sectores Nororiente a Oriente del Cráter.
	03/12/2014	3.4 M <sub>L</sub>	3.31	Oriente	SI	Asociado a un incremento mayor en los sectores Nororiente a Oriente

18:03						del Cráter y en el Cráter. Sentido por habitantes del área de influencia del volcán.
04/12/2014 01:48	1.9 M <sub>L</sub>	2.62				
04/12/2014 02:41	2.0 M <sub>L</sub>	2.72	Oriente-Cráter	NO		Asociados a un incremento mayor en el sector Oriente del Cráter y en el mismo.
05/12/2014 22:09	3.0 M <sub>L</sub>	3.27	Oriente	SI		Asociado a un incremento mayor en los sectores Nororiente a Oriente del Cráter. Sentido por funcionarios del PNNN.
09/12/2014 20:15	2.4 M <sub>L</sub>	1.80	Oriente-Cráter	NO		Asociado a un incremento menor en el sector Oriente del Cráter y en el mismo.
11/12/2014 23:13	2.6 M <sub>L</sub>	3.09	Sur-Suroccidente	NO		Evento aislado, no asociado a un incremento.
13/12/2014 19:15	2.3 M <sub>L</sub>	2.92	Oriente-Cráter	NO		Asociado a un incremento mayor en el sector Oriente del Cráter y en el mismo.
14/12/2014 19:15	2.5 M <sub>L</sub>	2.93	Oriente	NO		Asociado a un incremento mayor predominantemente en el sector Oriente del Cráter.
22/12/2014 10:48	2.2 M <sub>L</sub>	2.95	Oriente	NO		Asociado a un incremento menor en el sector Oriente del Cráter.

\*Las fuentes sismogénicas son mencionadas con referencia al Cráter Arenas.  
 \*\*Incremento menor: Hace referencia a la actividad volcano-tectónica registrada en el área con un número menor o igual a  $\leq 500$  VTs, Incremento Mayor: a la actividad volcano-tectónica registrada en el área con un número mayor a  $> 500$  VTs.

Tabla 1. Listado de los eventos de mayor magnitud registrados mensualmente durante el 2014.

En cuanto al número de eventos diarios, durante el año 2014 se registraron varios incrementos en la actividad sísmica del VNR, la mayoría de ellos con un registro menor o igual a  $\geq 500$  VTs (Incrementos menores) y sólo 9 días con un registro mayor a éste ( $> 500$  VTs, Incrementos mayores). Entre los incrementos mayores más significativos en el año, se destacan los eventos del mes de diciembre durante los días del 2 al 5 y del 12 al 14. Estos incrementos ocurrieron principalmente en las fuentes sismogénicas proximales a el cráter Arenas (Oriente a Nororiente) y en el cráter, con magnitudes locales estimadas menores a 3.5 M<sub>L</sub> y a profundidades entre 0.3 y 6.0 km ( Figura 9 y Figura 10) y (Tabla 2) con un predominio de profundidades menores a 4 km.

Es de anotar, que durante de los incrementos anteriormente mencionados se registró el día con mayor número de sismos diario tipo VT registrados en la actividad sísmica reciente del VNR (5714 VTs en Dic-13, Tabla 2) y el evento de mayor magnitud del año (3.4 M<sub>L</sub> en Dic-3, Tabla 1).

Otros incrementos sísmicos de importancia en la actividad sísmica del volcán para el año 2014, se referencian en la Tabla 2, en la cual se mencionan los 20 principales incrementos sísmicos en número registrados en el año, indicando entre ellos el de mayor energía sísmica liberada.

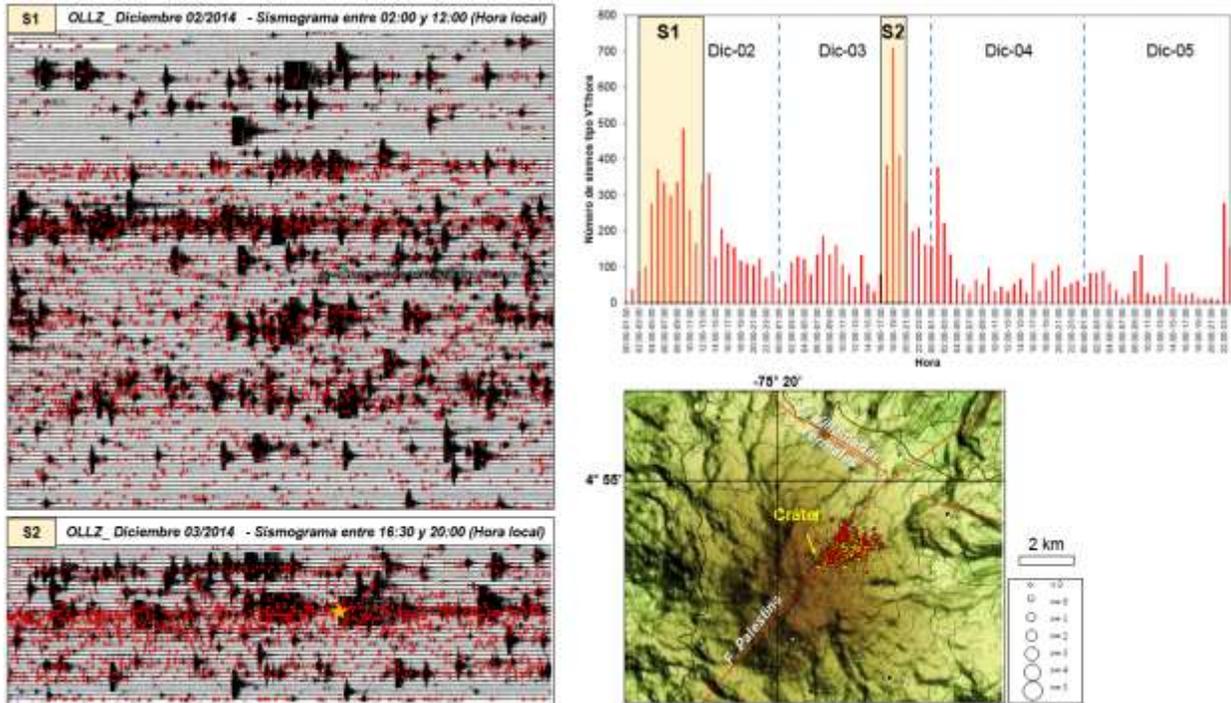


Figura 9. Incremento significativo de eventos tipo VT en la actividad sísmica del Volcán Nevado del Ruiz, Diciembre 02 al 05 del 2014. Sismogramas representativos de las horas de mayor registro sísmico de tipo VT (Círculos rojos) en la componente vertical de la estación de Olleta (Izquierda). La estrella amarilla señala el inicio del evento de mayor magnitud tanto del incremento como del año (3.4  $M_L$ ). Gráfica del número de eventos tipo VT registrados por hora durante el incremento (Derecha, arriba). Mapa de localizaciones de los eventos (Derecha, abajo), colores cálidos representan sismos con profundidades menores a  $<4$  km y colores fríos eventos con profundidades mayores o iguales a  $\geq 4$  km.

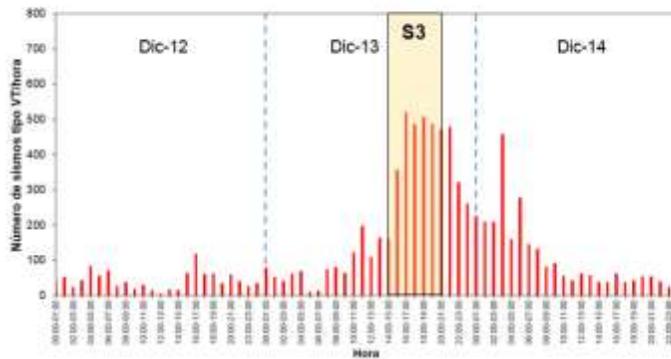
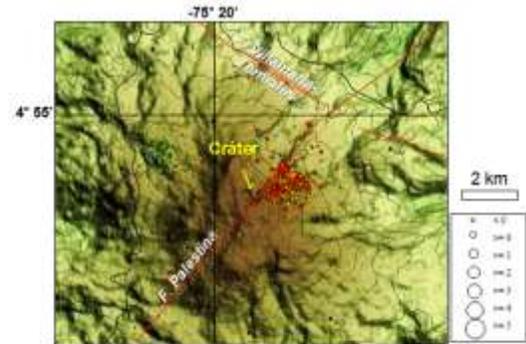
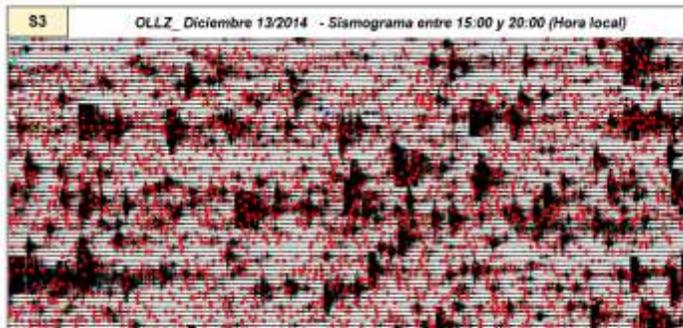


Figura 10. Incremento significativo de eventos tipo VT en la actividad sísmica del Volcán Nevado del Ruiz, Diciembre 12 al 14 del 2014. Sismograma representativo de las horas de mayor registro sísmico de tipo VT (Círculos rojos) el día 13 de Diciembre de 2014, en la componente vertical de la estación de Olleta (Izquierda, arriba). Gráfica del número de eventos tipo VT registrados por hora durante el incremento (Izquierda, abajo). Mapa de localizaciones de los eventos (Derecha), colores cálidos representan sismos con profundidades menores <4 km y colores fríos eventos con profundidades mayores o iguales a  $\geq 4$  km.

No. VTs	Fecha	Magnitud (M <sub>L</sub> )	Profundidad (km)	Fuente sismogénica*	Observaciones**	Orden según energía sísmica liberada
5214	13/12/2014	-0.40 – 2.25 (E) -0.40 – 0.74 (WSW)	1.13 – 4.0 4.45 – 6.27	Oriente y ocasionalmente en el Occidente-Suroccidente	Incremento mayor en el sector Oriente del Cráter.	4
4740	02/12/2014	-0.62 – 2.30	0.37 – 6.35	Oriente y Cráter	Incremento mayor	6
4056	03/12/2014	-0.71 – 3.40	0.18 – 6.38	Oriente - Nororiente y Cráter	Incremento mayor, con evento de mayor magnitud del mes (Ver tabla 3)	1
2630	14/12/2014	-0.43 – 2.59	1.29 – 4.47	Oriente - Nororiente	Incremento mayor	5
2087	04/12/2014	-0.62 – 2.01	1.01 – 4.96	Oriente - Nororiente y Cráter	Incremento mayor	10
1439	05/12/2014	-0.68 – 2.97	0.56 – 4.72	Oriente - Nororiente	Incremento mayor	3
1056	12/12/2014	-0.60 – 1.47	0.35 – 5.50	Oriente, Sur-Suroccidente y Nor-Noroccidente	Incremento mayor, principalmente en el sector Oriente	14
746	29/07/2014	-0.47 – 1.08 (SSW) -0.24 – 0.32 (WSW)	0.17 – 5.08 (SSW) 3-38 – 9.02 (WSW)	Sur-Suroccidente y ocasionalmente en el Occidente-Suroccidente	Incremento mayor en el sector Sur-Suroccidente del Cráter	18
647	28/05/2014	-0.48 – 1.72	1.20 – 5.50	Suroriente	Incremento mayor	12
492	21/09/2014	-0.48 – 1.41	1.10 – 6.12	Occidente-Suroccidente y ocasionalmente en el Suroccidente y Suroriente	Incremento menor	16
455	02/01/2014	-0.45 – 1.49	4.28 – 8.49	Occidente-Suroccidente	Incremento menor de baja energía sísmica liberada.	17
454	02/07/2014	-0.47 – 0.70	2.06 – 6.38	Suroccidente	Incremento menor de baja energía sísmica liberada.	20
447	06/12/2014	-0.48 – 1.32	1.8 – 5.56	Oriente - Nororiente	Incremento menor	15
426	07/01/2014	-0.48 – 2.23	1.25 – 5.26	Nororiente	Incremento menor	9
386	11/12/2014	-0.40 – 1.01 (E-C) -0.40 – 2.59 (SSW)	1.30 – 4.55 (E-C) 3.93 – 4.14 (SSW)	Oriente – Cráter y ocasionalmente en el Sur-Suroccidente	Incremento menor	7
380	23/09/2014	-0.48 – 3.14	1.41 – 5.96	Norte – Nor-Noroccidente proximal y ocasionalmente en el Nororiente y Suroriente	Incremento menor, con el evento de mayor magnitud del mes (Ver Tabla 3)	2
371	26/08/2014	-0.47 – 1.86	1.67 – 4.65	Suroriente y ocasionalmente en el Oriente - Nororiente	Incremento menor, con el evento de mayor magnitud del mes (Ver Tabla 3)	13
370	09/12/2014	-0.4 – 2.4	1.24 – 4.16 (E-C) 3.80 – 5.92 (N)	Oriente – Cráter y ocasionalmente en el Norte	Incremento menor	8
359	31/10/2014	-0.48 – 0.87	1.03 – 5.23	Cráter - Oriente	Incremento menor	19
338	13/09/2014	-0.45 – 2.15 (SSW) -0.32 – 0.67 (SE)	1.50 – 5.07 (SSW) 3.04 – 4.83 (SE)	Sur-Suroccidente y ocasionalmente Suroriente	Incremento menor	11

\*Las fuentes sismogénicas son mencionadas con referencia al Cráter Arenas. C: Cráter, E: Oriente, N: Norte, SE: Suroriente, SSW: Sur-Suroccidente, WSW: Occidente-Suroccidente. \*\*Incremento menor, hace referencia a la actividad tipo VT registrada en el área con un número menor o igual a ≤500 VTs. Incremento mayor, actividad VT registrada en el área con un número mayor a >500 VTs.

Tabla 2. Principales incrementos sísmicos en cuanto al número de eventos tipo VT registrados en el área del Volcán Nevado del Ruiz durante el 2014.

Con relación a la energía sísmica liberada diaria por los eventos registrados en el año 2014, se observó en la actividad sísmica del volcán un aumento en la energía sísmica a medida que transcurría el año (Figura 7), culminando en el mes de diciembre con el evento de mayor magnitud (3.4  $M_L$ ) del día 3 de diciembre registrado a las 18:03 y a una profundidad de 3.3 km, localizado en el sector proximal Oriente del Cráter (Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3). En general, los eventos con mayor energía sísmica liberada corresponden a eventos con magnitudes estimadas mayores a  $>1.5 M_L$ , los cuales fueron registrados tanto como parte de los incrementos relevantes en número (Tabla 2) sino también como eventos aislados no relacionados a un incremento sísmico determinado (Tabla 1).

En la Tabla 3 son reportados los 20 principales eventos enumerados de acuerdo a la mayor energía sísmica liberada:

Fecha	Energía sísmica liberada relacionada con:	No. VTs con $M_L$			Información del evento(s)
		$\geq 1 - \leq 1.9 M_L$	$\geq 2 - \leq 2.9 M_L$	$\geq 3 M_L$	
03/12/2014	Incremento mayor de alta energía sísmica liberada	33	1	1	Ver Tabla 1 y 2
23/09/2014	Incremento menor de alta energía sísmica liberada.	7	4	1	Ver Tabla 1 y 2
05/12/2014	Incremento mayor de alta energía sísmica liberada.	7	3	1	Ver Tabla 1 y 2
29/06/2014	Eventos aislados, no asociados a incrementos en la actividad sísmica del VNR.	3		1	Ver Tabla 2
13/12/2014	Incremento mayor de energía sísmica liberada moderada.	25	7		Ver Tabla 1 y 2
28/09/2014	Evento aislado, no asociado a incremento en la actividad sísmica del VNR.		1		Ver Tabla 2
14/12/2014	Incremento mayor de energía sísmica liberada moderada a baja.	18	2		Ver Tabla 1 y 2
02/04/2014	Evento aislado, no asociado a incremento en la actividad sísmica del VNR.		1		Ver Tabla 2
02/12/2014	Incremento menor de energía sísmica liberada moderada a baja.	45	4		Ver Tabla 1 y 2
21/01/2014	Incremento menor de energía sísmica liberada baja.	5	2		Ver Tabla 2
11/12/2014	-Evento de Magnitud $\geq 2 M_L$ es un VT aislado, no asociado a incremento en la actividad sísmica del VNR. -Eventos $\geq 1 - \leq 1.9$ están asociados a incremento menor en el sector Oriente del Cráter (Ver Tabla 1)	3	1		Ver Tabla 1 y 2
22/12/2014	Incremento menor de energía sísmica liberada baja.	15	3		Ver Tabla 2
18/06/2014	Incremento menor de energía sísmica liberada baja.	3	1		Ver Tabla 2
09/12/2014	Incremento menor de energía sísmica liberada baja.	3	1		Ver Tabla 1 y 2
01/06/2014	Evento aislado, no asociado a incremento en la actividad sísmica del VNR.		1		Ver Tabla 2
08/03/2014	Incremento menor de energía sísmica liberada baja.	1	1		Ver Tabla 2
04/12/2014	Incremento mayor de energía sísmica liberada baja.	14			Ver Tabla 1 y 2

*Incremento menor*, hace referencia a la actividad tipo VT registrada en el área con un número menor o igual a  $\leq 500$  VTs y, *Incremento Mayor*, hace referencia a la actividad tipo VT registrada en el área con un número mayor a  $>500$  VTs.

Tabla 3. Principales eventos sísmicos tipo VT en cuanto a energía sísmica liberada, registrados en el área del Volcán Nevado del Ruiz durante el 2014.

### 1.2.2 Sismos de largo período (LP)

Durante el año 2014, la actividad sísmica de tipo LP en el volcán Nevado del Ruiz, relacionada con los cambios de presión en los conductos volcánicos debido a la dinámica de gases y fluidos al interior de estos, se presentó en un porcentaje ligeramente mayor y con valores de Desplazamiento reducido promedio mayores con respecto al año anterior (2013: 4201 LPs y  $Dr < 8.0 \text{ cm}^2$  - 2014: 5549 LPs y  $Dr < 22 \text{ cm}^2$ ). Los eventos y características de los principales eventos tipo LP ocurridos en el año son enumerados en la Tabla 4:

Mes	Número total de eventos por mes	Fecha y hora	Desplazamiento Reducido ( $\text{cm}^2$ )	Frecuencia(s) dominante (Hz)
Enero	420	27/01/2014 08:44	3.2	1.8
Febrero	426	19/02/2014 13:23	3.8	3.4 – 3.6
Marzo	397	01/03/2014 00:46	5.6	2.5 – ~4.8
Abril	371	23/04/2014 09:38	5.5	2.3
Mayo	380	30/05/2014 15:23	5.9	1.5 – 2.5
Junio	256	30/06/2014 19:01	2.6	2.5
Julio	279	21/05/2014 12:09	10.3	1.2
Agosto	352	09/08/2014 01:36	5.5	1.6
Septiembre	371	22/09/2014 13:19	4.0	1.6
Octubre	866	04/10/2014 18:49	22.0	1.4 y 5.4
Noviembre	845	18/11/2014 19:17	11.7	2.7 – 4.8
Diciembre	587	29/12/2014 12:39	18.0	1.3 – 2.3

Tabla 4. Listado de eventos asociados a gases y fluidos de mayor  $Dr$  por mes del año 2014.

Aplicando el método de atenuación con la distancia de máximas amplitudes, los eventos tipo LP registrados en el 2014 fueron localizados, principalmente en el sector Sur-Suroriente a Suroriente-Oriente del cráter Arenas (Figura 11), presentando valores promedio de periodos de 0.29s (Figura 12). Nótese en la parte derecha de la gráfica de la Figura 11 como durante el 2014 se observa una leve migración de la sismicidad tipo LP, la cual se puede dividir en tres periodos: Enero-Abril, localizada en el flanco Sur del edificio volcánico, Mayo-Septiembre, concentrada en el sector Suroriental y Octubre-Diciembre, con una tendencia mayor hacia el Oriente. También se destacan desplazamientos reducidos mayores durante el último periodo, como se puede apreciar por el tamaño de los círculos.

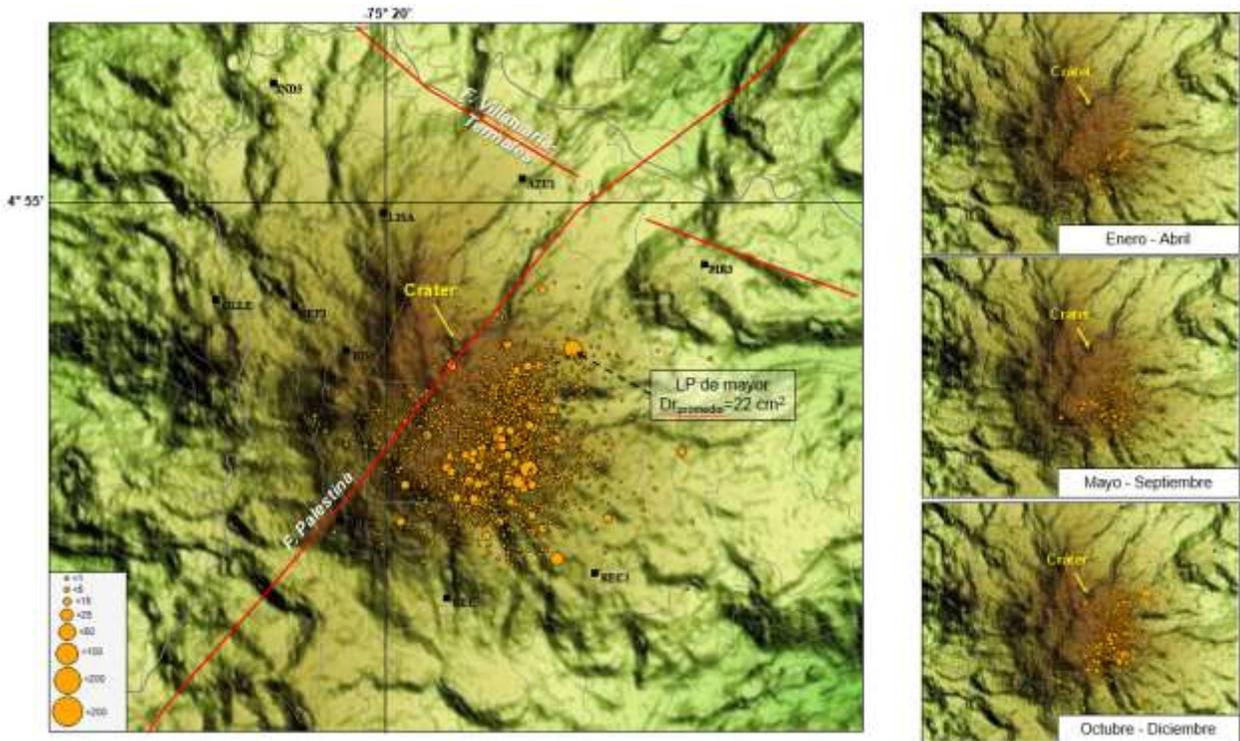


Figura 11. Mapa de localización epicentral de eventos sísmicos tipo LP (Círculos naranjas) en el Volcán Nevado del Ruiz durante el año 2014. Nótese la suave migración de la sismicidad tipo LP en el año, del sector Sur-Suroccidente- Suroriente (Enero – Abril, Derecha superior) a Suroriente – Oriente (Octubre – Diciembre, Derecha inferior) del cráter Arenas..

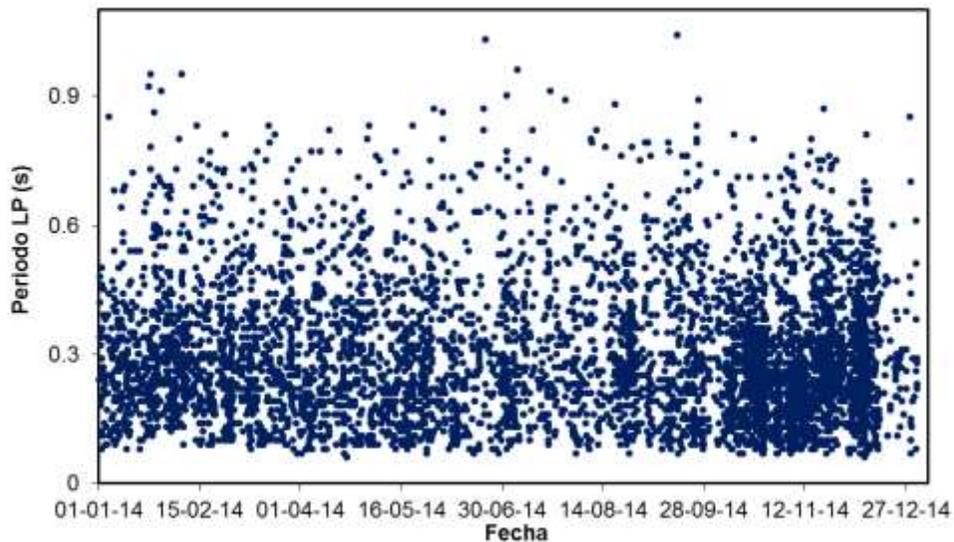


Figura 12. Periodos de los sismos LP registrados durante el año 2014 en el Volcán Nevado del Ruiz.

El máximo Desplazamiento reducido registrado por eventos tipo LP en el año 2014 se registró el día 04 de Octubre a las 18:49 (hora local), con valor promedio de  $Dr=22 \text{ cm}^2$  y con frecuencias dominantes entre 1.4 y 5.4 Hz, el cual fue localizado en el sector Oriente del cráter (Figura 11 y Figura 13). Otros eventos de tipo LP de carácter importante dado el valor de Desplazamiento reducido promedio obtenido y que fueron registrados en el año de 2014, se muestran en la Figura 14 con su respectivo espectrograma.

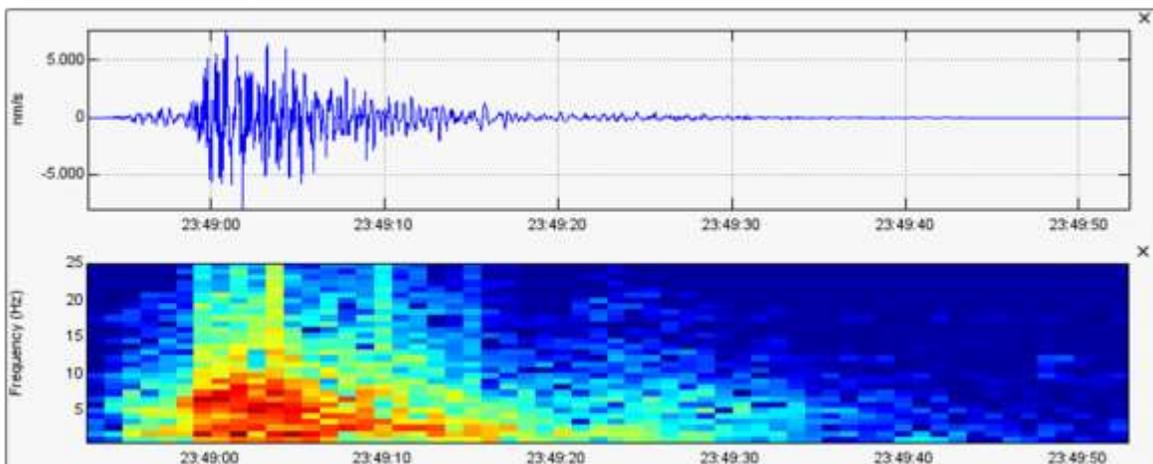


Figura 13. Registro sísmico y espectro asociado al evento tipo LP de mayor desplazamiento reducido registrado durante el año 2014. Estación OLLETA, componente vertical. El eje horizontal de la imagen es tiempo (en hora UTC) dado en segundos y los ejes verticales son la amplitud de la señal en nm/s y la frecuencia en Hz, respectivamente.

Registro y espectrograma	Evento
	<p>Evento LP con <math>Dr=5.5 \text{ cm}^2</math> 23/04/2014 09:38 (hora local) Estación de BIS, componente vertical</p>
	<p>Evento LP con <math>Dr=5.9 \text{ cm}^2</math> 30/05/2014 15:23 (hora local) Estación de Olleta, componente vertical</p>
	<p>Evento LP con <math>Dr=5.5 \text{ cm}^2</math> 09/08/2014 01:36 (hora local) Estación de Olleta, componente vertical</p>
	<p>Evento LP con <math>Dr=18 \text{ cm}^2</math> 29/12/2014 12:39 (hora local) Estación de Olleta, componente vertical</p>

Figura 14. Registro sísmico y espectro asociado de algunos eventos tipo LP de mayor desplazamiento reducido registrados durante el año 2014. El eje horizontal de la imagen es tiempo (en hora UTC) dado en segundos y los ejes verticales son la amplitud de la señal en nm/s o cuentas y la frecuencia en Hz, respectivamente.

Los resultados del análisis del factor Qr (factor de calidad debido a pérdidas por radiación de la energía) y de las frecuencias complejas, realizado a los sismos de largo periodo (LP) por medio del método Sompi, muestran que el sistema mostró variaciones entre los sectores gas+gas y líquido+burbujas+gas (Figura 15). Durante los meses de Noviembre y Diciembre de 2014 se registró una mayor concentración de eventos en el sector líquido+burbujas+gas, y un evento en el sector ceniza+gas, lo cual concuerda con las emisiones de ceniza que el VNR presentó en los últimos meses del año. Por otra parte, en la gráfica también se evidencia un aumento de sismos que cumplen los criterios para la aplicación del método, reflejando el incremento de la sismicidad de este tipo a finales del año 2014.

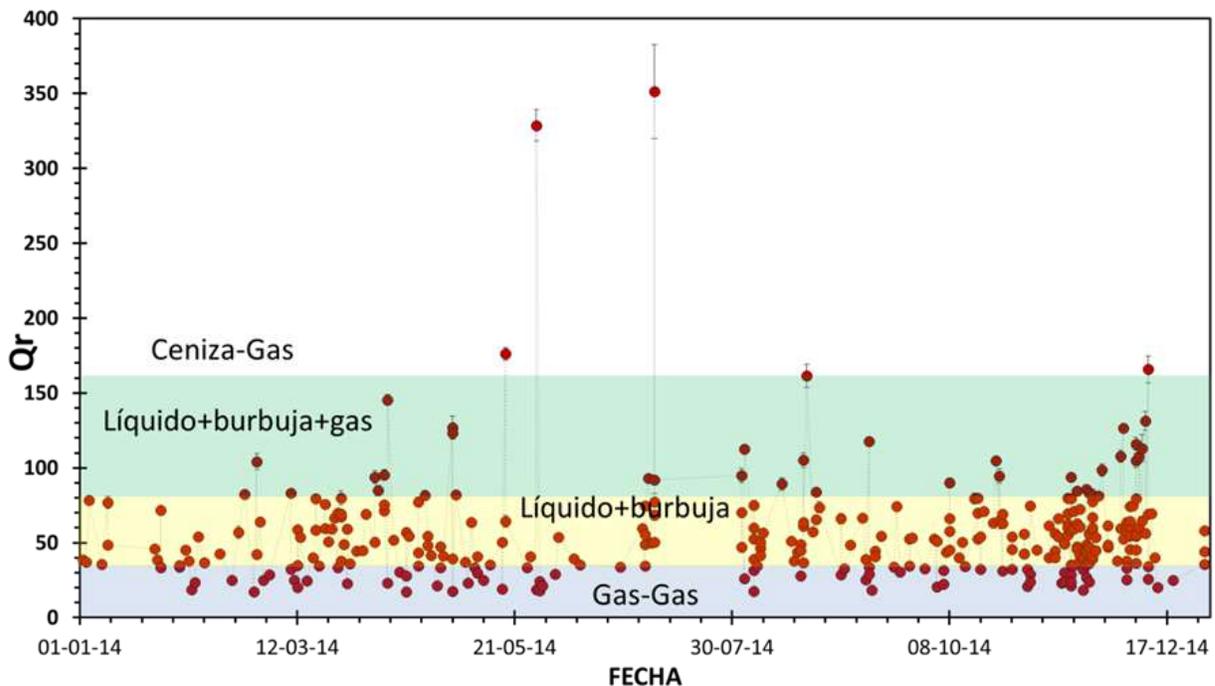


Figura 15. Qr en el Volcán Nevado del Ruiz mediante el Método Sompi para el año 2014.

Otros eventos sísmicos, cuyo origen también está asociado con la dinámica de fluidos al interior de los conductos volcánicos, fueron registrados durante el año 2014. Estos eventos corresponden a sismos tipo híbrido (HB), pulso de tremor volcánico (TR) y episodios de tremor volcánico continuo (TC), siendo este último – junto con la actividad sísmica de tipo VT registrada en el mes de diciembre- una de las características de mayor relevancia del año relacionada con la actividad del volcán.

El registro de eventos tipo HB durante el 2014 fue mayor que el año anterior (2013: 53 HB, 2014: 106 HB), pero se presentó en un porcentaje menor que en los años anteriores (2010: 2000 HB, 2011: 434 HB y 2012: 10148 HB). Principalmente, estos eventos fueron localizados cerca al cráter Arenas (sector Oriente) y en el areas distales al mismo, a profundidades entre 0.9 – 6.4 km y con magnitudes asociadas menores a 1.5  $M_L$ .

Un total de 1276 pulsos de tremor volcánico (TR) fueron registrados en el año. Los periodos de mayor ocurrencia de este tipo de eventos fueron a comienzo del año (Febrero-Abril) y hacia final del año (Septiembre-Diciembre). Estos eventos fueron esencialmente de baja energía con Desplazamientos reducidos generalmente menores a  $2.0 \text{ cm}^2$ . El pulso de TR más energético del año se registró el 17 de noviembre a las 17:07 (hora local) con un  $Dr=9.8 \text{ cm}^2$ . También se destaca el pulso registrado el día 18 de noviembre a las 19:18 (hora local) con un  $Dr=6.6 \text{ cm}^2$ , el cual precedió un periodo de tremor continuo que se prolongó por más de 12 horas.

En cuanto a los episodios de tremor volcánico continuo (TC), éstos se registraron desde el 18 al 30 de Noviembre de manera intermitente (Figura 16, Tabla 5). Durante este periodo los episodios de TC se caracterizaron por tener duraciones entre horas o días y algunos de ellos, por estar precedidos por un evento de tipo LP de niveles energéticos importantes. En la Tabla 6 se presentan las fechas y horas de inicio de estos eventos, su duración, desplazamiento reducido máximo y si estuvieron precedidos por un evento de tipo LP. A partir del 15 de diciembre comienza un nuevo episodio de TC, el cual permanece en el tiempo hasta el 31 de Diciembre, día en el cual este fenómeno volcánico termina de manera abrupta (Figura 16, Tabla 6). Durante este último periodo (Diciembre 15 al 31) el TC nunca se disipó completamente, y con cierta periodicidad incrementaba su nivel energético, alcanzando un  $Dr$  máximo durante ese episodio, y posteriormente y de manera pausada, disminuía nuevamente su energía (Figura 17). En la Tabla 6 se muestra una lista de episodios de TC para este periodo, con la hora de inicio, el  $Dr$  máximo y la hora a la que alcanzó el  $Dr$  máximo.

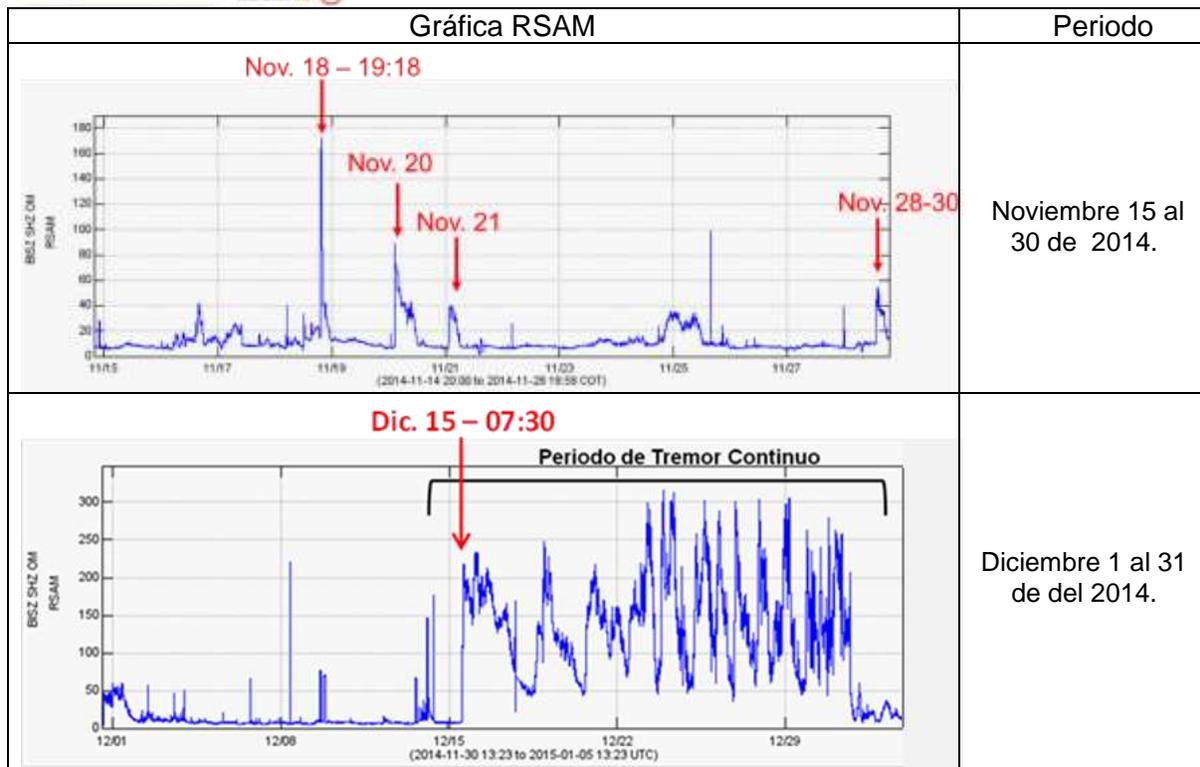


Figura 16. Gráfica de la Medida de la Amplitud Sísmica en Tiempo Real - RSAM (por sus siglas en inglés) para el registro del tremor volcánico continuo en el Volcán Nevado del Ruiz durante el 2014.

Fecha	Hora (hora local)	Máximo Dr	Duración	LP asociado (hora local)	Dr LP asociado (cm <sup>2</sup> )
18/11/2014	19:18:39	6.6 cm <sup>2</sup>	Más de 12 horas	19:18:07	11.70
20/11/2014	02:24:00	0.5 cm <sup>2</sup>	Más de 20 horas	02:23:23	2.70
21/11/2014	01:08:06	0.25 cm <sup>2</sup>	Más de 4 horas	-	-
28/11/2014	13:10:00	0.40 cm <sup>2</sup>	Más de 4 horas	13:05:24	1.96
28/11/2014	19:41:00	0.53 cm <sup>2</sup>	Más de 8 horas	-	-
29/11/2014	13:07:00	1.52 cm <sup>2</sup>	Más de 48 horas	13:05:22	2.31

Tabla 5. Características de los episodios de TC para el periodo de Noviembre 18 a Noviembre 30 de 2014.

Fecha	Hora inicio(hora local)	Maximo Dr (cm2)	Hora de registro del Max. Dr
15/12/2014	07:30:00	1.6	09:30
15/12/2014	19:00:00	1.7	23:05
18/12/2014	08:30:00	1.2	18:00
20/12/2014	10:55:00	1.2	21:00
22/12/2014	06:00:00	1.3	00:05 (+1 día)
23/12/2014	14:00:00	1.1	16:36
25/12/2014	00:00:00	0.8	10:15
25/12/2014	21:10:00	0.9	00:35 (+1 día)
26/12/2014	16:00:00	1.2	16:28
27/12/2014	15:00:00	1.0	16:34
28/12/2014	15:00:00	1.0	18:30
29/12/2014	15:00:00	0.8	16:10
30/12/2014	04:30:00	0.6	05:10
30/12/2014	13:30:00	0.7	13:45
30/12/2014	19:00:00	0.9	22:09
31/12/2014	02:30:00	0.8	02:39

Tabla 6. Características de los episodios de TC para el periodo de Diciembre 15 al 31 de 2014.

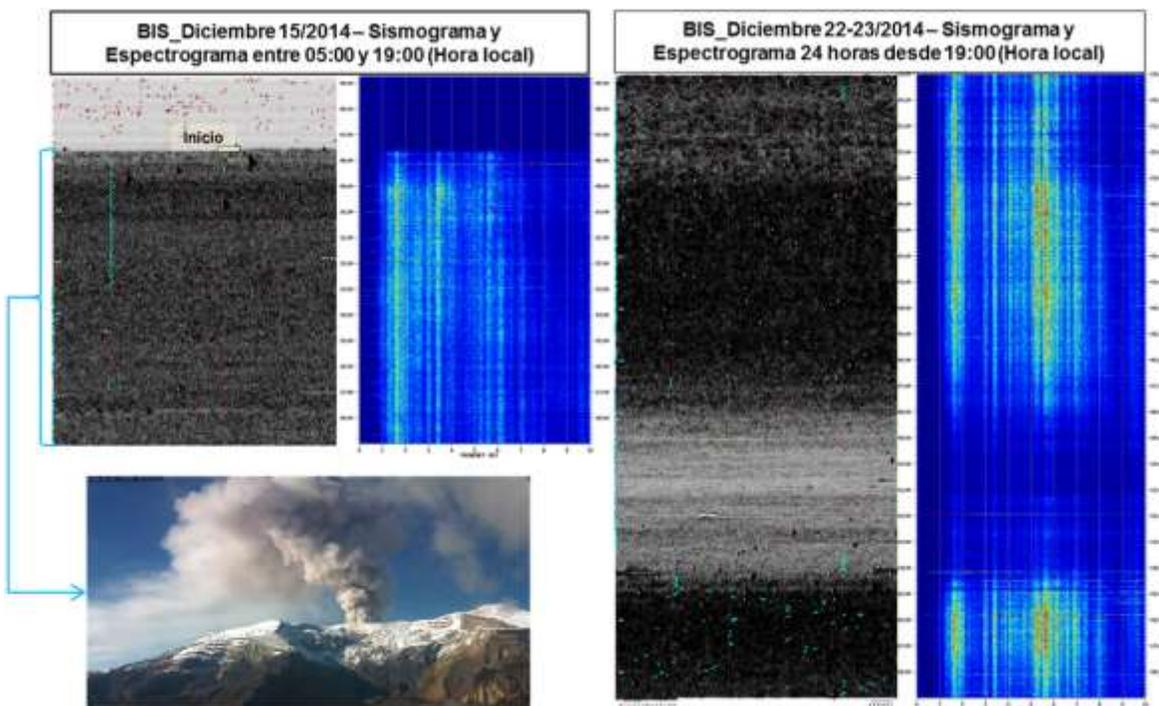


Figura 17. Sismograma y espectrograma representativo de los episodios de TC (Círculos cian) registrados durante el año 2014, en el Volcán Nevado del Ruiz. Estación de BIS, componente vertical. Inicio registro de la señal de TC en Diciembre 15 (Izquierda) y fotografía de la emisión de ceniza relacionada con la señal (Izquierda, abajo), capturada por la cámara del OVSM desde el sector de Piraña. Nótese las variaciones en el nivel energético de la señal del TC durante los días 22 al 23 de Diciembre (Derecha).

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

La columna de gases relacionada con actividad fumarólica en el cráter Arenas tuvo una altura promedio de 750 m medidos desde la cima del cráter durante el 2014 (Figura 18), mostrando una dirección de dispersión preferencial hacia el Noroccidente y Suroccidente y eventualmente hacia el Nororiente, Sur y Sureste. En general, la columna de gases presentó un color blanco asociado a vapor de agua y ocasionalmente matices azules causados por las altas concentraciones de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y tonalidades grises debido a la presencia de material particulado (ceniza volcánica) (Figura 18 y Figura 19). La altura máxima registrada fue de 2600 m el día 28 de noviembre de 2014.

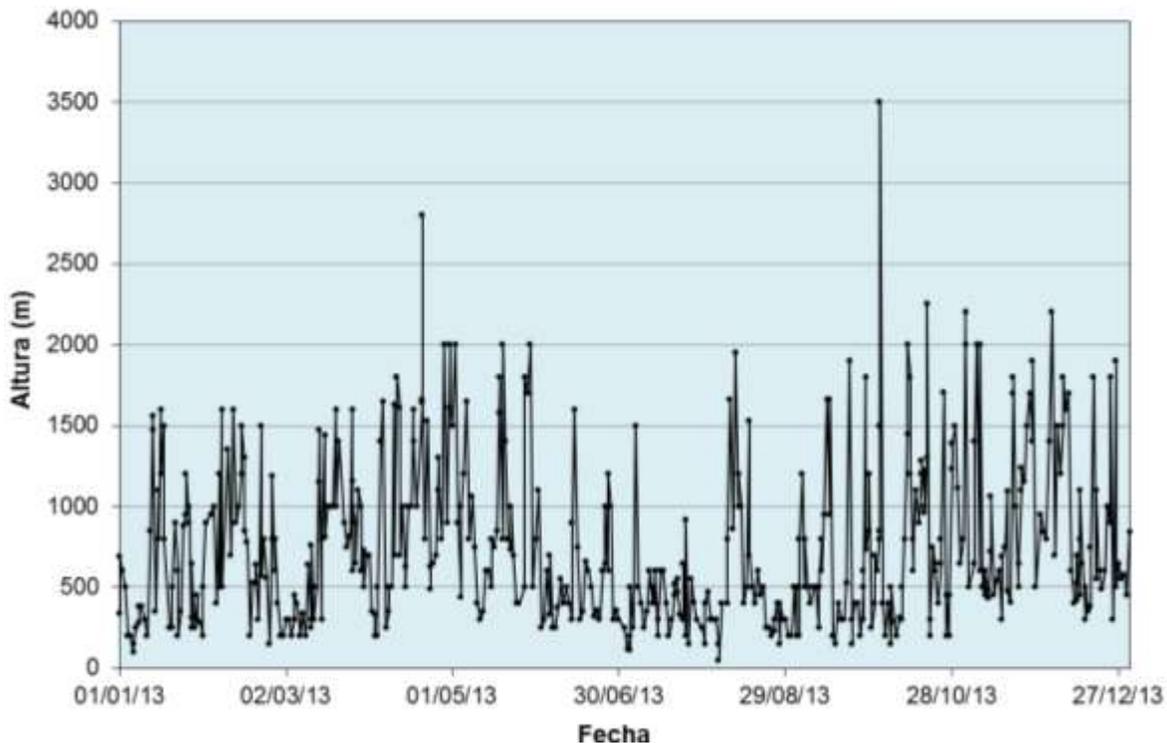


Figura 18. Altura de columna de gases y ceniza observada entre Enero-Diciembre de 2014 a partir de apreciaciones visuales desde el OVSM y de las cámaras instaladas en el área del volcán.

Los periodos de tremor volcánico continuo (TC) están asociados principalmente a limpieza de conductos y emisiones de ceniza a la atmósfera. Dichas emisiones pudieron ser verificadas mediante imágenes satelitales, visitas a campo, reportes de habitantes en las inmediaciones del volcán y sobrevuelos coordinados por la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD) con el apoyo de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Estas observaciones confirman y son evidencia en superficie de los cambios en el comportamiento de la actividad volcánica del Nevado del Ruiz. En la Figura 19 (parte superior derecha) se observa una fotografía asociada a la emisión de ceniza del 15 de diciembre de 2014. Adicionalmente, se destacan las imágenes satelitales (Figura 20) las

cuales permiten observar la dirección de dispersión y la cantidad de ceniza depositada hasta la fecha de captura de las imágenes.



Figura 19. Columna de gases del cráter Arenas, Volcán Nevado del Ruiz. Fotografías capturadas durante el año de 2014, desde las cámaras ubicadas en inmediaciones de la estructura volcánica del VNR -Sector de Piraña (Superior) y sector del Cerro Gualí (Inferior, izquierda)- y desde las instalaciones del OVSM (Inferior, central y derecha).

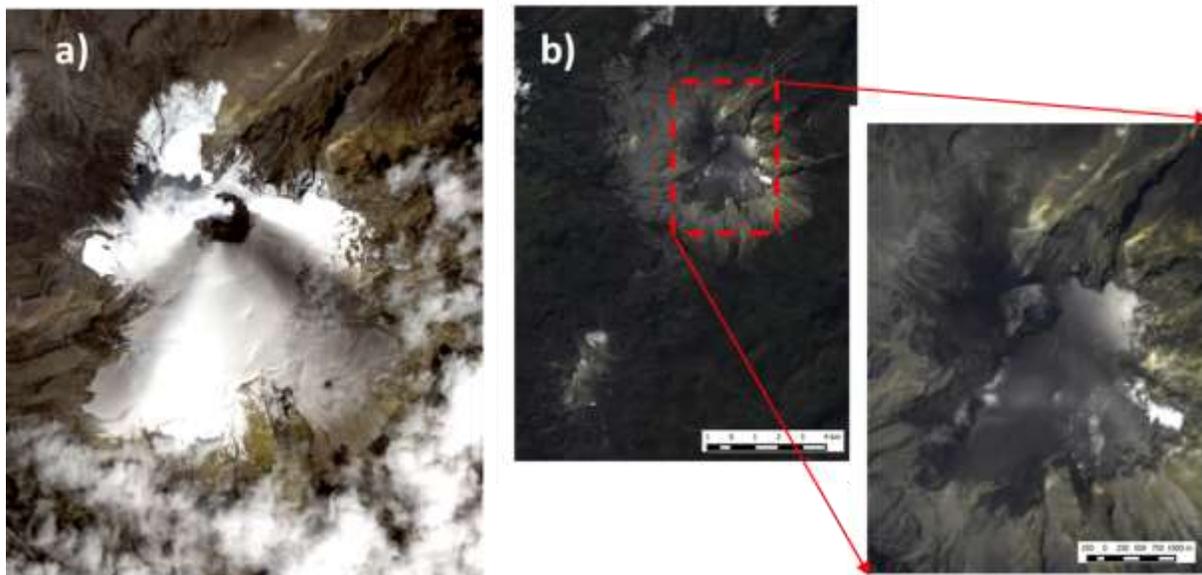


Figura 20. Imágenes ASTER del Sensor OLI-TIRS, acoplado al satélite Landsat8, los días: a) 24 de Noviembre y b) 26 de Diciembre de 2014.

### 1.3 DEFORMACIÓN

Durante el 2014 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 continuó con la instalación y densificación de la red de GPS de campaña, con el fin de complementar la red de estaciones GPS permanente y la toma de datos gravimétricos. La Figura 21 muestra la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz.

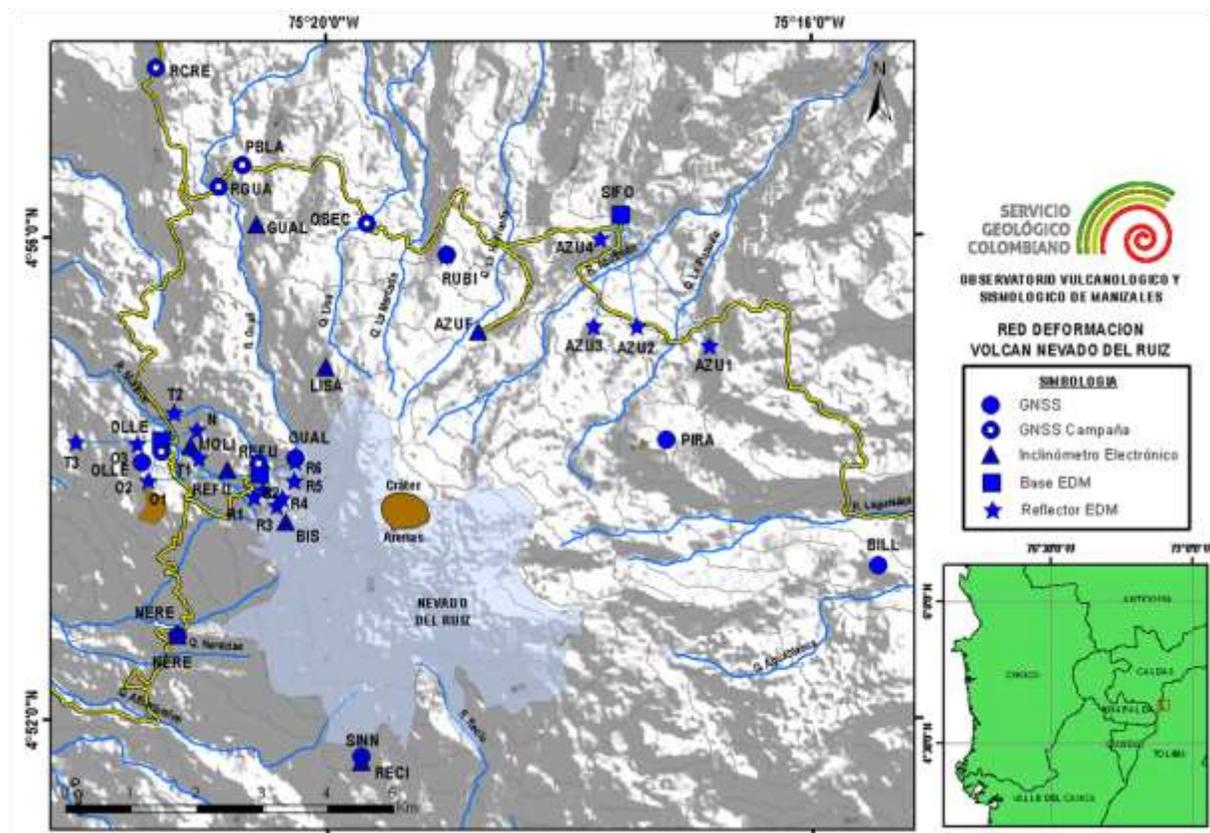


Figura 21. Red de deformación. Volcán Nevado del Ruiz.

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 durante los últimos años (Figura 22, Figura 23 y Figura 24).

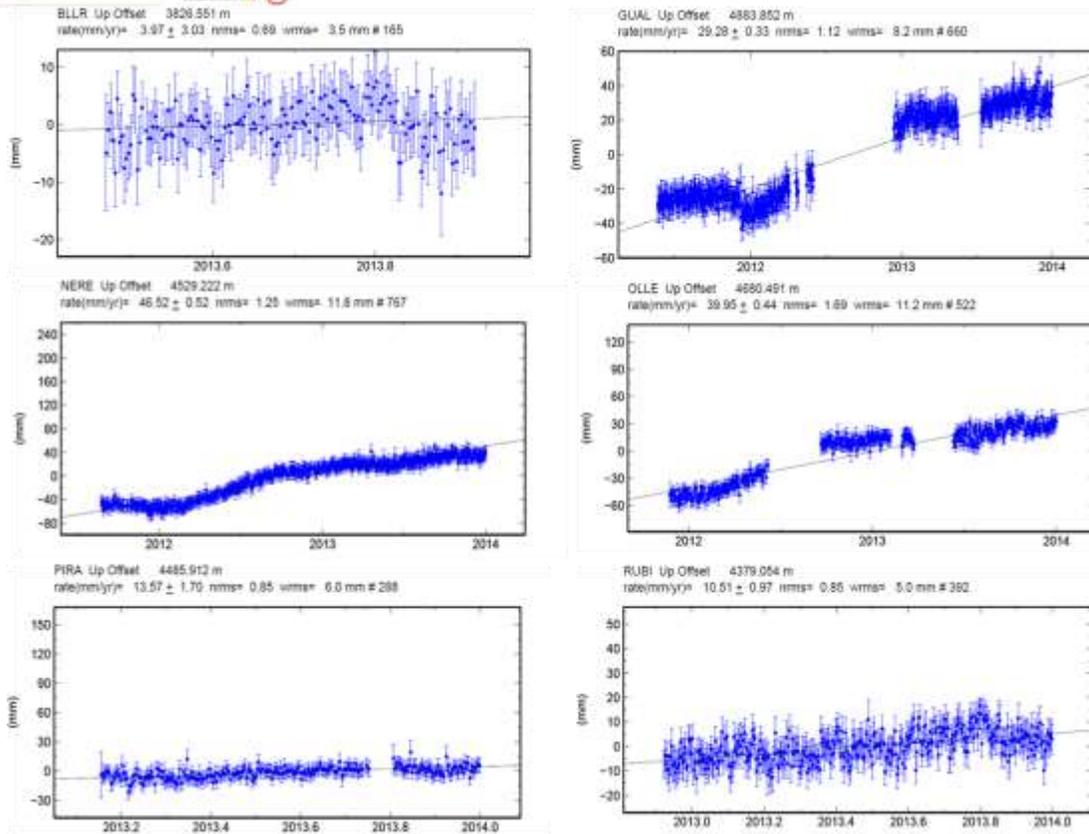


Figura 22. Serie de Tiempo Vertical, GPS BLLR, GUAL, NERE, OLLE, PIRA y RUBI a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Nevado del Ruiz.

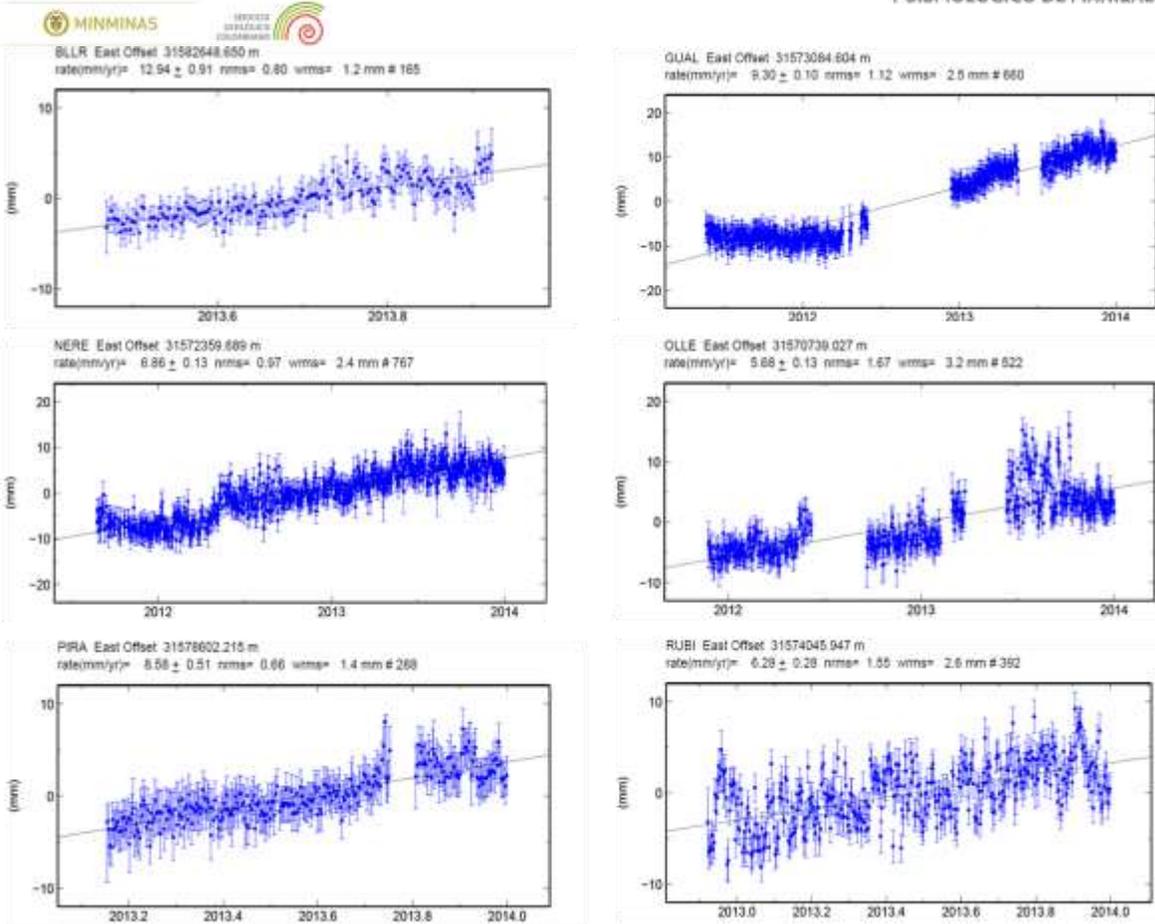


Figura 23. Serie de Tiempo Este, GPS. BLLR, GUAL, NERE, OLLE, PIRA y RUBI a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Nevado del Ruiz.

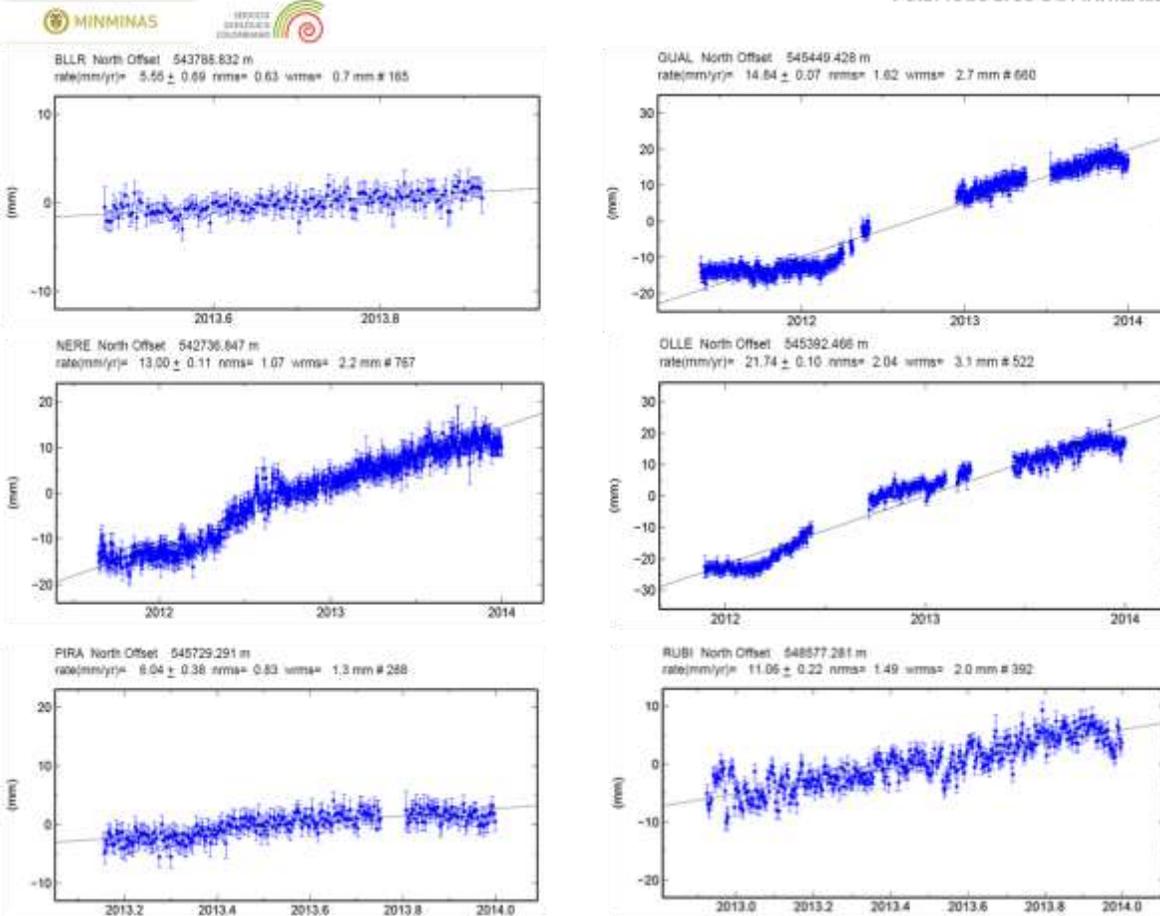


Figura 24. Serie de Tiempo Norte, GPS BLLR, GUAL, NERE, OLLE, PIRA y RUBI a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Nevado del Ruiz.

La Figura 25 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 las estaciones REFU y LISA, localizadas en el sector noroccidental del cráter Arenas (Figura 26a, Figura 26b, Figura 26c y Figura 26d).

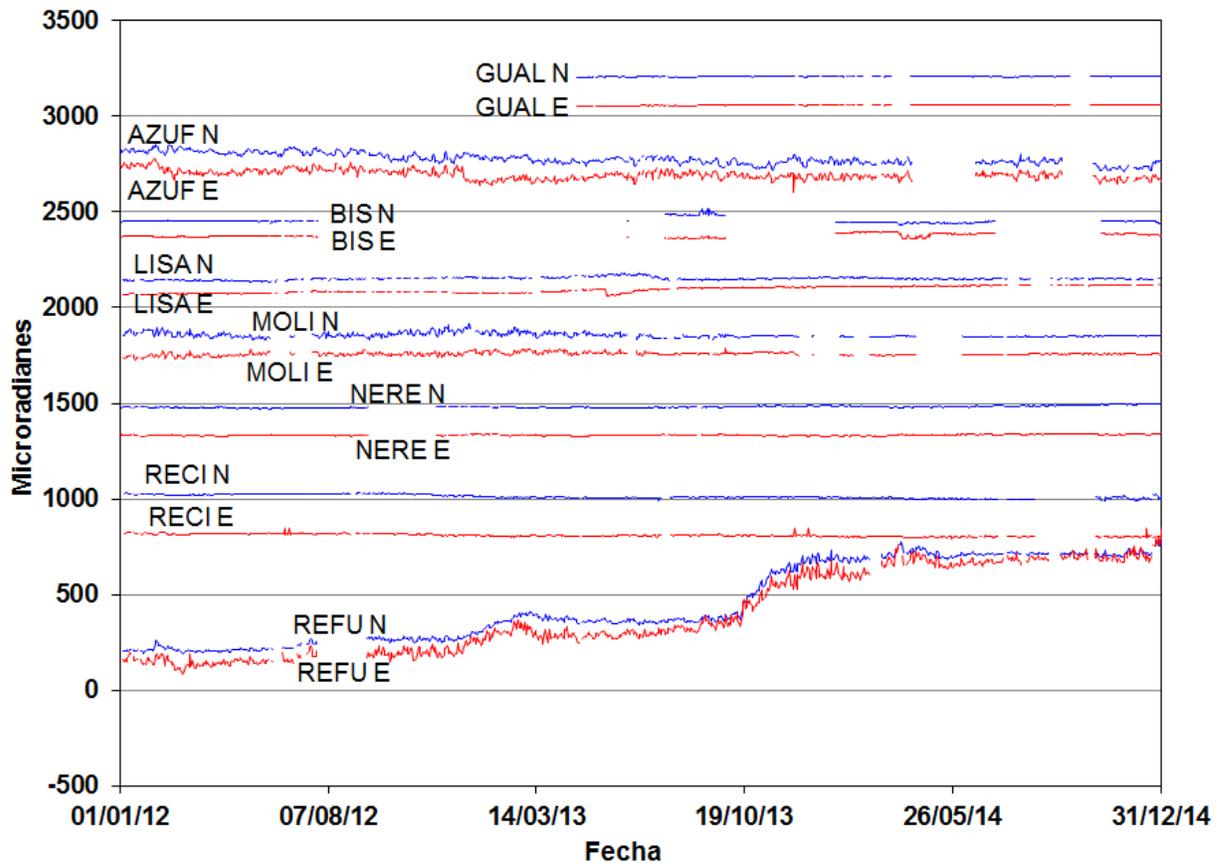


Figura 25. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) de los inclinómetros electrónicos GUAL, AZUF, BIS, LISA, MOLI, NERE, RECI y REFU de la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz desde Enero de 2012 hasta Diciembre de 2014.

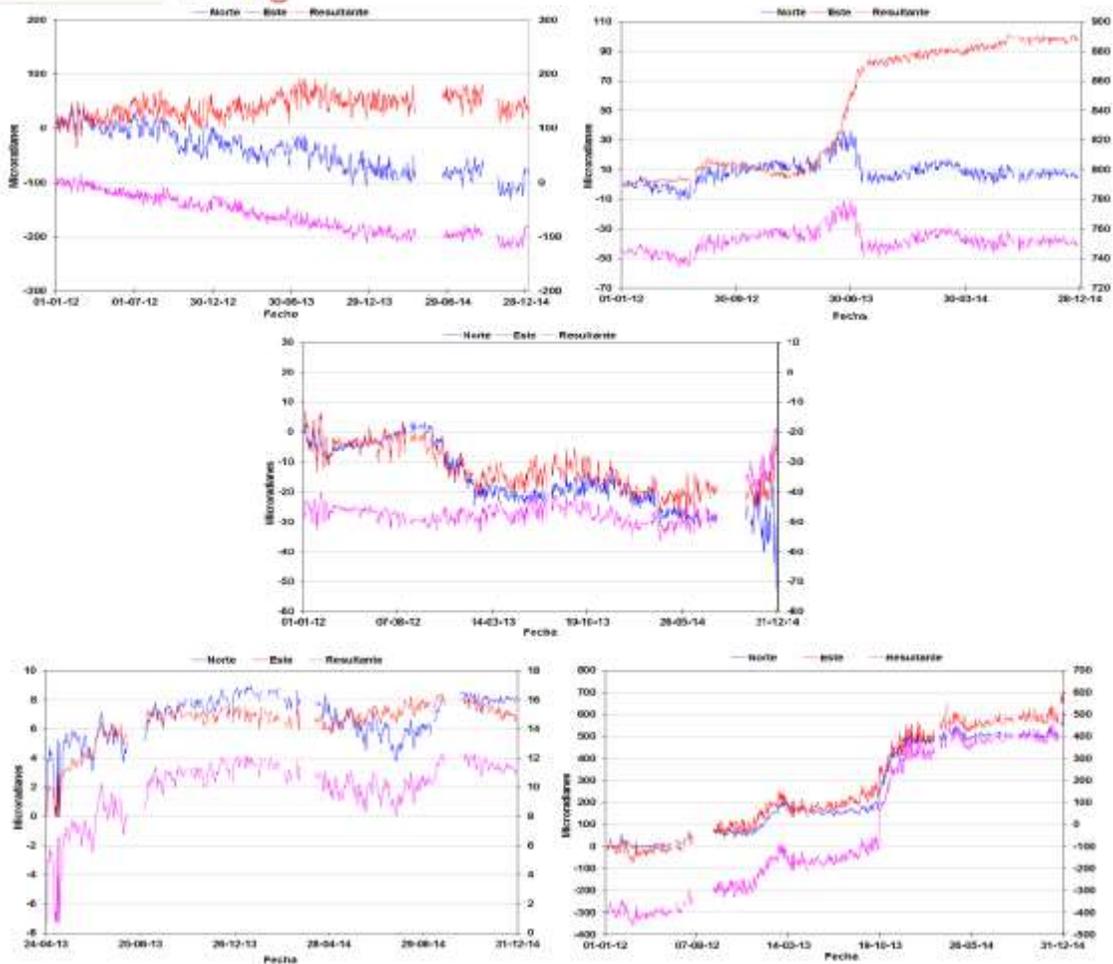


Figura 26. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul), Este (E) (Rojo) y Resultante (Magenta) de los inclinómetros electrónicos AZUF (a), LISA (b), RECI (c), GUAL (d), REFU (e), de la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz desde Enero de 2012 hasta Diciembre de 2014.

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 27).

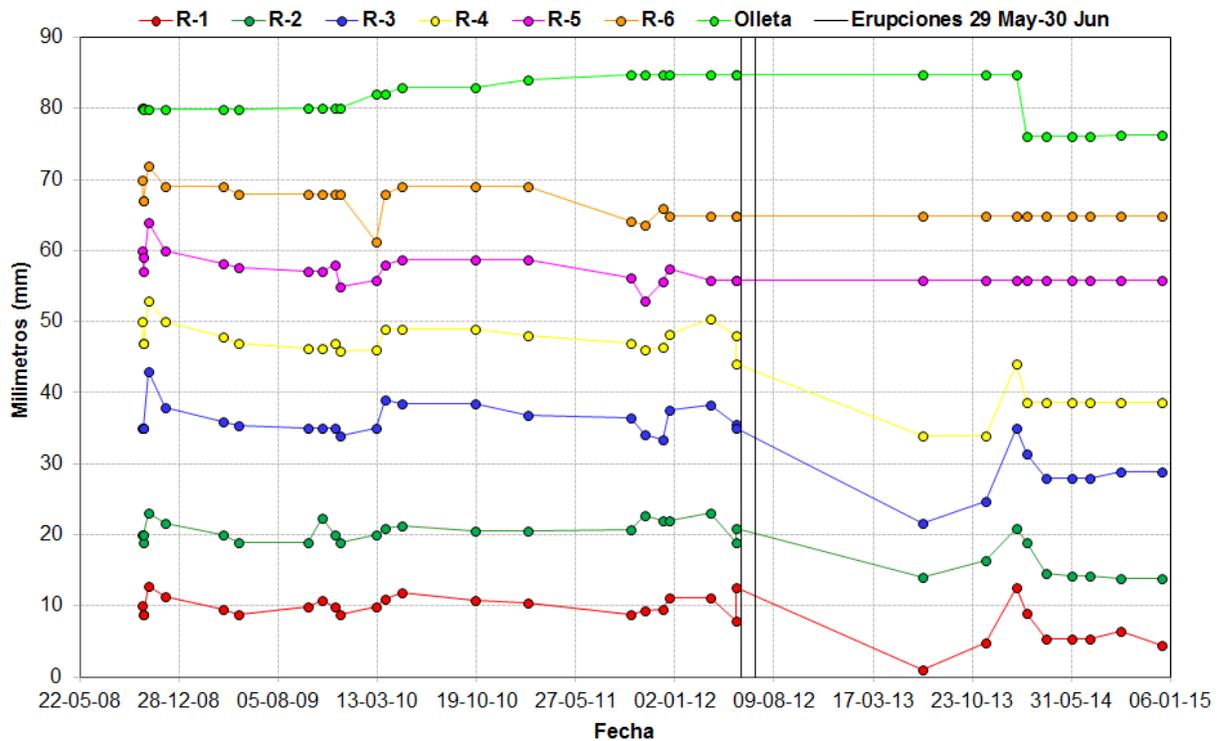
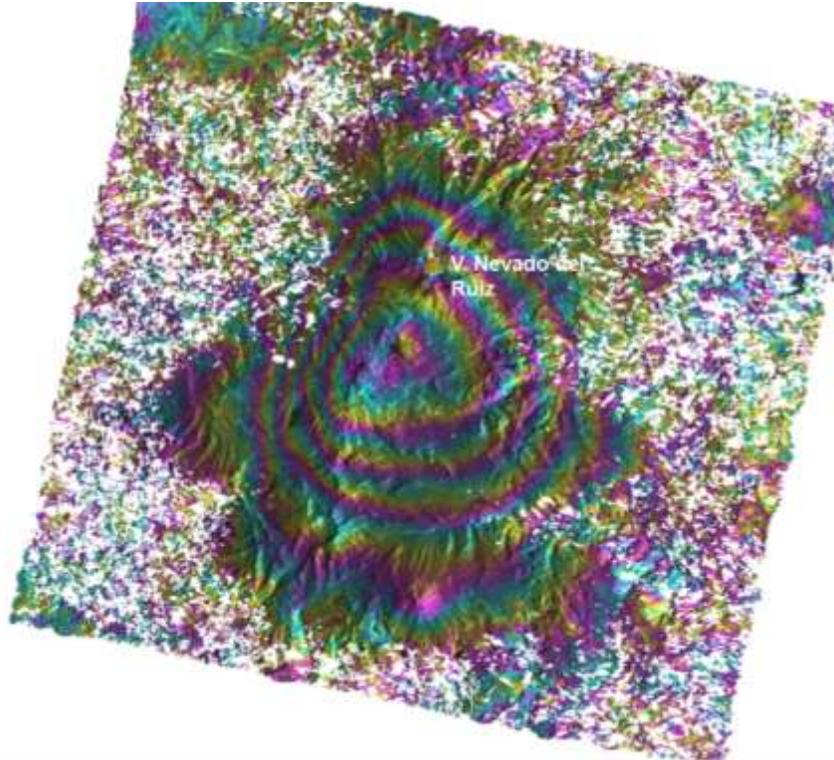


Figura 27. Comportamiento de la base EDM REFUGIO reflectores R1, R2, R3, y R4, de la red de deformación del VNR hasta Diciembre de 2014.

Adicionalmente a partir de imágenes satelitales e interferogramas proporcionados por el Dr. Sergey V. Samsonov del Canadá Centre for Mapping and Earth Observation Natural Resources fue posible constatar el proceso deformativo 2012-2014, a partir de dicha técnica satelital (Figura 28).

a)



b)

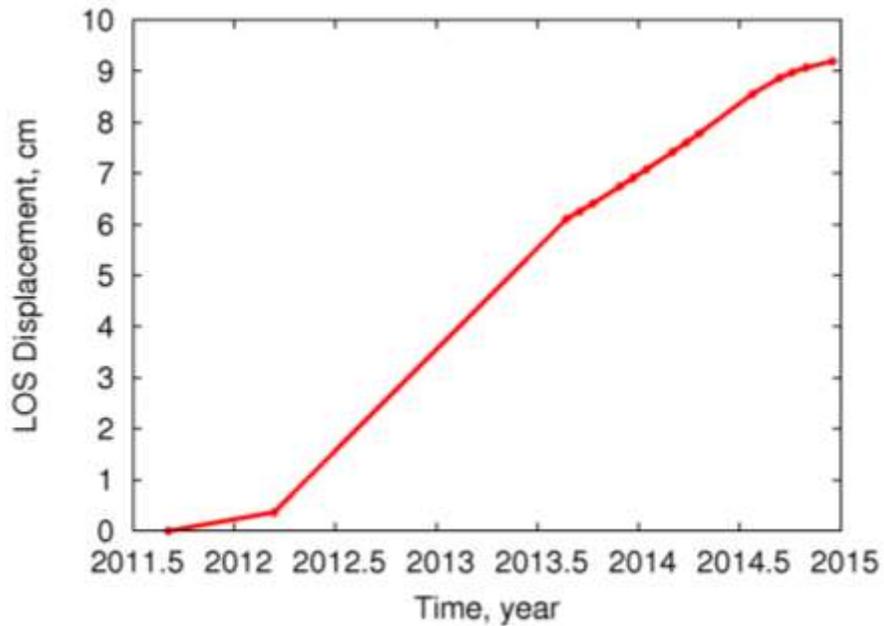


Figura 28. a) Interferograma y b) Serie de tiempo asociada, con la deformación presentada en el sector del Volcán Nevado del Ruiz entre el 2011 y el 2014. Cortesía Dr. Sergey Sansonov Canada Centre for Mapping and Earth Observation Natural Resources Canada.

### 1.4 GEOQUÍMICA

Durante el año 2014 el grupo de Geoquímica del OVSM realizó muestreos, análisis in situ y en el laboratorio de los nacimientos termales HOTEL, AGUAS CALIENTES, GUALÍ, BOTERO LONDOÑO y NEREIDAS, también se realizó monitoreo permanente de las estaciones de Gas Radón ALFOMBRALES, OLLETA, GUALI y AZUFRADO, al igual que el cálculo y análisis de emisiones de SO<sub>2</sub> registradas en las estaciones telemétricas SCAN DOAS: BRUMA, ALFOMBRALES y AZUFRADO, también se realizó mediciones de SO<sub>2</sub> con equipo Mobile DOAS. En la Figura 29 se presenta el mapa con las estaciones de monitoreo geoquímico en el VNR.

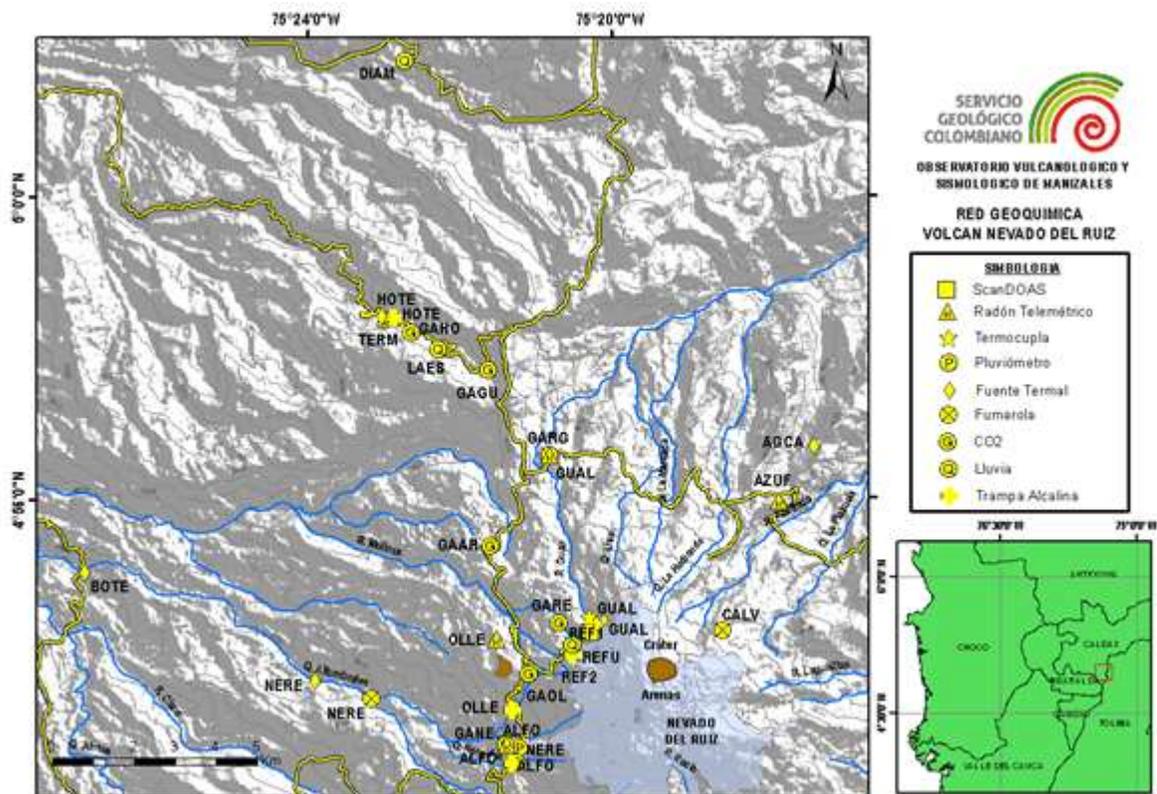


Figura 29. Red Geoquímica. Volcán Nevado del Ruiz.

### 1.4.1 Emisiones de SO<sub>2</sub> en Estaciones DOAS.

Durante el año 2014 se contó con el funcionamiento permanente de la estación SCAN DOAS BRUMA, las otras dos estaciones: ALFOMBRALES y AZUFRADO funcionaron de manera intermitente, su correcto funcionamiento se logró desde el mes de Octubre de 2014, no obstante la ubicación de la estación BRUMA permitió que se obtuvieran datos de muy buena calidad y apropiados para determinar los flujos de SO<sub>2</sub>. En la Figura 30 se aprecia el mapa con la ubicación de las estaciones SCAN DOAS que se tienen en el VNR.

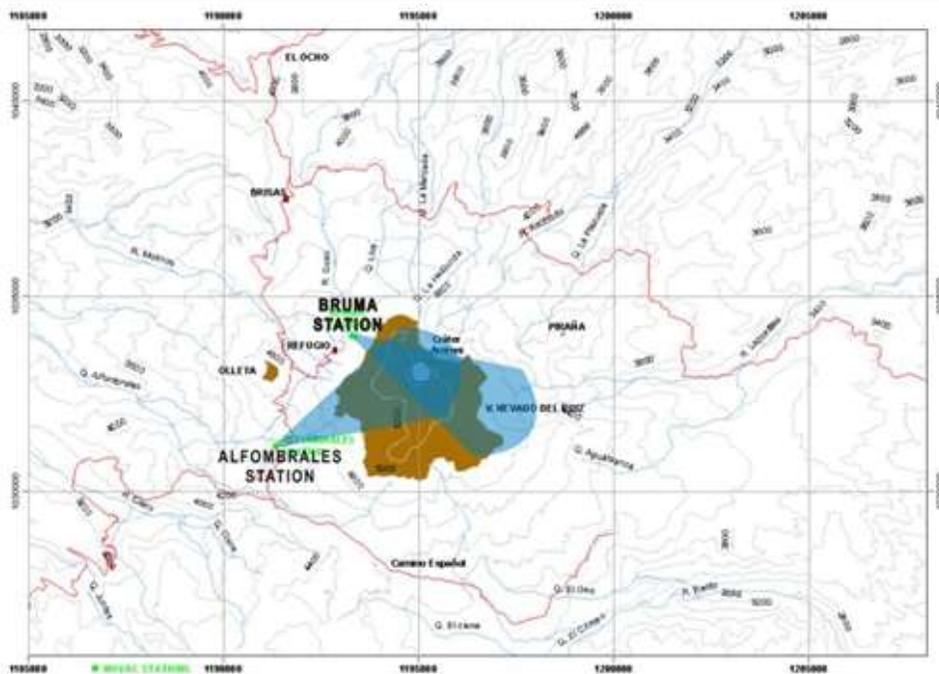


Figura 30. Mapa de Ubicación de las Estaciones SCAN DOAS. Volcán Nevado del Ruiz.

Durante el año 2014 las medidas de los flujos de SO<sub>2</sub> provenientes de las descargas del VNR presentaron fluctuaciones, los primeros meses del año (Enero y Febrero) los flujos promedios estuvieron entre las 500 y 900 ton/d. Desde el mes de Marzo hasta Septiembre se observaron incrementos en las desgasificación, la media de los promedios diarios estuvo entre las 2000 y 5000 ton/d, siendo los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y septiembre los que presentaron los mayores flujos. A continuación en la Tabla 7 se aprecian las medias de los flujos máximos y promedios registrados durante el año 2014.

Mes	Media de los Flujos Promedios SO <sub>2</sub> (ton/d)	Media de los Flujos Máximos SO <sub>2</sub> (ton/d)	Flujos Máximos SO <sub>2</sub> (ton/d)
<b>Enero</b>	876	2044	8719
<b>Febrero</b>	537	1346	5853
<b>Marzo</b>	1186	2692	8269
<b>Abril</b>	2043	4503	13309
<b>Mayo</b>	3205	7044	17666
<b>Junio</b>	5188	10966	22280
<b>Julio</b>	4433	8960	17219
<b>Agosto</b>	2517	5404	17190
<b>Septiembre</b>	3494	7758	19543
<b>Octubre</b>	1435	3773	9587
<b>Noviembre</b>	1152	3258	7995
<b>Diciembre</b>	1757	5000	16066

Tabla 7. Flujos de SO<sub>2</sub> estimados de las estaciones SCAN DOAS. Volcán Nevado del Ruiz.

De acuerdo a las mediciones realizadas en el 2014, las descargas de SO<sub>2</sub> provenientes del VNR han disminuido en magnitud respecto a los años anteriores, en la Figura 31 se aprecia como en el 2012 los flujos de SO<sub>2</sub> alcanzaron valores por encima de las 30000 ton/d, para el año 2013 se observa un decrecimiento y los máximos no superaron las 25000 ton/d, y en el año 2014 los valores máximos son mucho menores respecto al 2012 y 2013, alcanzando flujos de 18000 ton/d.

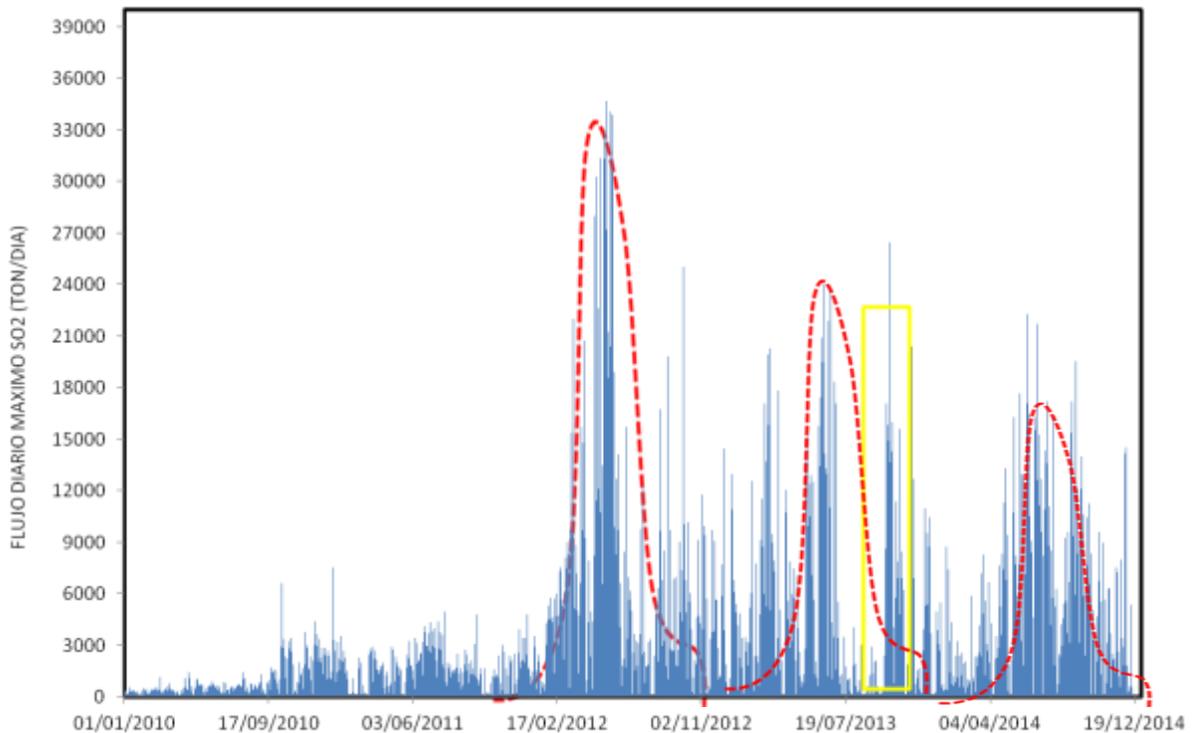


Figura 31. Fluctuaciones de los Flujos Máximos de SO<sub>2</sub> en el Volcán Nevado del Ruiz entre el 2010-2014.

En la Figura 32 se aprecia el comportamiento con el tiempo los promedios y máximos de SO<sub>2</sub> registrados en las estaciones SCAN DOAS del VNR durante el 2014. Se evidencian fluctuaciones durante todo el año, no obstante entre los meses de Mayo a Julio se presentan los mayores flujos de SO<sub>2</sub>, los cuales alcanzaron máximos de más de 10000 ton/d.

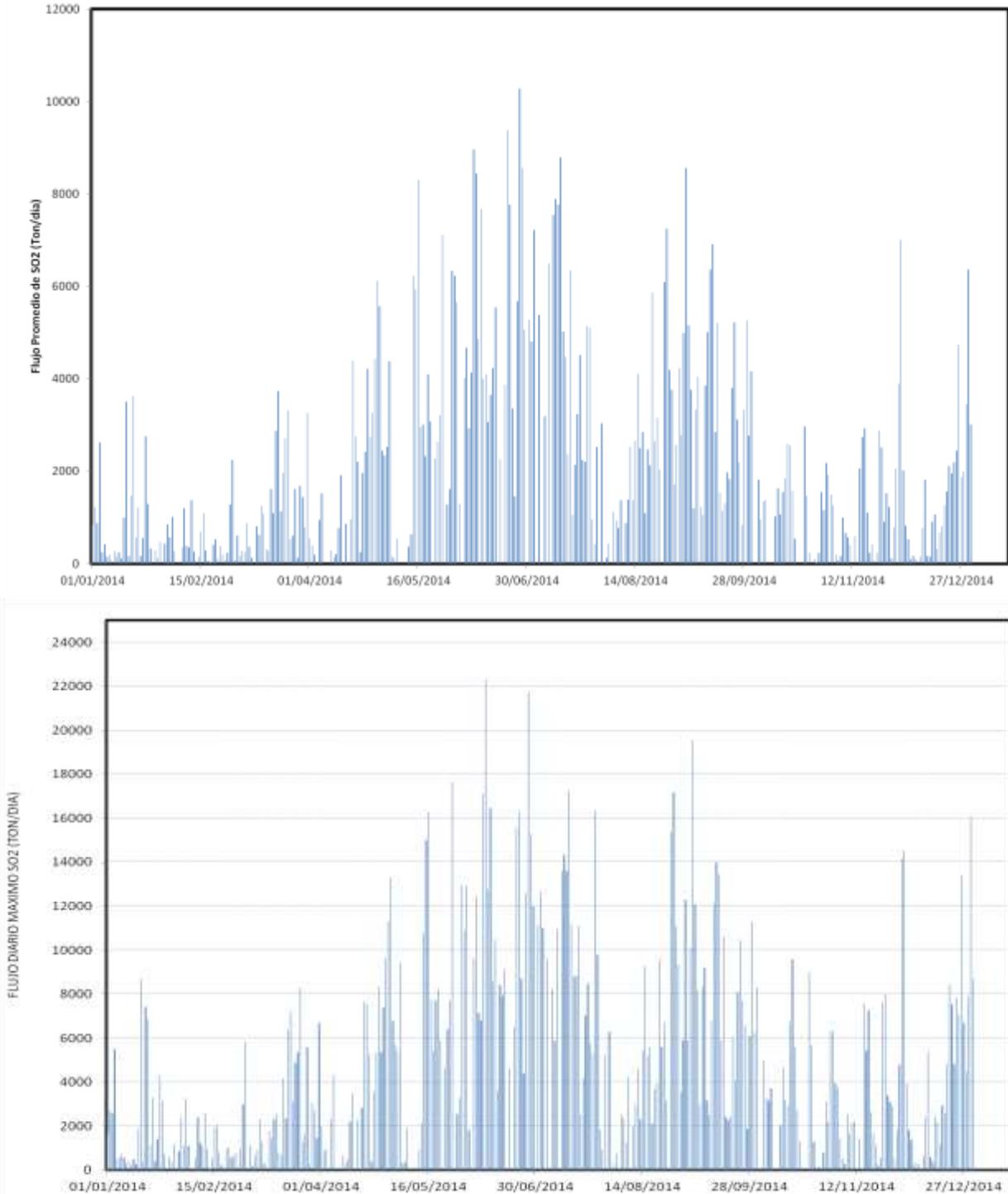


Figura 32. Flujo de SO<sub>2</sub> Promedio y Diario estimado desde estaciones SCAN DOAS. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

Los cálculos de flujo de SO<sub>2</sub> se realizaron teniendo en cuenta las condiciones de viento (dirección y velocidad) que genera el IDEAM mediante el modelo WRF. En las Figura 33 se aprecia las gráficas de frecuencia de la velocidad y dirección del viento predominantes en el año 2014. La dirección predominante del viento fluctuó entre Sur-Occidente y Nor-Occidente, favoreciendo los escaneos de las estaciones BRUMA y ALFOMBRALES.

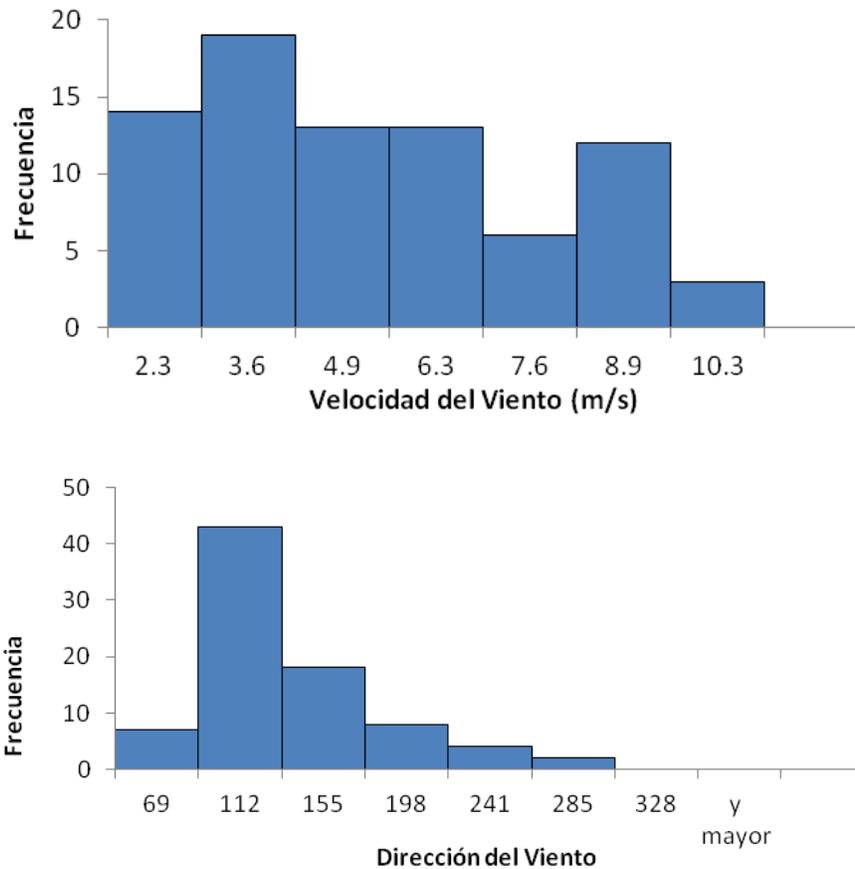
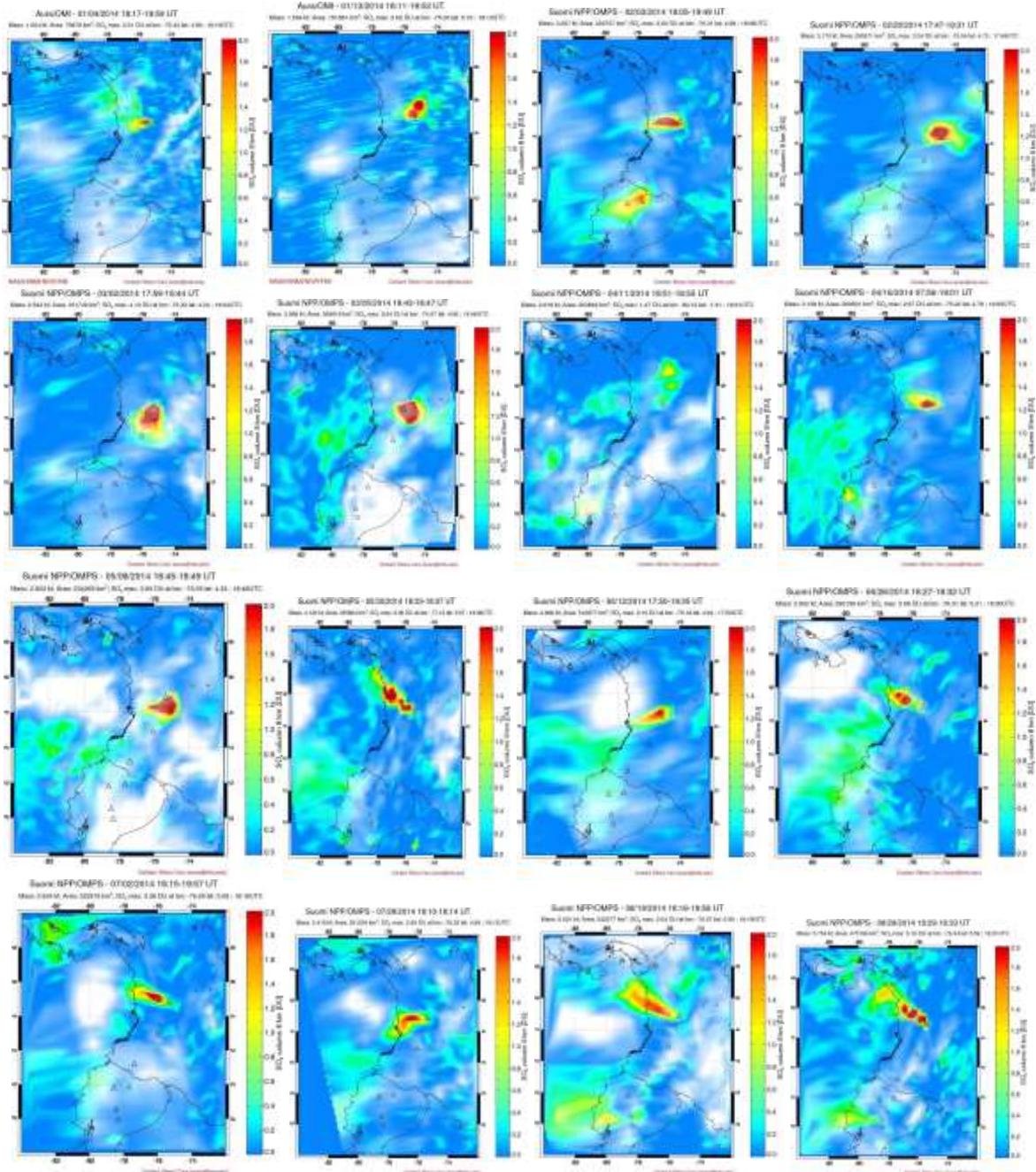


Figura 33. Frecuencia de la Velocidad y Dirección del Viento predominantes para el año 2014.

Las descargas de SO<sub>2</sub> originadas en el Volcán Nevado del Ruiz también se observaron en imágenes satelitales durante todo el 2014. En la Figura 34 se aprecian algunas imágenes satelitales SuomiNPP/MOPS y NESDIS (ozone mapping profile suite) generadas por la NASA que evidencian una constante desgasificación del VNR, en las imágenes se aprecia la descarga de SO<sub>2</sub> y la dispersión de la misma de acuerdo al régimen de vientos dominante.



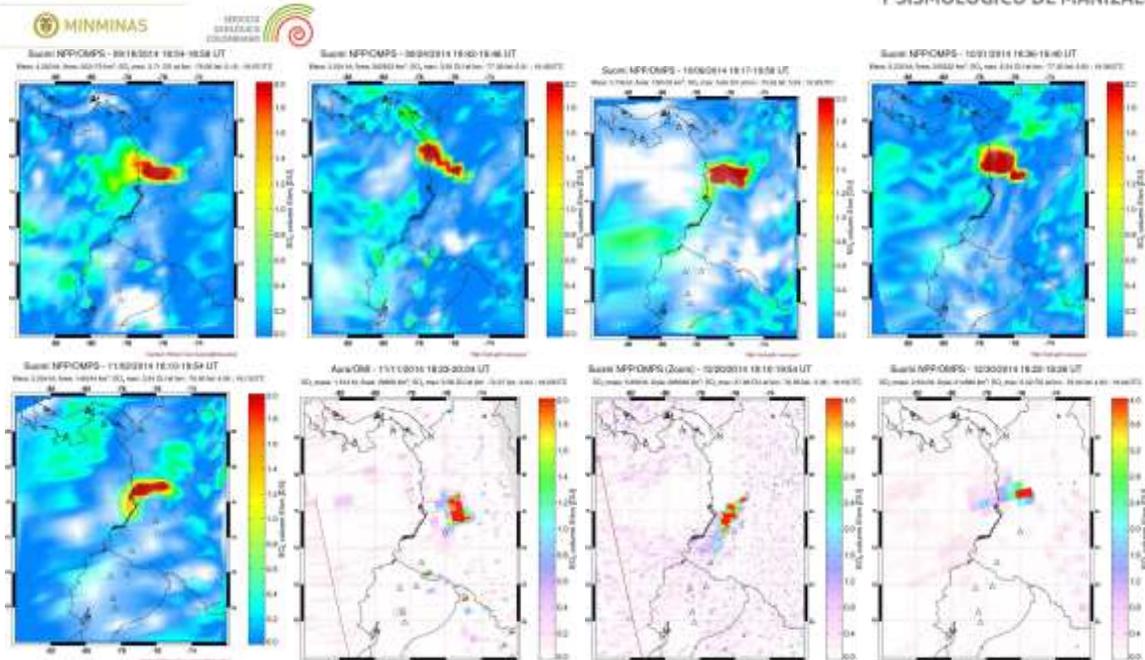


Figura 34. Imágenes OMI que muestran la desgasificación SO<sub>2</sub> en el Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

#### 1.4.2 Medidas Móviles de SO<sub>2</sub>

En el 2014 se realizaron de manera periódica medidas móviles de la desgasificación del VNR con el equipo MobileDOAS, en la Tabla 8 se presentan las rutas y datos de viento usados por el cálculo del flujo de SO<sub>2</sub>. Los flujos medidos durante el año corroboran la constante y alta desgasificación del volcán, se destacan las medidas realizadas los meses de Junio y Septiembre donde los flujos superaron las 20000 t/d, en promedio los flujos medidos estuvieron por encima de las 7000 t/d. En la Figura 35 se aprecia el comportamiento con el tiempo de los flujos medidos con sistema móvil.

FECHA	Punto Inicial	Punto Final	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento (grados)	Flujo máximo calculado (t/d)
28/03/2014	OVSM	Armenia	8.1	240	3547
28/03/2014	Armenia	Tablazo	8.2	240	3127
25/04/2014	OVSM	Pereira	8.0	138	6259
25/04/2014	Dos quebradas	Cerro Bravo	8.0	142	12084
30/05/2014	Esperanza	Alfombrales	6.2	120	10876
30/05/2014	Alfombrales	Esperanza	6.1	130	9423
18/06/2014	Alfombrales	Esperanza	6.2	114	20367
27/06/2014	Alfombrales	Esperanza	8.9	113	26000
02/07/2014	Esperanza	Alfombrales	8.2	110	5324
10/07/2014	Esperanza	Alfombrales	8.3	104	14035

25/07/2014	Esperanza	Alfombrales	9.0	112	5320
01/08/2014	VCB	El Cisne	6.1	57	2300
19/08/2014	Boquerón (Pereira)	Manizales	7.2	108	7877
05/09/2014	Alfombrales	Brisas	9.2	130	24102
12/09/2014	Alfombrales	Esperanza	7.1	93	10540
23/09/2014	Alfombrales	Esperanza	7.65	93	10191
16/10/2014	Cajones	Refugio	4.2	80	2184
21/10/2014	Esperanza	Olleta	4.1	101	5361
24/10/2014	Esperanza	Alfombrales	4.0	96	6515
23/11/2014	El Ocho	Alfombrales	4.0	65	1780
24/11/2014	El ocho	Alfombrales	3.5	55	2401
16/12/2014	Montelargo	Armenia	4.0	70	3020
17/12/2014	Esperanza	Alfombrales	4.1	55	2998

Tabla 8. Parámetros de viento y rutas usadas para medidas móviles de SO<sub>2</sub>. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

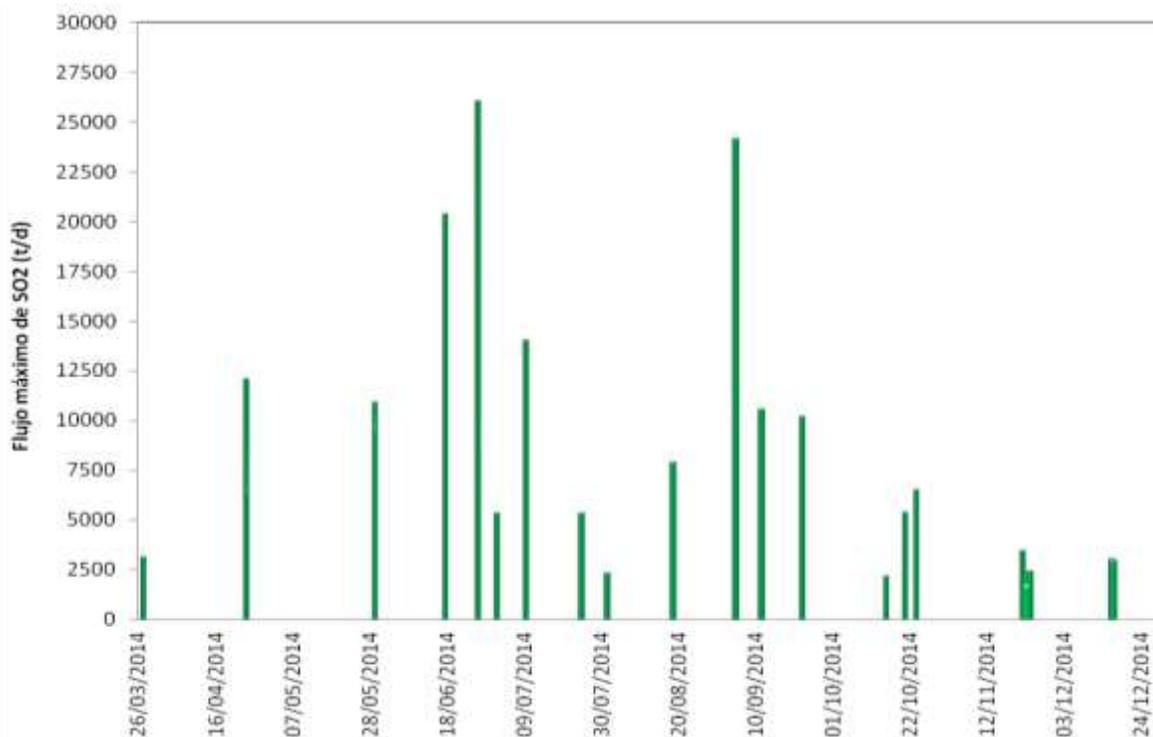


Figura 35. Flujos de SO<sub>2</sub> estimados con equipo MobileDOAS. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

A continuación se presenta el mapa con las rutas más frecuente que se toma para realizar las medidas del flujo de  $\text{SO}_2$ , allí se muestra que la concentración de la pluma (color rojo) se presenta en dirección hacia el Occidente del VNR. (Esta dirección es predominante durante todo el año).



Figura 36. Rutas frecuentes para medida de  $\text{SO}_2$  con equipo MobileDOAS. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

### 1.4.3 Emisiones de Gas Radón

Durante el año 2014 se monitorearon las estaciones telemétricas: GUALI, OLLETA, ALFOMBRALES y AZUFRADO. Los resultados del monitoreo muestran que se presentaron algunas variaciones en la concentración de Radón en suelo especialmente en los meses de Mayo y Noviembre para las estaciones AZUFRADO y ALFOMBRALES, los incrementos presentados en la concentración de gas radón pueden estar relacionados con la sismicidad volcano-tectónica registrada en el VNR durante estos meses. Todas las estaciones registraron concentraciones de radón en diferentes magnitudes, las cuales estuvieron entre los 3000 y los 18000  $\text{Beq/m}^3$  excepto la estación ALFOMBRALES que registró datos por debajo de los 2000  $\text{Beq/m}^3$  (Figura 37).

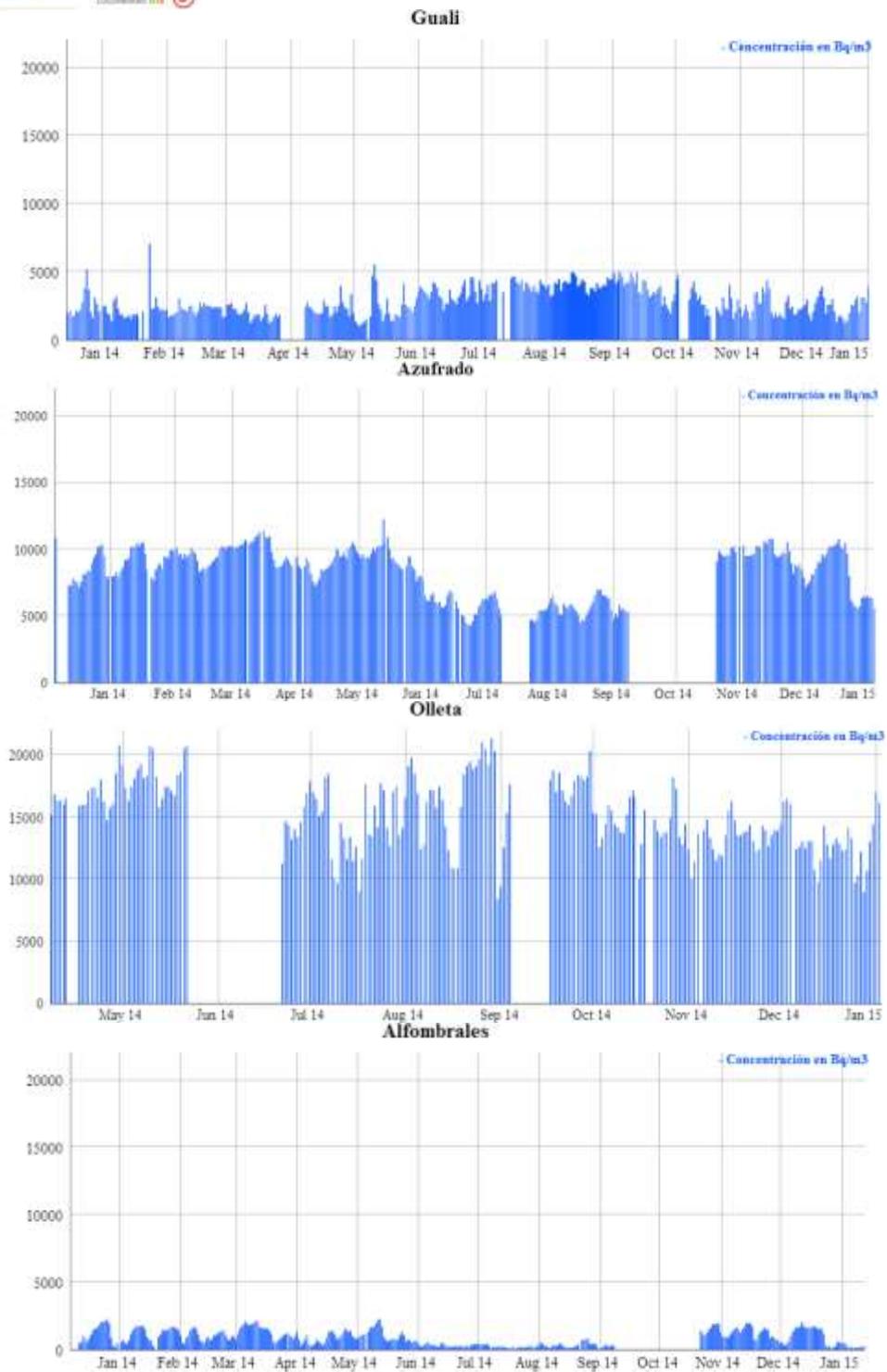


Figura 37. Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones GUALI, AZUFRADO, OLLETA y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

#### 1.4.4 Fuentes Termales (FT)

En el año 2014 se realizó monitoreo periódico en dos fuentes termales, HOTEL y AGUAS CALIENTES. Los valores en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales durante todo el año presentaron algunas variaciones. En la Figura 38 se aprecia el comportamiento de la temperatura en el tiempo para las dos FT, allí se aprecia que en el mes de Mayo hubo un incremento en 2 grados de la temperatura de la FT HOTEL para los meses siguientes presentó estabilidad. Las pequeñas variaciones presentadas pueden ser ocasionadas por infiltración de agua meteórica debido al régimen cambiante en las condiciones de lluvia en la zona volcánica.

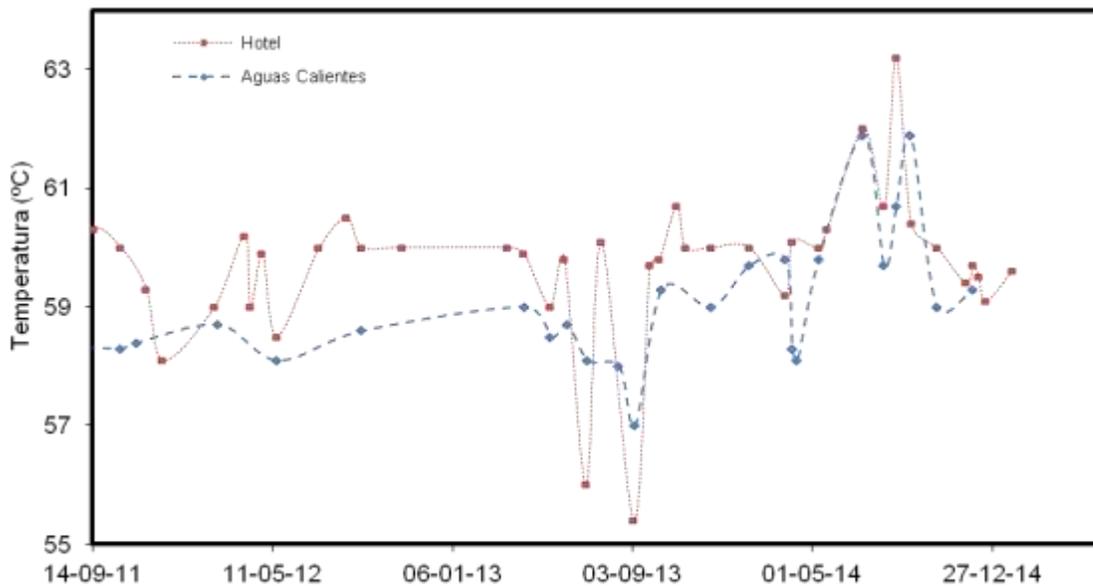


Figura 38. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales HOTEL y AGUAS CALIENTES Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

En lo referente al pH, en la Figura 39 se aprecia su comportamiento en el tiempo, se aprecian algunas variaciones que pueden estar relacionadas con posibles mezclas con agua meteórica, no obstante en general los valores de pH para el año 2014 se mantuvieron dentro de sus líneas base.

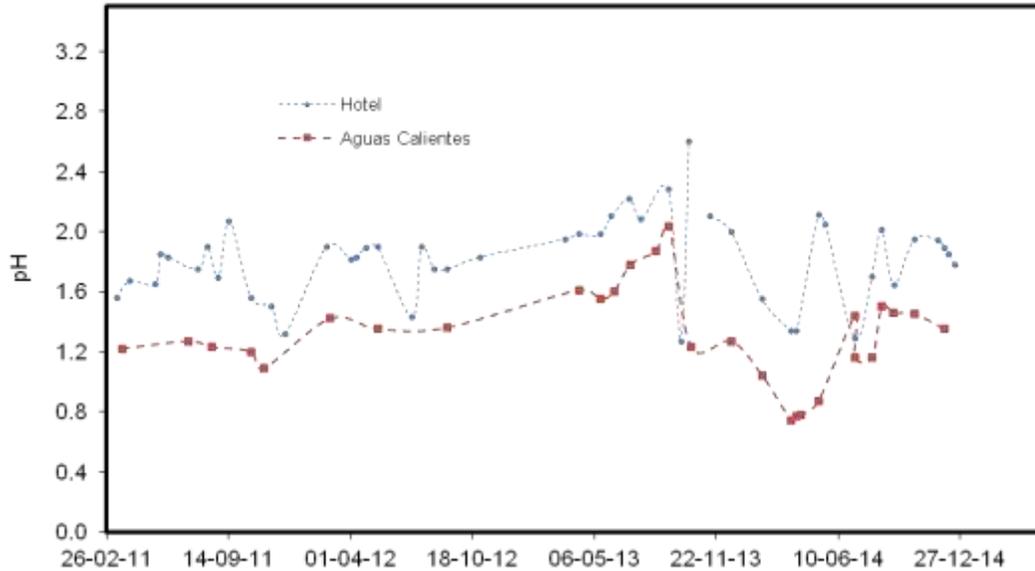


Figura 39. Variación del pH en Fuentes Termales HOTEL y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

Las medidas de conductividad eléctrica de las fuentes termales durante los primeros meses del año 2014 se mantuvieron estables, se presentó un fuerte incremento en los meses de Junio a Octubre en la FT AGUAS CALIENTES, comportamiento que ya se había presentado en el año 2013, el cual puede estar relacionado a mezcla con aguas meteóricas ricas en iones. Para los últimos meses del año, los valores de conductividad se mantuvieron estables (Figura 40).

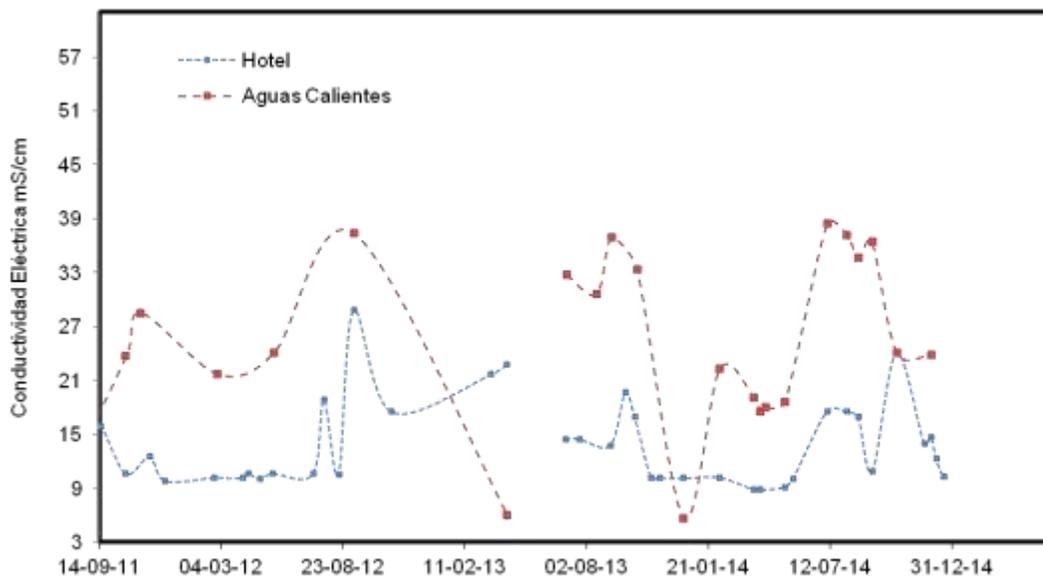


Figura 40. Variación de la conductividad eléctrica en Fuentes Termales HOTEL y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

Respecto al contenido de aniones mayoritarios (Figura 41), en el mes de Abril se presentaron variaciones en el contenido de Cloruros, en la FT HOTEL, los meses posteriores hubo en general estabilidad. El contenido de Sulfatos durante las medidas realizadas en el 2014 presentó fluctuaciones importantes para la FT AGUAS CALIENTES, no obstante los valores medidos son menores respecto a las medidas de años anteriores. Para la FT HOTEL no se presentaron variaciones importantes.

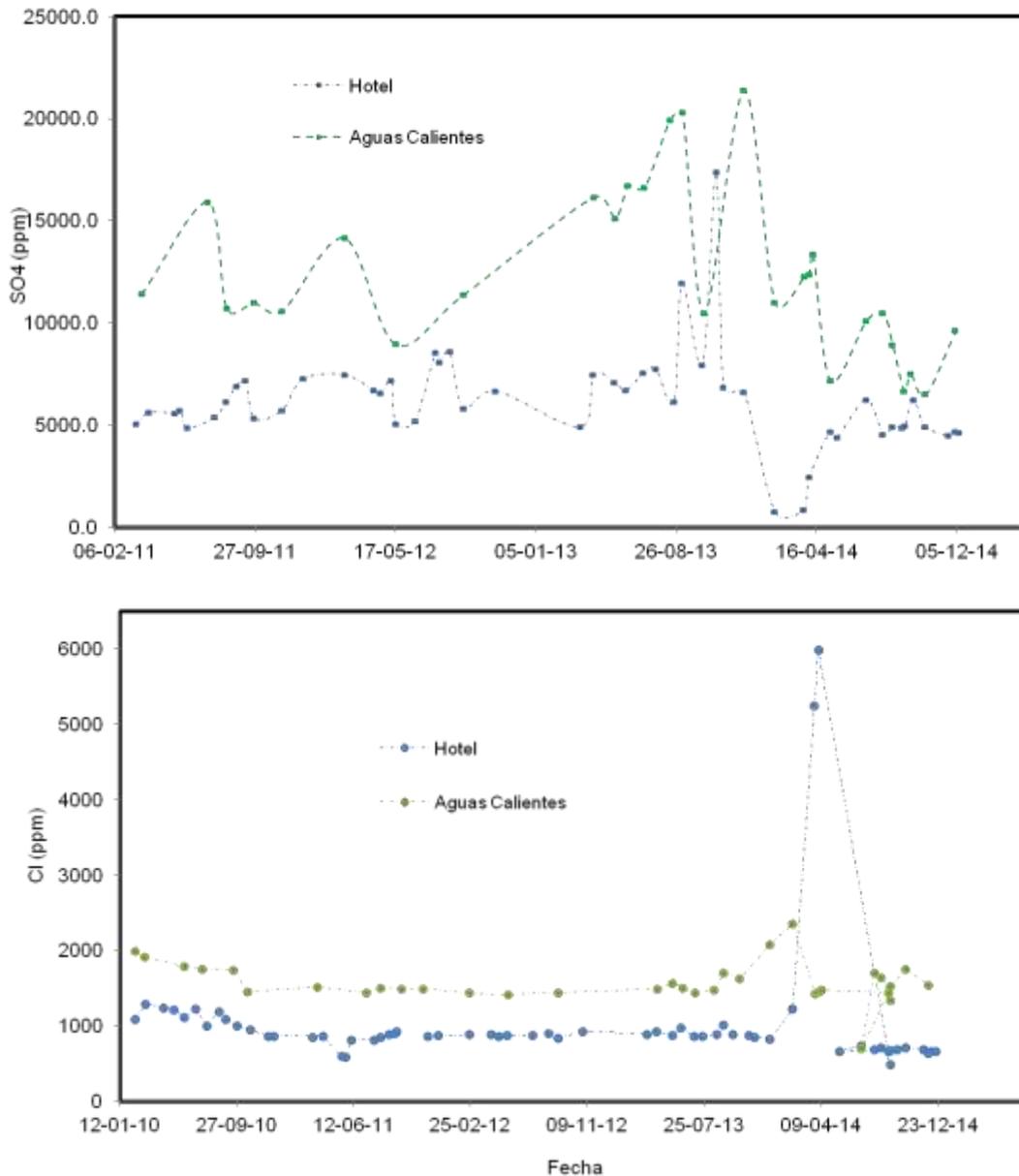


Figura 41. Variación de la Concentración de Sulfatos y Cloruros en las Fuentes HOTEL y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

El monitoreo de las FT BOTERO LONDOÑO y NEREIDAS se realizó durante algunos meses del año, a continuación en las Tabla 9 y Tabla 10 se presentan los datos obtenidos durante las medidas.

FECHA	T (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Cl (ppm)	SO4 (ppm)
20-mar-14	87.2	5.50	2.98	822.4	23.6
29-may-14	91.8	7.56	6.10	915.7	9.4
29-may-14	88.2	7.64	7.90	902.2	39.6
14-ago-14	92.95	7.73	6.10	920.5	36.4
14-ago-14	89.7	7.84	5.40	894.3	30.2
17-oct-14	89.5	7.87	6.39	758.9	32.9
28-nov-14	90	7.82	4.20	1634.4	46.6

Tabla 9. Datos Fisicoquímicos de la Fuente Termal BOTERO LONDOÑO. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

FECHA	T (°C)	pH	Conductividad (mS/cm)	Cl (ppm)	SO4 (ppm)
20-mar-14	50	5.87	1.2	8.8	241.5
29-may-14	48	6.08	1.8	39.5	230.6
14-ago-14	49	6.54	1.1	12.4	210.4
27-nov-14	43	6.09	19.0	9.725	305.1
10-dic-14	50	6.11	1406.0	10.18	259.71

Tabla 10. Datos Fisicoquímicos de la Fuente Termal NEREIDAS. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

#### 1.4.5 Gases en Botellas de Giggenbach

En el año 2014 se tomaron muestras de la Fumarola NEREIDAS en los meses de Agosto, Noviembre y Diciembre, los datos obtenidos muestran que el mayor porcentaje de gases secos se tiene en CO<sub>2</sub>, los porcentajes de SO<sub>2</sub> tuvieron una variación importante para el mes de Noviembre alcanzando el 8,6%, para los meses de Agosto y Diciembre fueron estables con un valor de 1,7%. En la Tabla 11 se aprecian los valores de la concentración de gases secos de la Fumarola NEREIDAS.

FECHA	%CO <sub>2</sub>	%SO <sub>2</sub>	%H <sub>2</sub> S	%HCl	St/HCl
14 / 08 / 2014	97.8	1.7	0.3	0.2	6.0
27 / 11 / 2014	90.5	8.6	0.2	0.8	9.8
17 / 12 / 2014	98.1	1.7	-0.1	0.3	5.0

Tabla 11. Datos de concentración de Gases en la Fumarola NEREIDAS. Volcán Nevado del Ruiz. 2014.

## 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 2014 fue del **93.9%**.

Durante este año se destaca la migración de tecnología serial a TCP/IP que se realizó sobre la estación ESMERALDA (sismómetro de banda ancha e inclinómetro electrónico). Además, se mejoró el sistema eléctrico mediante la adición de dos paneles solares. En la estación de corto periodo digitalizado NIDO DE AGUILA se instaló un amplificador para optimizar el uso del rango dinámico del digitalizador Guralp DM24 (Figura 42).



Figura 42. Estaciones NIDO DE AGUILA y ESMERALDA.

### 2.2 SISMOLOGÍA

El Volcán Nevado del Tolima mantuvo un nivel bajo de actividad durante el año. La red de monitoreo sismológico (Figura 43), registró sismos asociados al fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico y a la dinámica de fluidos dentro de los conductos volcánicos (Figura 44 y Figura 45). El sismo de mayor magnitud registrado en el año corresponde al evento ocurrido el 26 de abril de 2014 a las 06:30 (hora local), el cual alcanzó una magnitud de 1.7  $M_L$  (Magnitud Local) y estuvo localizado al Oriente del cráter a una profundidad de 3.35 km. En general, estos eventos se localizaron alrededor del cráter y

principalmente al noroccidente del mismo a profundidades entre 1.5 y 6.5 km (Figura 46).

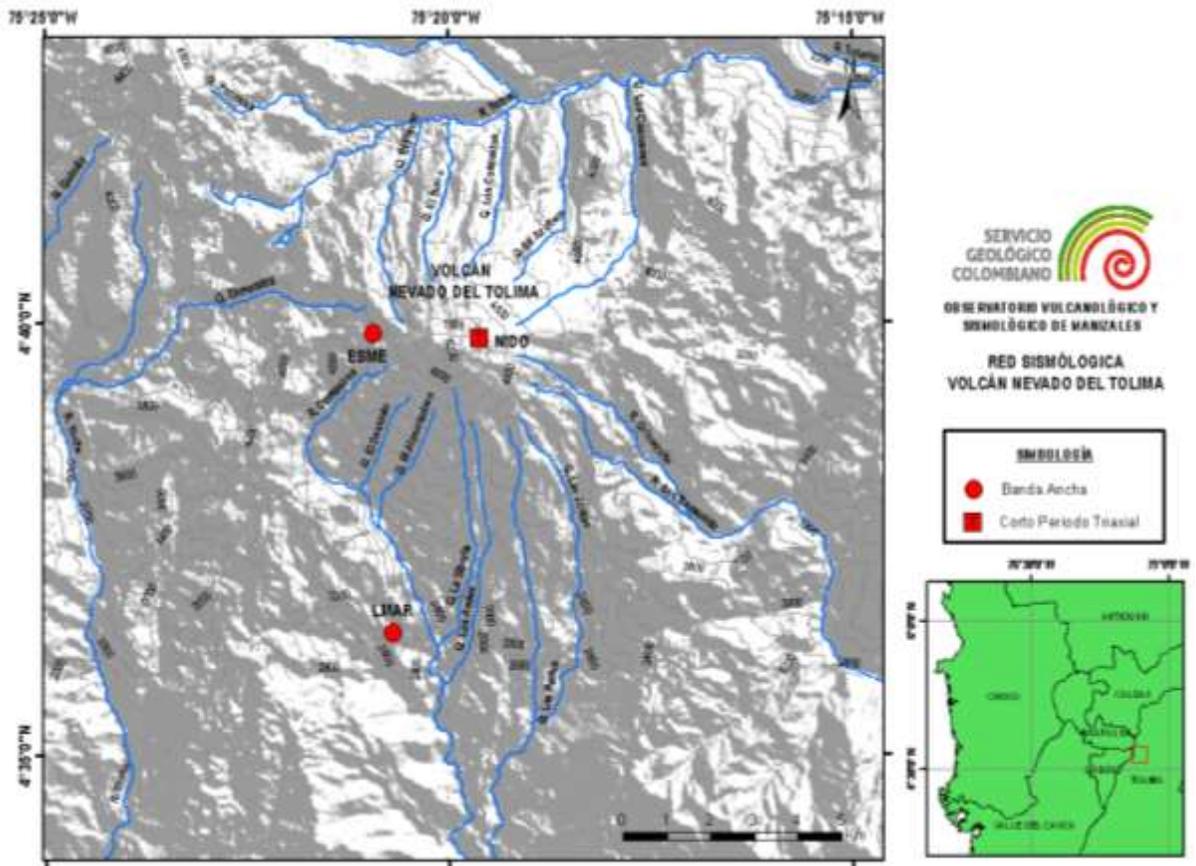


Figura 43. Red Sismológica. Volcán Nevado del Tolima.

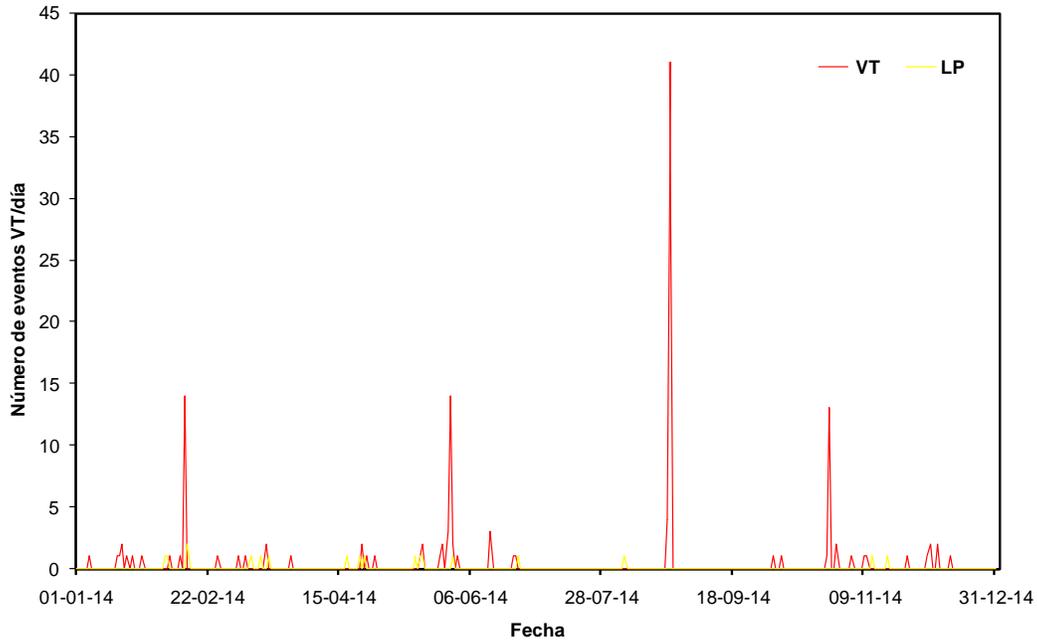


Figura 44. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Nevado del Tolima, Enero a Diciembre de 2014.

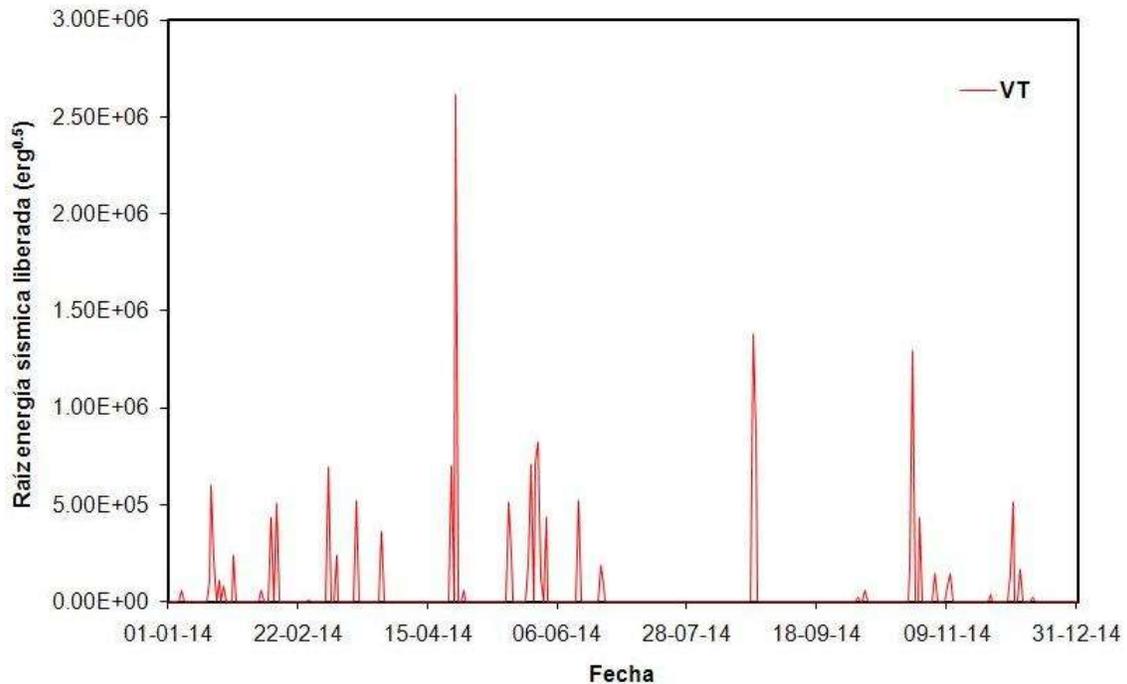


Figura 45. Raíz de la energía diaria liberada en el Volcán Nevado del Tolima, Enero a Diciembre de 2014.

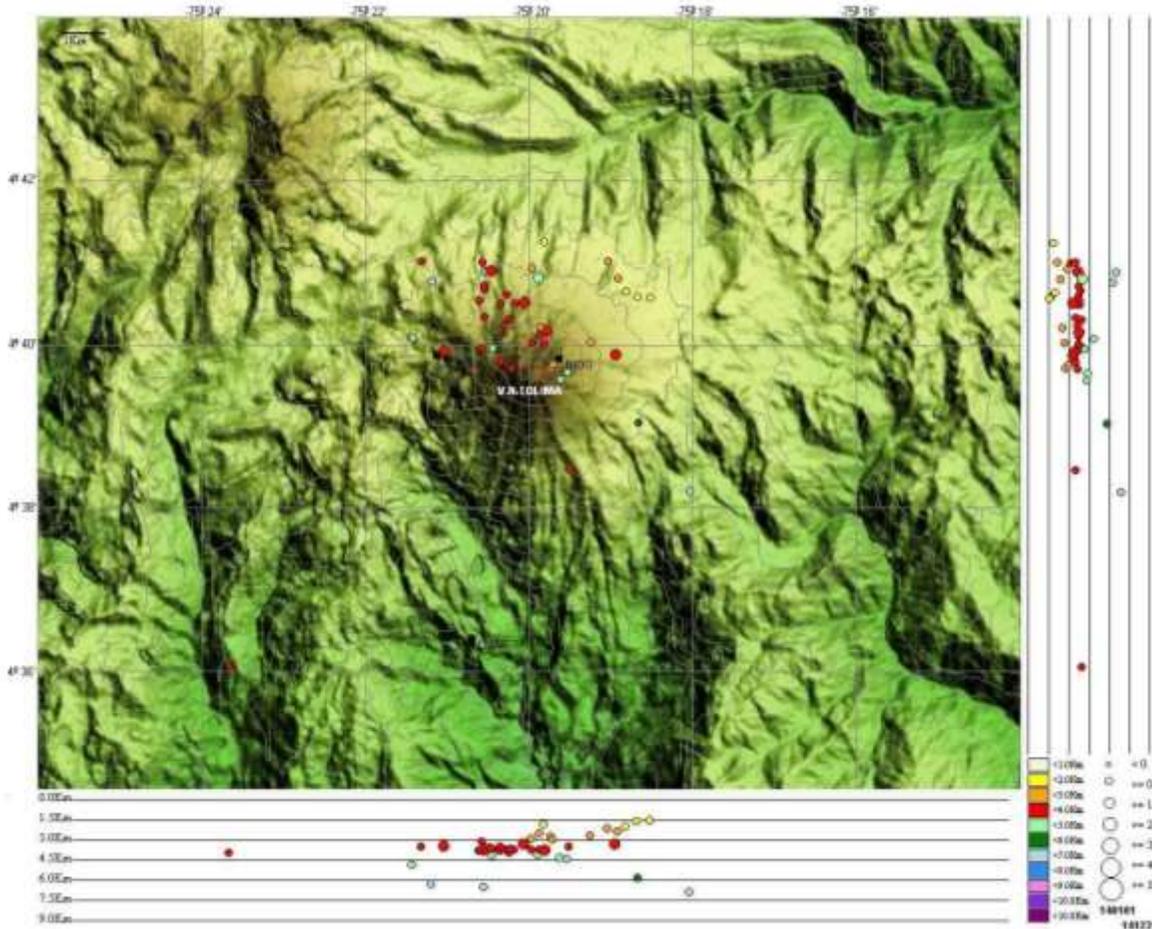


Figura 46. Mapa de localización hipocentral sismos volcánico-tectónicos (círculos de colores), Volcán Nevado del Tolima, Enero a Diciembre de 2014. Los cuadros negros representan las estaciones sismológicas.

### 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 2014 funcionó adecuadamente el inclinómetro electrónico ESME. El inclinómetro MARI ha presentado algunos problemas de tipo electrónico. La Figura 47 muestra la red de deformación del VNT.

El inclinómetro ESME presenta un constante ascenso principalmente en la componente N, registrando cambios fluctuantes del orden de 12  $\mu$ rad y un cambio acumulado desde mediados del 2011 de aproximadamente 200  $\mu$ rad, lo cual puede estar asociado con procesos de compensación de masas glaciares, así como de cambios bruscos de temperatura en el lugar (Figura 48).

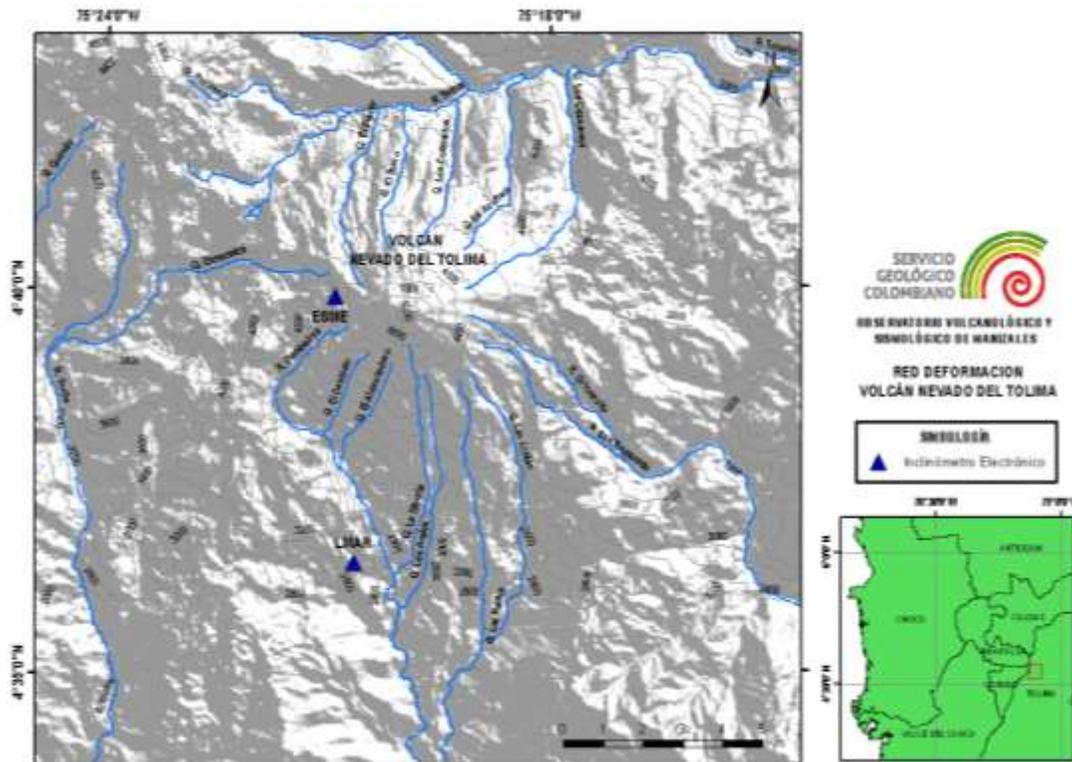


Figura 47. Red de deformación. Volcán Nevado del Tolima.

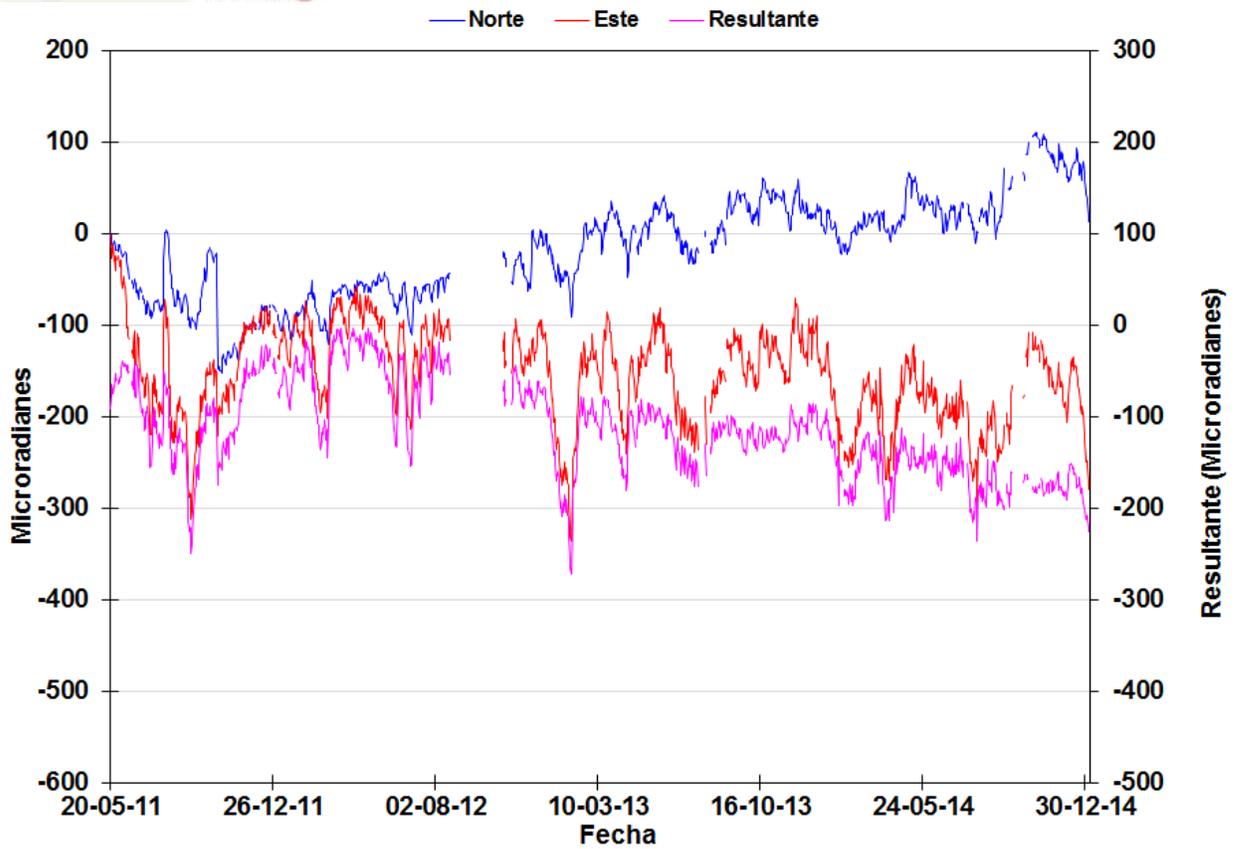


Figura 48. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico ESME, de la red de deformación del VNT hasta Diciembre de 2014. Volcán Cerro Machín.

### 3. VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM)

#### 3.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red telemétrica para este volcán durante el año 2014 fue del **94.0%**.

Durante este año se destaca la implementación de un sistema de respaldo satelital para todas las telemetrías digitales del volcán. Este sistema se activa automáticamente en caso de presentarse un problema sobre el enlace de radio principal (Figura 49).



Figura 49. Antena satelital en la repetidora CIELO ROTO.

También se mejoraron las telemetrías de las estaciones TOCHE, LA PALMA, LAGUNA y LA SECRETA, las cuales ahora cuentan con un ancho de banda disponible mucho mayor debido a la migración hacia la banda de frecuencias de 5GHz (Figura 50).



Figura 50. Imágenes del sistema de radio de 5GHz en las estaciones LAGUNA y LA SECRETA.

Por otra parte, la red de monitoreo fue ampliada mediante la instalación de la estación meteorológica CIMA, ubicada en el domo principal (Figura 51).



Figura 51. Nueva Estación meteorológica CIMA.

## 3.2 SISMOLOGÍA

### 3.2.1 Sismos volcano-tectónicos

Durante el año 2014 la actividad sísmica del Volcán Cerro Machín se caracterizó por ser de tipo volcano-tectónica, asociada a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico; la red de estaciones sismológicas (Figura 52), registró un total de 2770 eventos de carácter volcano-tectónico (VT) (Figura 53). En general estos eventos sísmicos presentaron niveles bajos de energía (Figura 54); La actividad sísmica se localizó principalmente en el domo principal a profundidades que variaron entre 2 y 7.5 km; al suroriente a profundidades que variaron entre 2.5 y 16 km; y en menor proporción hacia el sector sur y suroccidental a profundidades entre 2.5 y 12.5 km (Figura 55).

La máxima magnitud registrada durante el año fue de 3.5  $M_L$  (magnitud local), asociada a un sismo ocurrido el 15 de octubre (Figura 56) a las 15:02 respectivamente (hora local), durante un enjambre sísmico en donde se registraron alrededor de 600 eventos (Figura 57), localizados al suroriente del domo principal a profundidades que oscilaron entre 2 y 5 km.

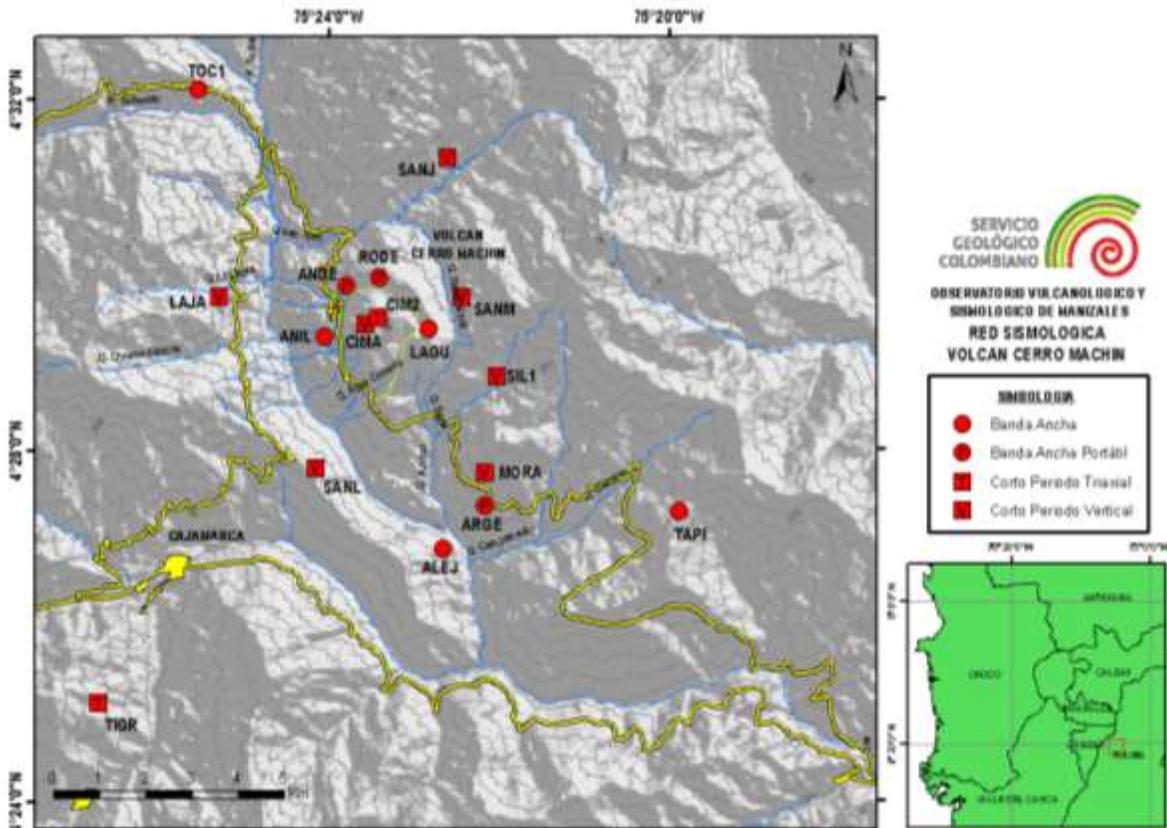


Figura 52. Red Sismológica. Volcán Cerro Machín.

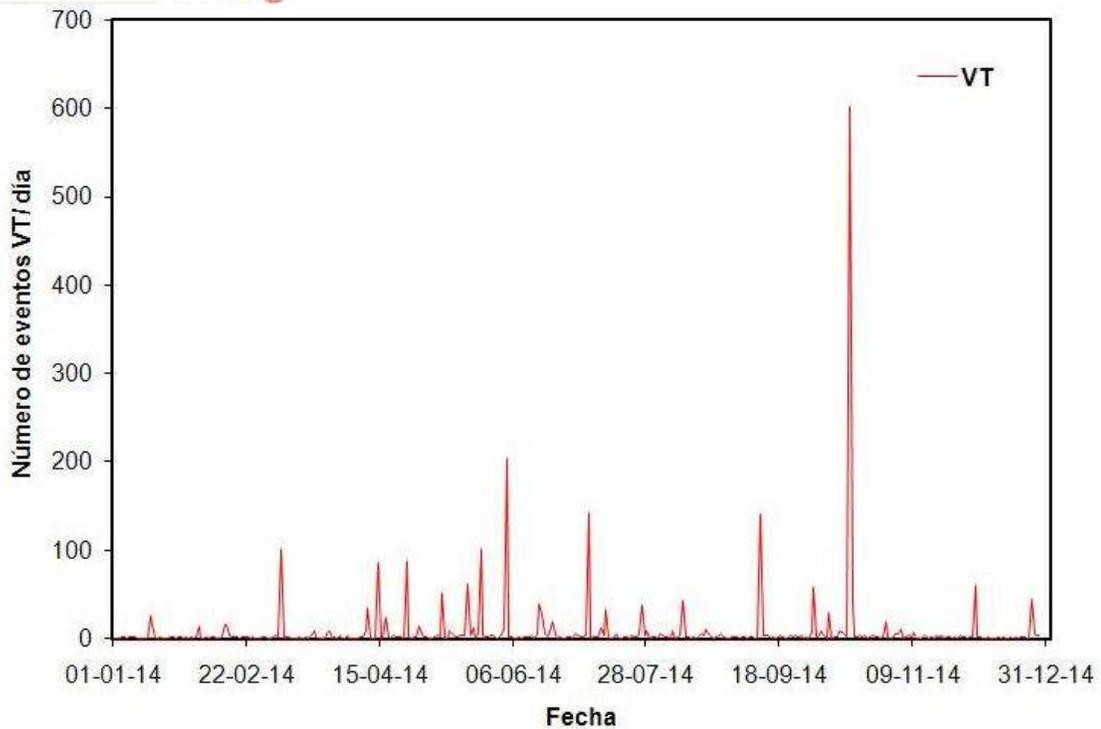


Figura 53. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Cerro Machín, Enero a Diciembre de 2014.

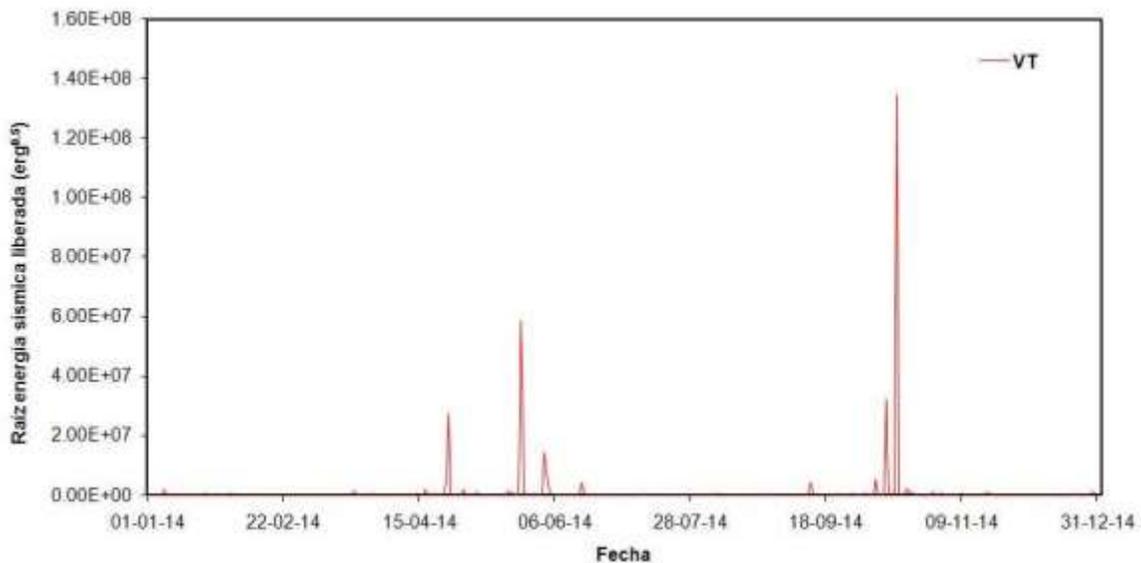


Figura 54. Raíz de la energía sísmica diaria liberada por el Volcán Cerro Machín, enero a diciembre de 2014.

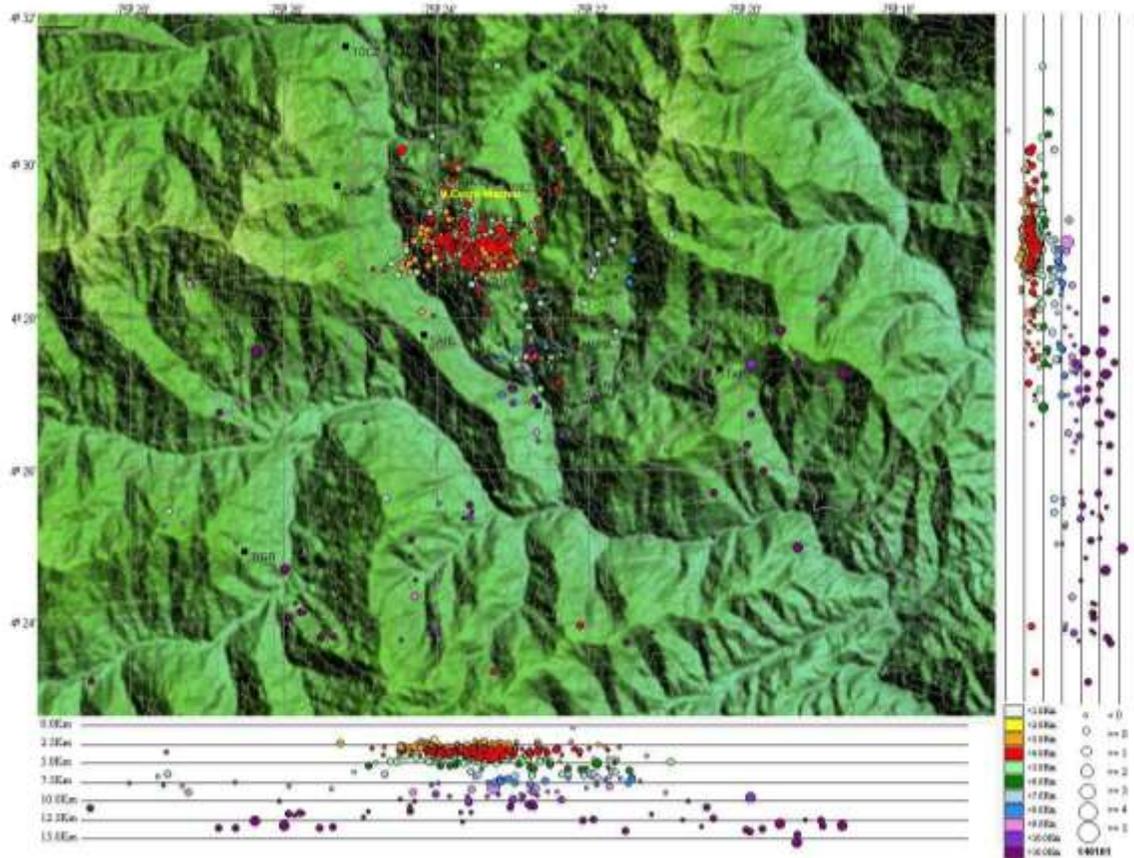


Figura 55. Localización hipocentral de sismos volcánico-tectónicos en el Volcán Cerro Machín, año 2014, los cuadrados negros representan las estaciones sismológicas.

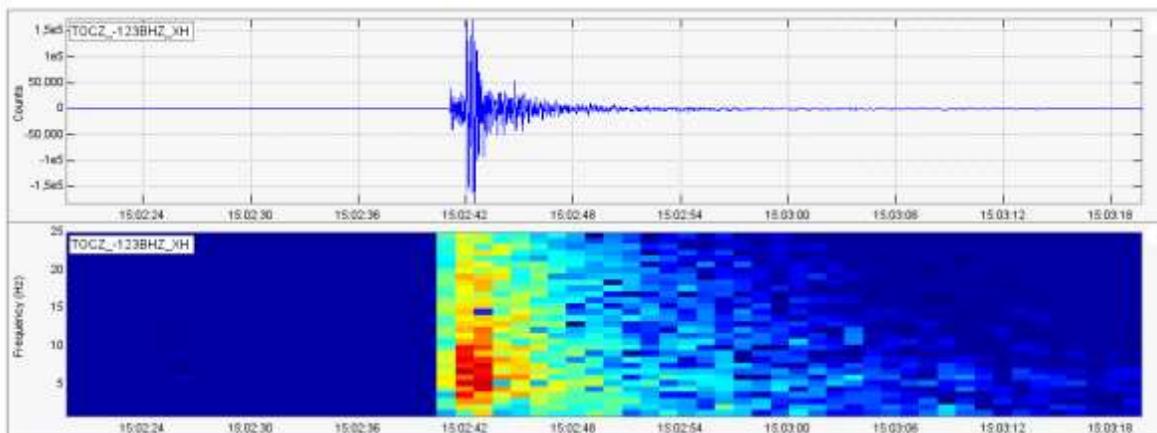


Figura 56. Registro sísmico y espectro asociado al sismo volcánico-tectónico de mayor energía durante el año, registrado el día 15 de octubre a las 15:02 (hora local) en el VCM. El eje horizontal de la imagen es el tiempo (s) y el eje vertical es la amplitud en cuentas y la frecuencia (Hz).

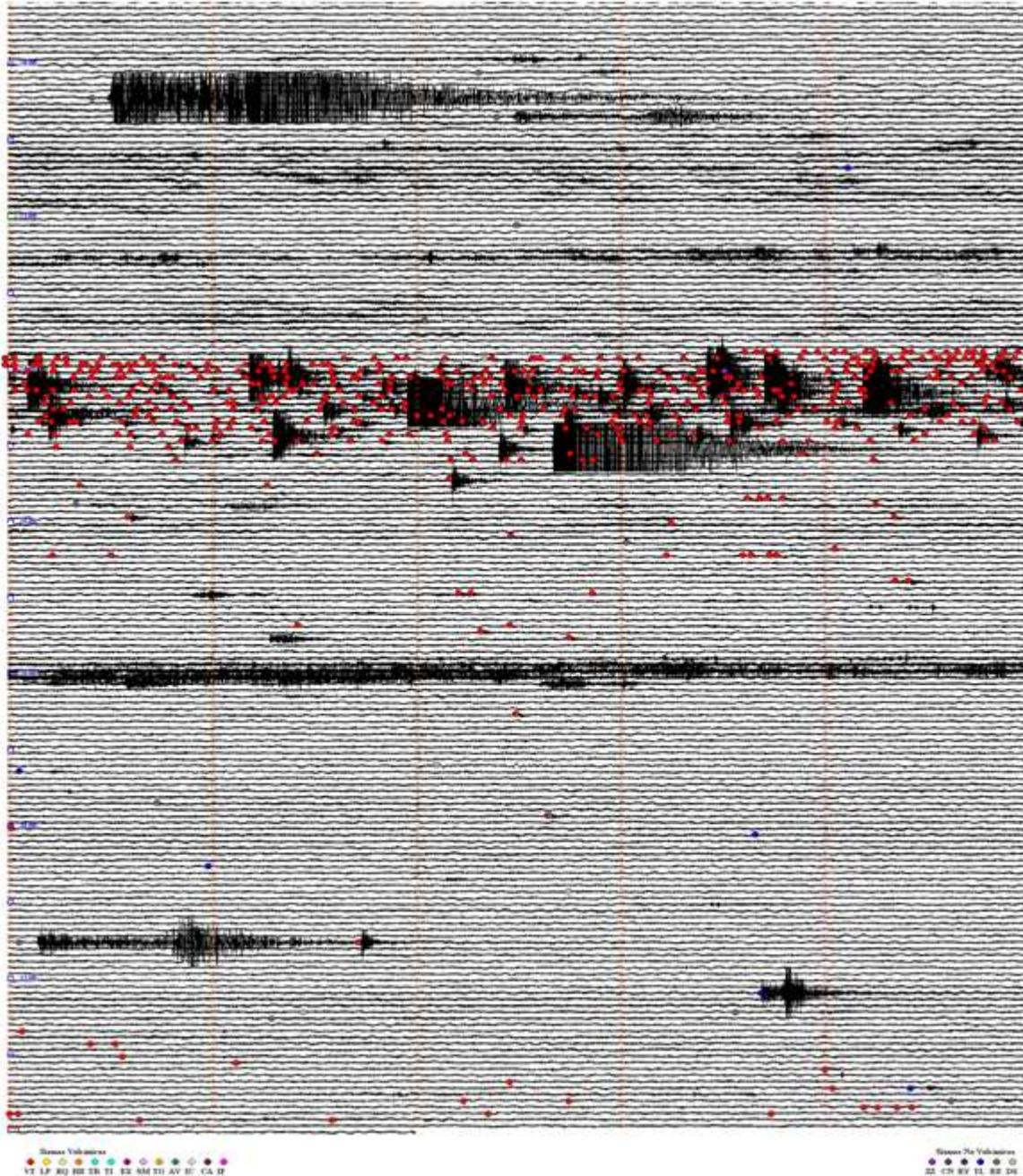


Figura 57. Sismograma representativo del enjambre sísmico del 15 de octubre de 2014. Los círculos rojos indican la clasificación del evento sísmico VT.

### 3.3 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS

#### 3.3.1 Magnetometría

Durante el año 2014, 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 (Figura 58 y Figura 59).

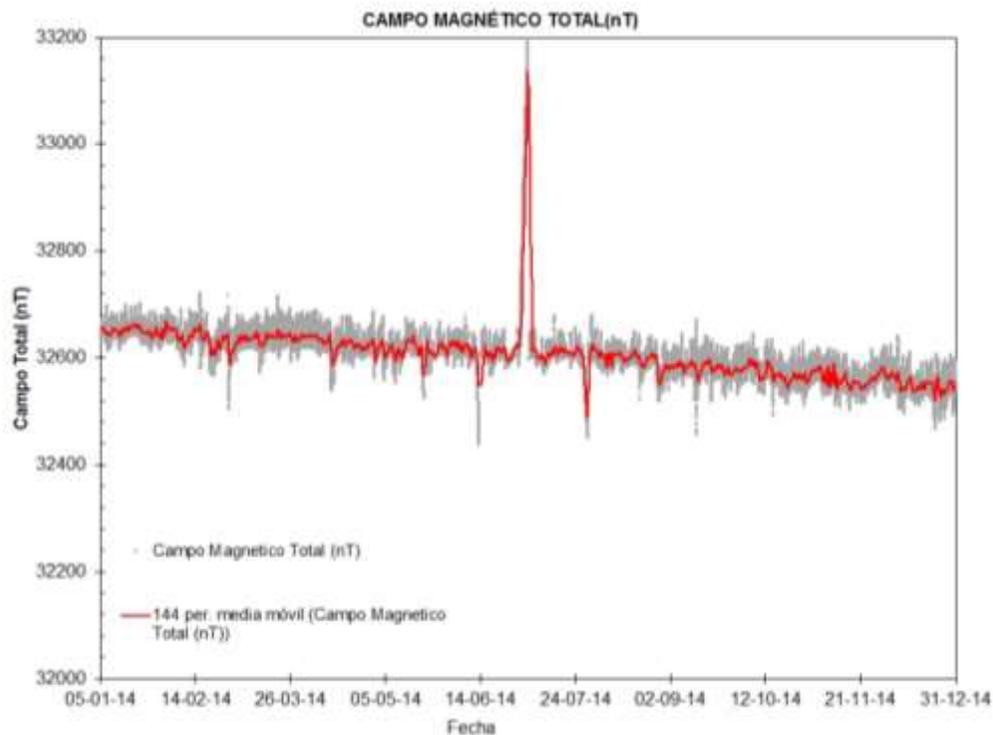


Figura 58. Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín, periodo enero-diciembre de 2014. Estación AGUAS CALIENTES.

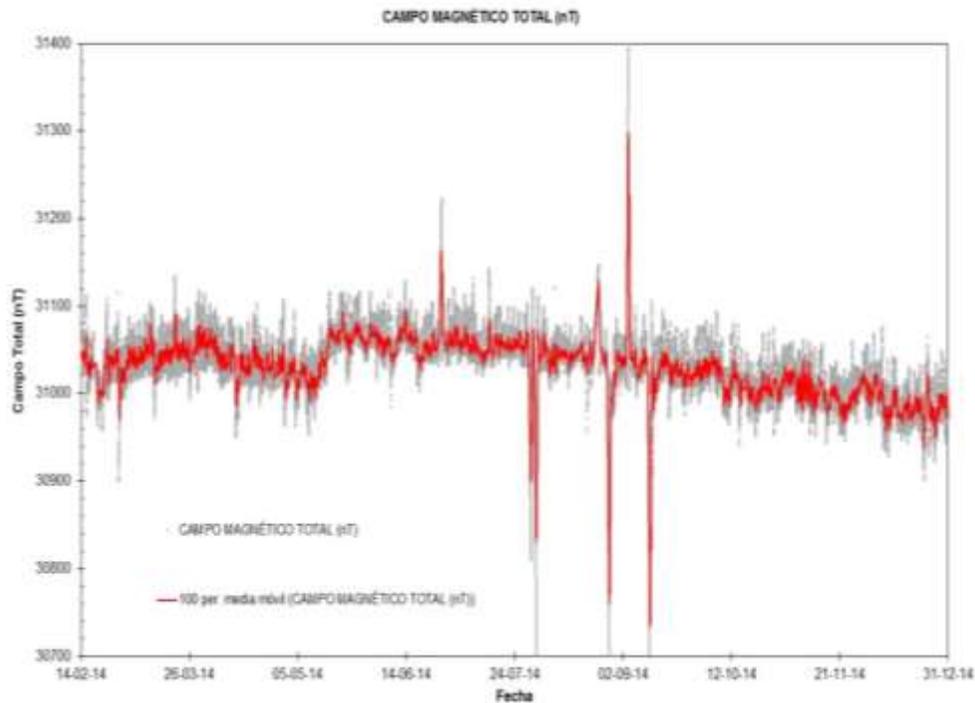


Figura 59. Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín, periodo enero-diciembre de 2014. Estación DOMO.

### 3.3.2 Potencial espontáneo

La Figura 60 muestra los cambios en el potencial espontáneo en la estación DOMO entre enero y diciembre del año 2014, con una tendencia estable en la componente E-W y pequeñas variaciones del orden de 50 milivoltios en la componente N-S, esto debido a modificaciones de tipo electrónico.

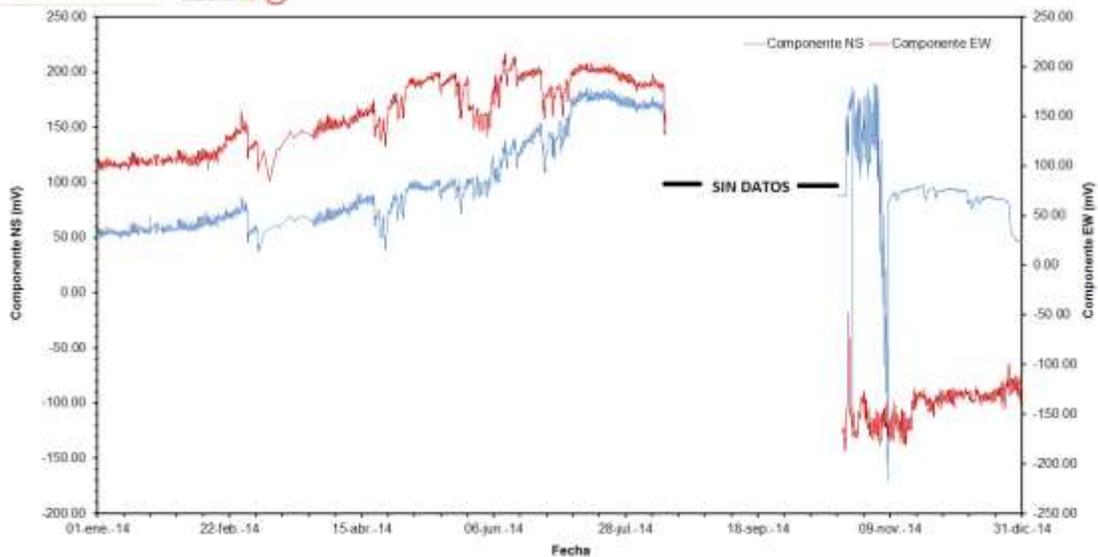


Figura 60. Valores registrados de potencial espontáneo Enero-Diciembre de 2014, en la estación DOMO en el Volcán Cerro Machín.

### 3.4 DEFORMACIÓN

Durante el 2014 operaron correctamente cinco estaciones GPS permanentes y cuatro de los cinco inclinómetros electrónicos instalados en el volcán. Adicionalmente se continuó adelantando la instalación de una red de GPS de campaña, con el fin de complementar la red de estaciones GPS permanente, así como la toma de datos gravimétricos.

La Figura 61 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 62, Figura 63 y Figura 64).



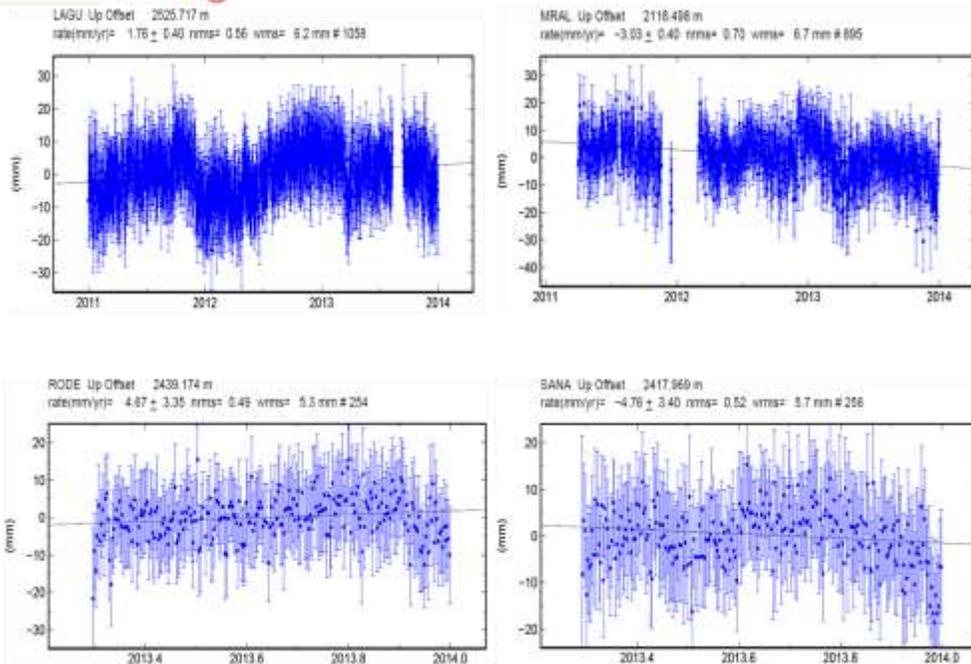


Figura 62. Serie de Tiempo Vertical, GPS. LAGU, MRAL, RODE, SANA a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Cerro Machín.

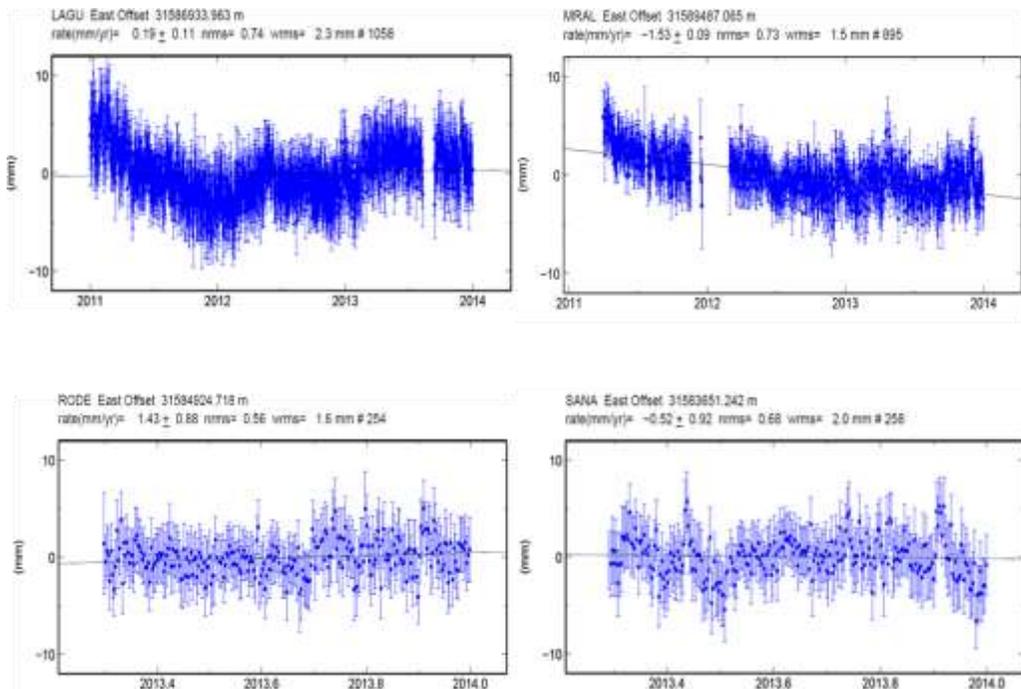


Figura 63. Serie de Tiempo Este, GPS. LAGU, MRAL, RODE, SANA a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Cerro Machín.

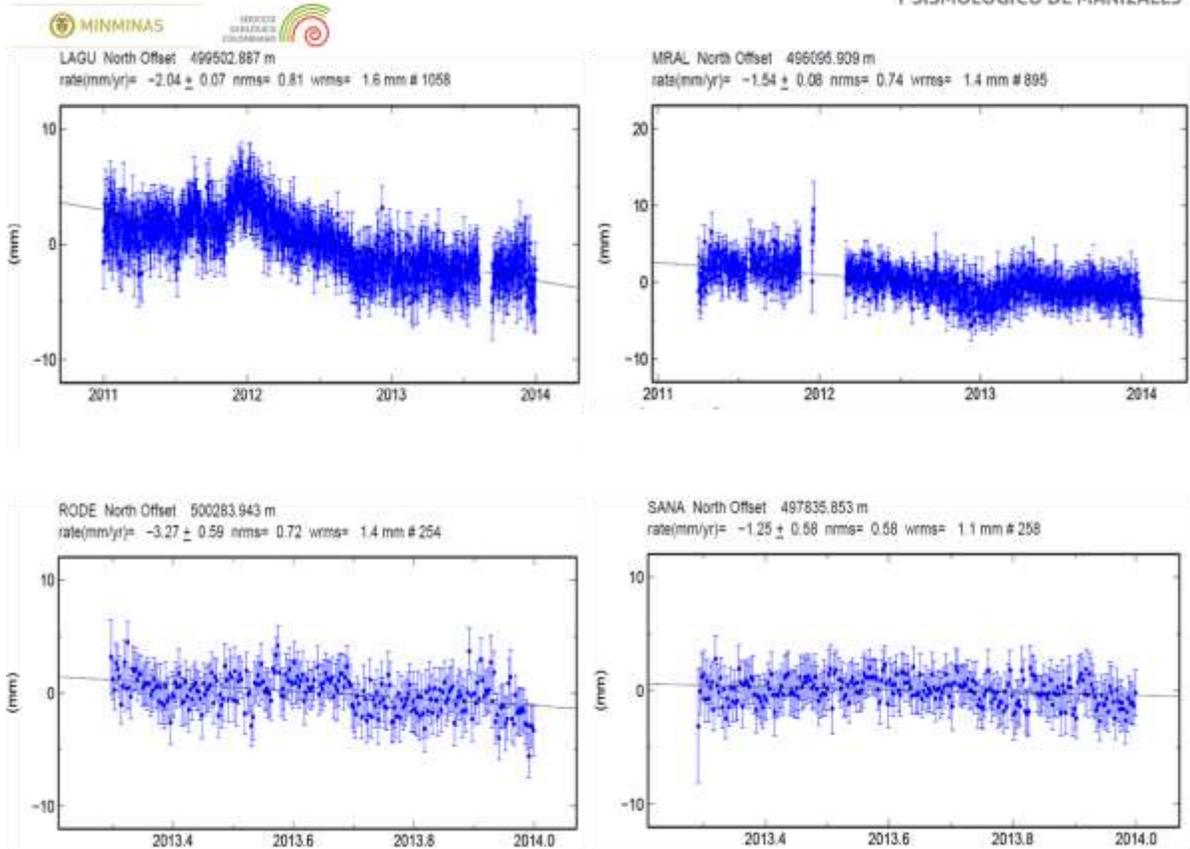


Figura 64. Serie de Tiempo Norte, GPS. LAGU, MRAL, RODE, SANA a partir de procesamiento "Absoluto" con el software Gamit-Globk. Volcán Cerro Machín.

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 de 466  $\mu$ rad y 312  $\mu$ rad para la componente (N y E), respectivamente, hasta Diciembre de 2014.

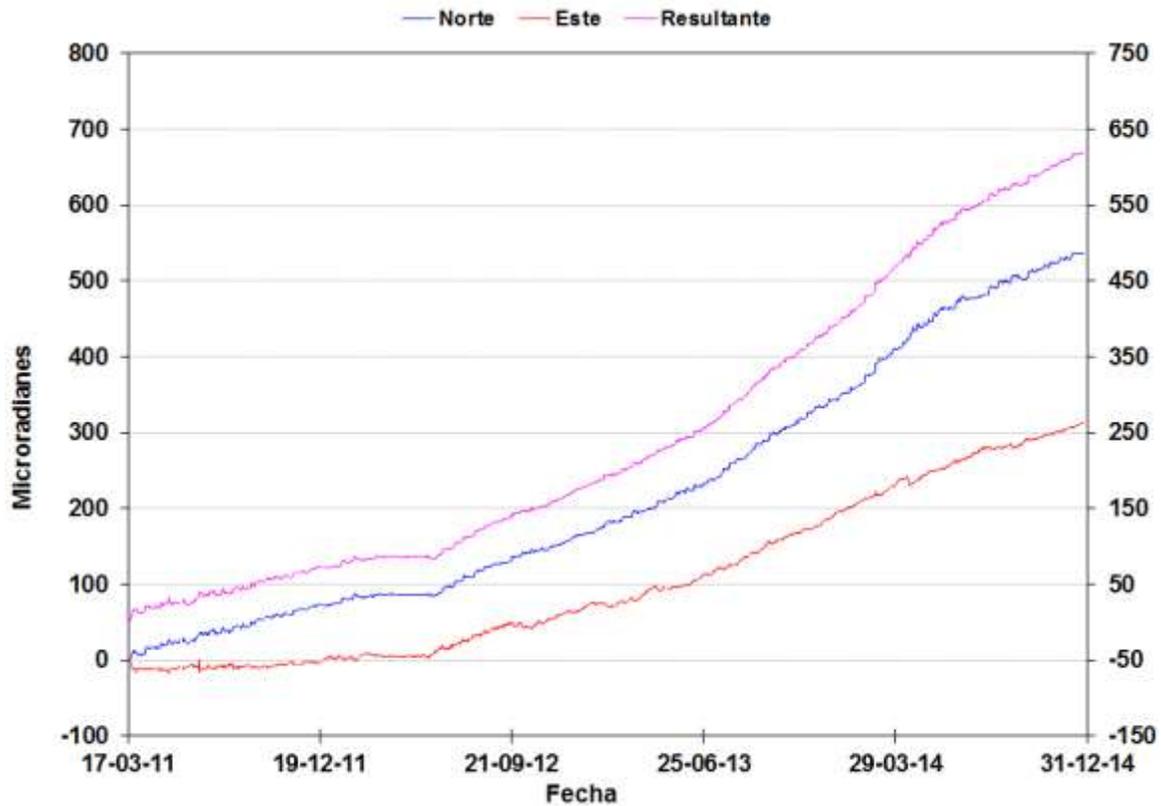


Figura 65. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónicos CIMA hasta Diciembre de 2014. Volcán Cerro Machín.

Durante el año se realizaron mediciones de control topográfico de las bases EDM ANILLO, LA PALMA y SAN LORENZO, las cuales presentaron en términos generales estabilidad y algunos cambios asociados con procesos de tipo local (Figura 66, Figura 67 y Figura 68). Adicionalmente se instalaron nuevos reflectores en las diferentes bases con el fin de monitorear los diferentes procesos deformativos, que se puedan presentar en el futuro.

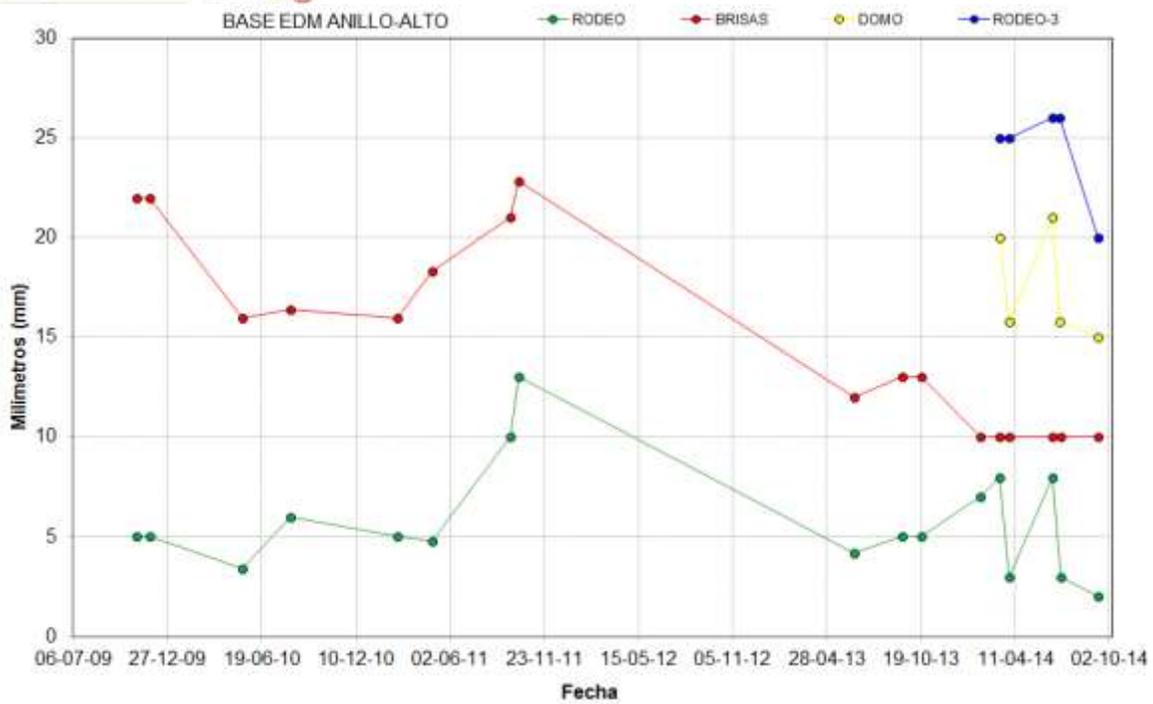


Figura 66. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CIMA hasta Diciembre de 2013.



Figura 67. Ocupaciones de la Base EDM LA PALMA. Durante el 2014. Volcán Cerro Machín.

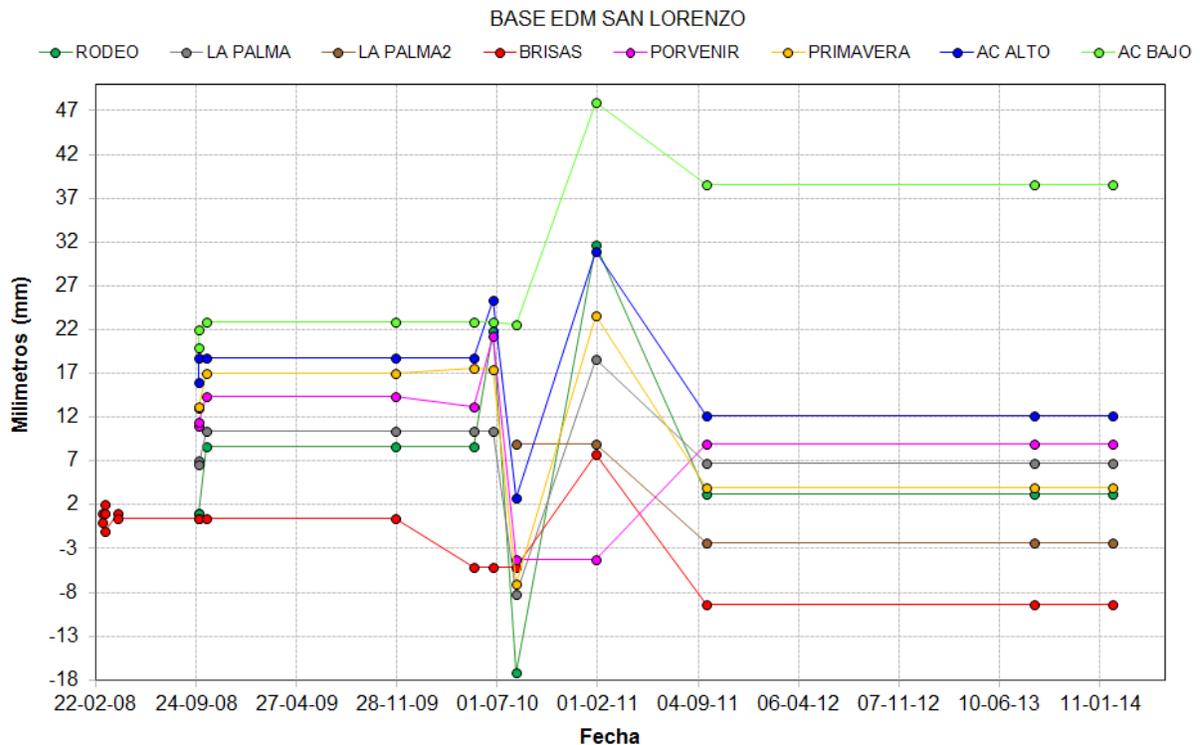


Figura 68. Ocupaciones de la Base EDM SAN LORENZO. Durante el 2014. Volcán Cerro Machín.

### 3.5 GEOQUÍMICA

Durante el año 2014 el grupo de Geoquímica del OVSM realizó muestreos, análisis in situ y en el laboratorio de los nacimientos termales PISCINA y ESTATUAS también se realizó monitoreo permanente de las estaciones de Gas Radón LAGUNA, AGUAS CALIENTES y ALEJANDRIA. La Red de Monitoreo Geoquímico del VCM se presenta en la Figura 69.

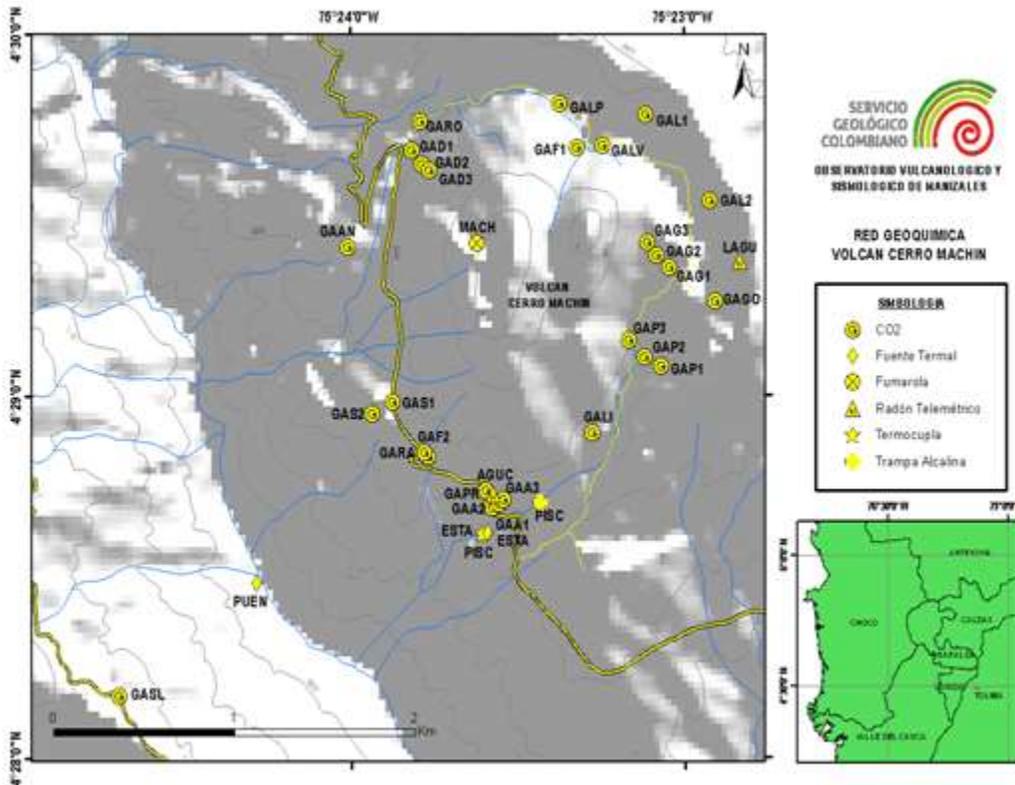
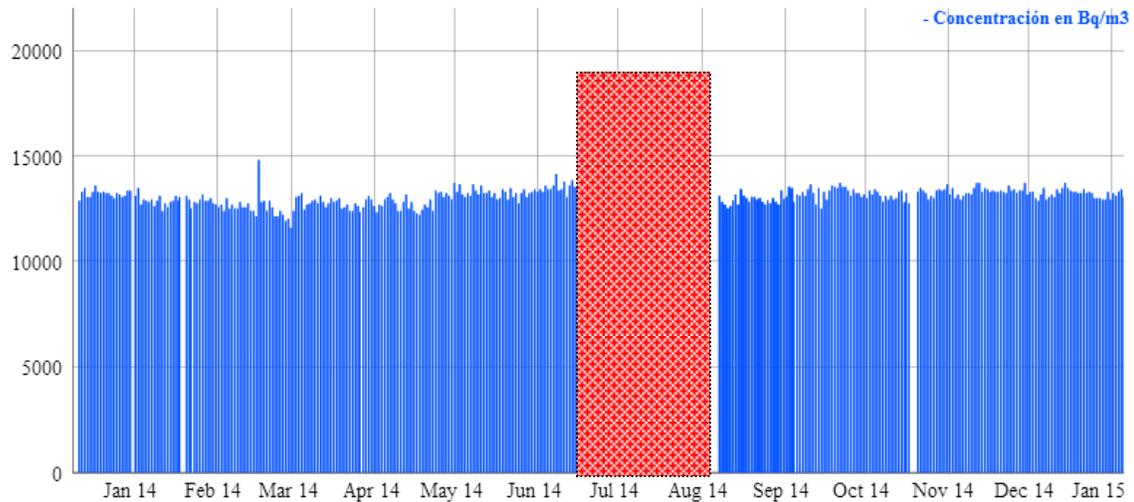


Figura 69. Red Geoquímica. Volcán Cerro Machín.

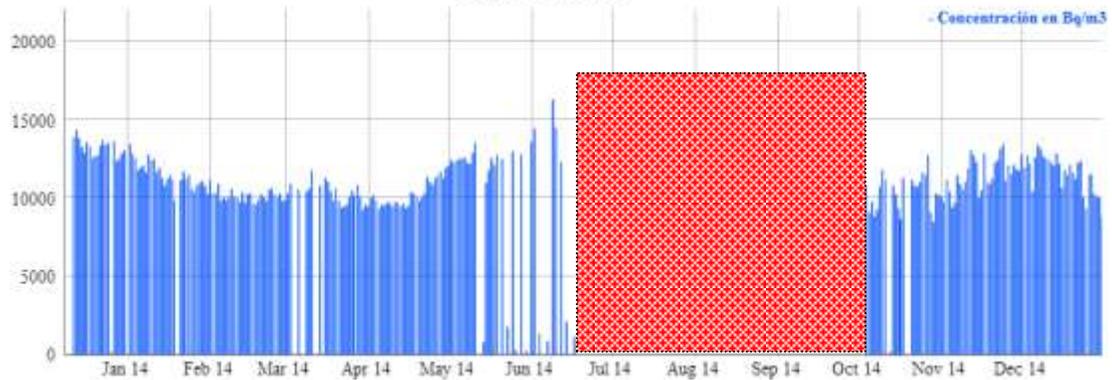
### 3.5.1 Medidas de Gas Radón

Durante el año 2014 las estaciones telemétricas para la medida de la concentración de Radón en suelo en general mostraron estabilidad, se presentaron pequeñas variaciones en la estación AGUAS CALIENTES para los meses de Mayo a Junio. En la Figura 70 se puede apreciar que durante algunos meses las estaciones salieron de funcionamiento (Rectángulos rojos) por tal motivo no se pudo obtener datos, esto afectó principalmente la estación ALEJANDRÍA, ésta estuvo por fuera desde Marzo hasta Octubre de 2014, no obstante en los meses de Octubre a Diciembre se aprecia estabilidad en las medidas.

**Laguna**



**Aguas Calientes**



**Alejandria**

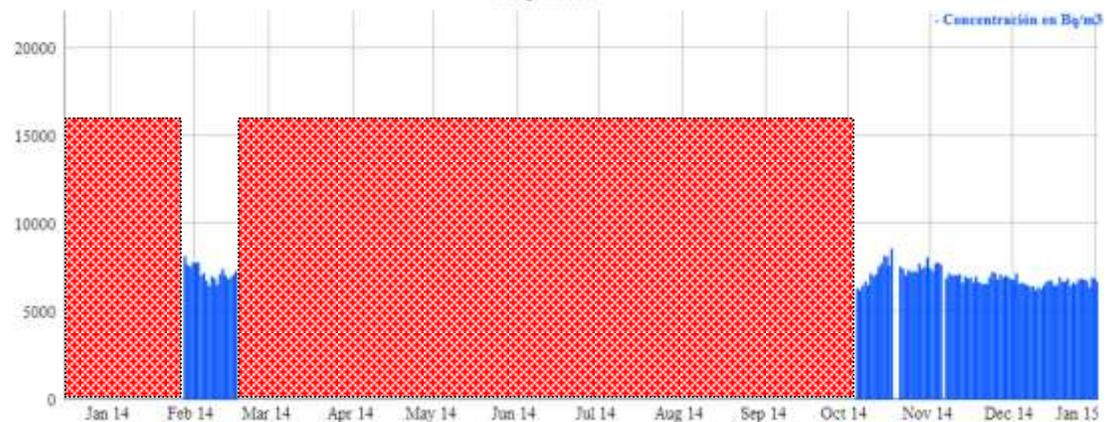


Figura 70. Variación de los niveles de Radón en suelo. Volcán Cerro Machín. 2014. (Los Rectángulos rojos representan pérdida de datos por mal funcionamiento de las estaciones).

### 3.5.2 Fuentes Termales (FT)

En el año 2014 se realizó monitoreo periódico en dos fuentes termales: PISCINA y ESTATUAS. La temperatura en la FT ESTATUAS presentó una marcada disminución durante los meses de Julio a Septiembre, esto pudo ocurrir debido a mezcla con la quebrada Aguas Calientes, ya que por las constantes lluvias se presentó un deslizamiento que provocó caída de rocas y escombros que cambió el cauce de la quebrada, para los meses de Octubre a Diciembre la temperatura de ESTATUAS volvió a sus valores base entre 89 y 90 grados centígrados. La temperatura de la FT PISCINA presentó fluctuaciones entre 2 y 3 grados centígrados, no obstante sus valores se encuentran dentro de sus líneas base para este parámetro. El pH y conductividad eléctrica también mostraron algunas variaciones debido a la mezcla con agua de la quebrada y agua de lluvia, las variaciones que se han presentado en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales del Volcán Cerro Machín en el año 2014 se presentan en las Figura 71, Figura 72 y Figura 73.

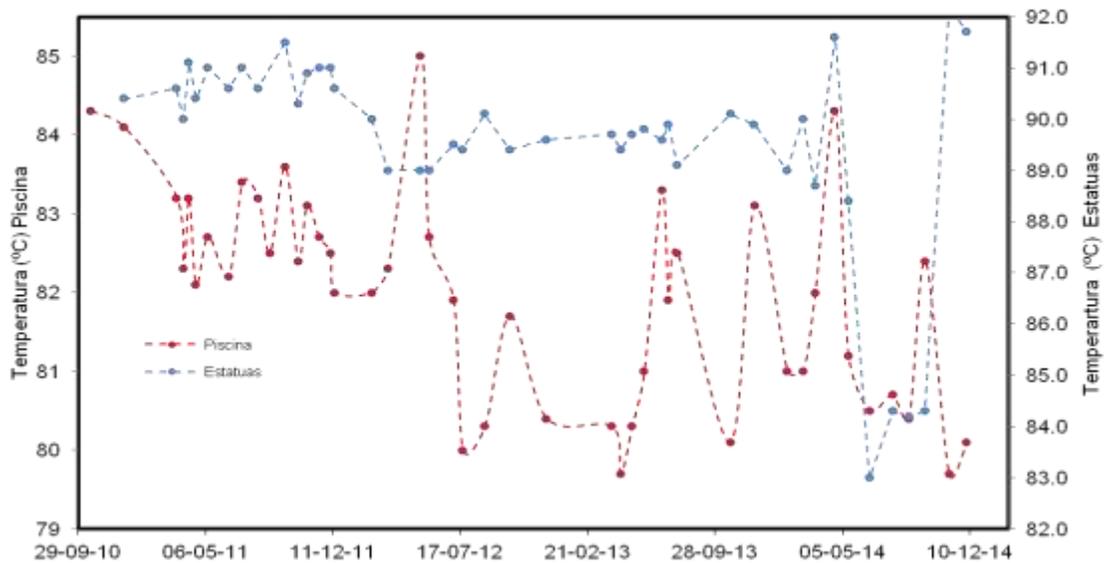


Figura 71. Variación de Temperatura Fuentes Termales PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2014.

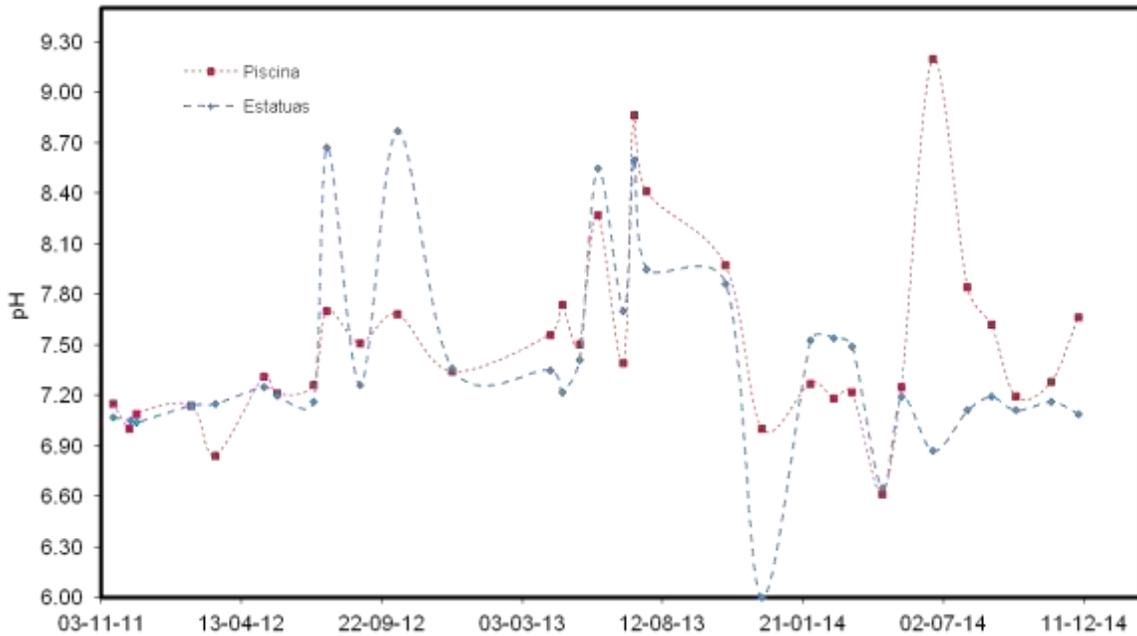


Figura 72. Variación de pH Fuentes Termales PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2014.

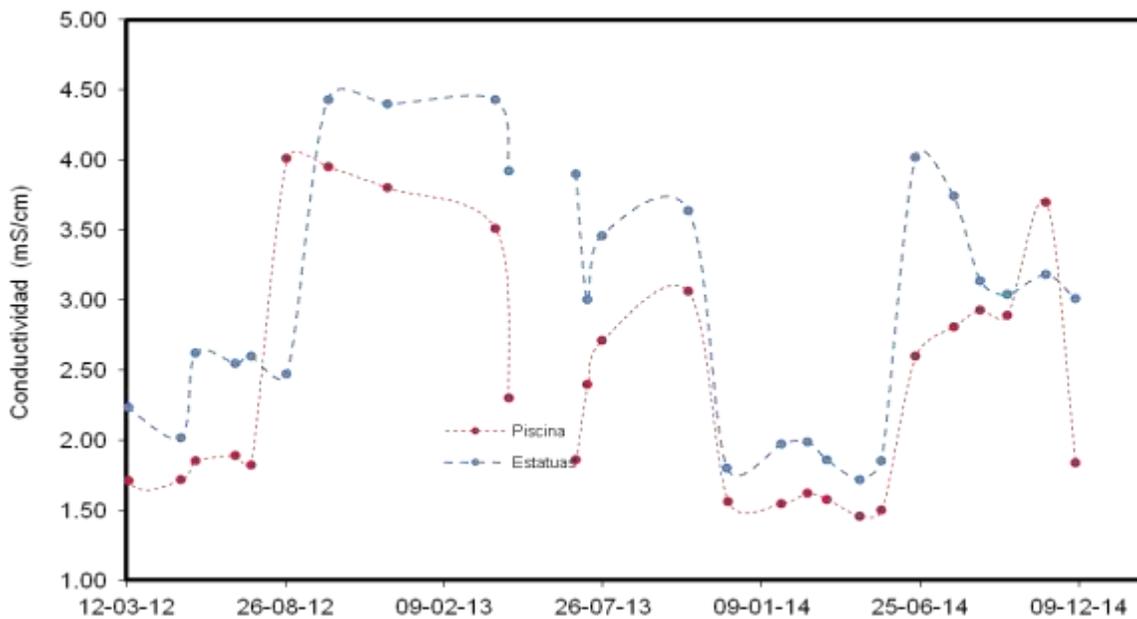


Figura 73. Variación de la Conductividad Eléctrica Fuentes Termales PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2014.

En lo referente a la concentración de aniones mayoritarios, se aprecia que el contenido de cloruros y sulfatos para la fuente termal PISCINA presentó algunas variaciones, en el mes

de Mayo se aprecia un incremento en el contenido de Cloruros y Sulfatos, pero a partir de julio a diciembre las medidas fueron estables. El comportamiento de aniones en la fuente termal PISCINA se aprecia en la Figura 74.

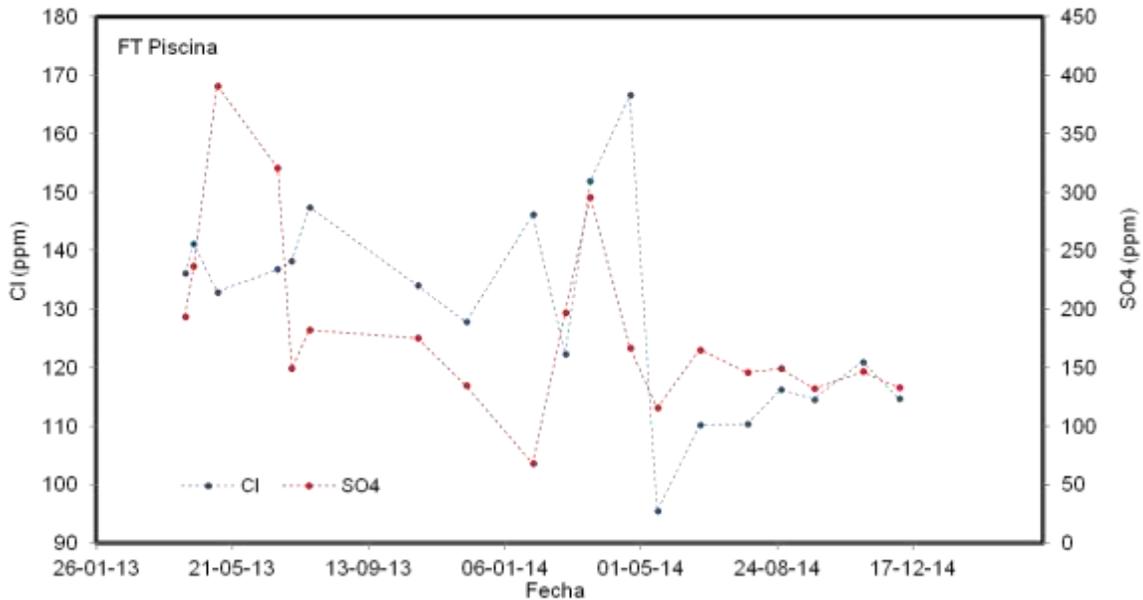


Figura 74. Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuente Termal PISCINA Volcán Cerro Machín. 2014.

Para la FT ESTATUAS se presentó variación en el mes de Febrero en el contenido de aniones, este valor anómalo puede ser debido a infiltración o mezcla con agua meteórica, para el resto de año no se presentaron variaciones significativas. En la Figura 75 se aprecia el comportamiento con el tiempo de la concentración de aniones.

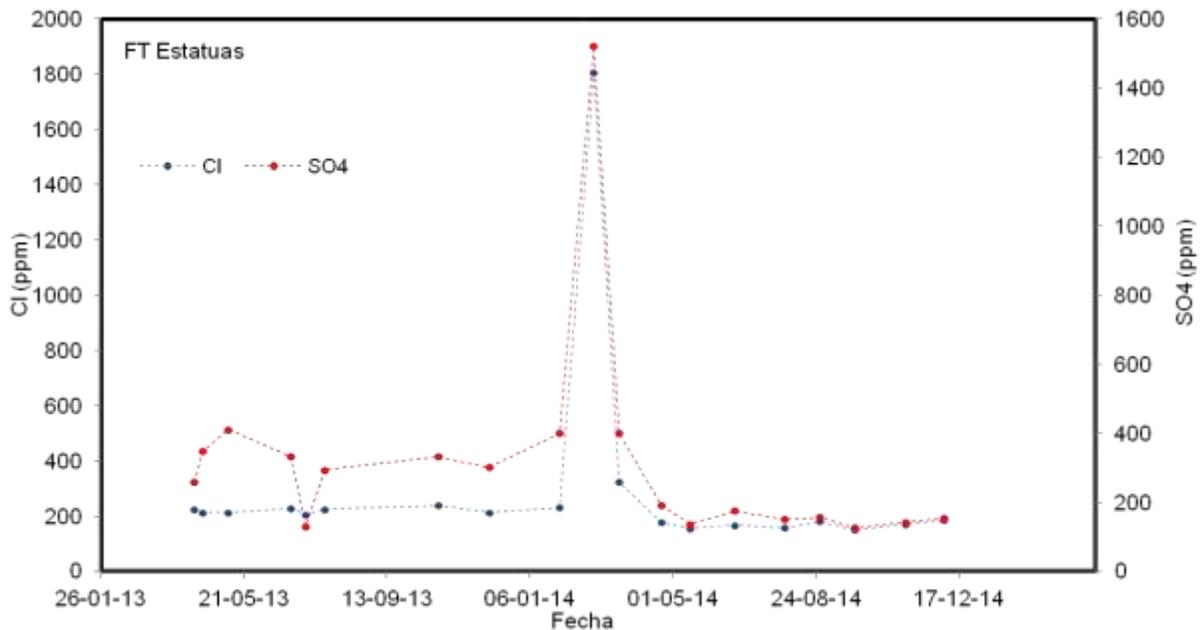


Figura 75. Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuente Termal ESTATUAS Volcán Cerro Machín. 2014.

### 3.5.3 TEMPERATURA

Durante el 2014 las estaciones telemétricas para la medida de temperatura funcionaron permanentemente, la Termocupla CIMA registró variaciones entre 1 y 2 grados centígrados, en general la estación mostró estabilidad. La termocupla ESTATUAS también registró estabilidad durante el 2014 su temperatura fluctuó entre los 84 y 87 grados centígrados. En la Figura 76 se presenta el comportamiento con el tiempo de la temperatura en las estaciones ESTATUAS y CIMA.

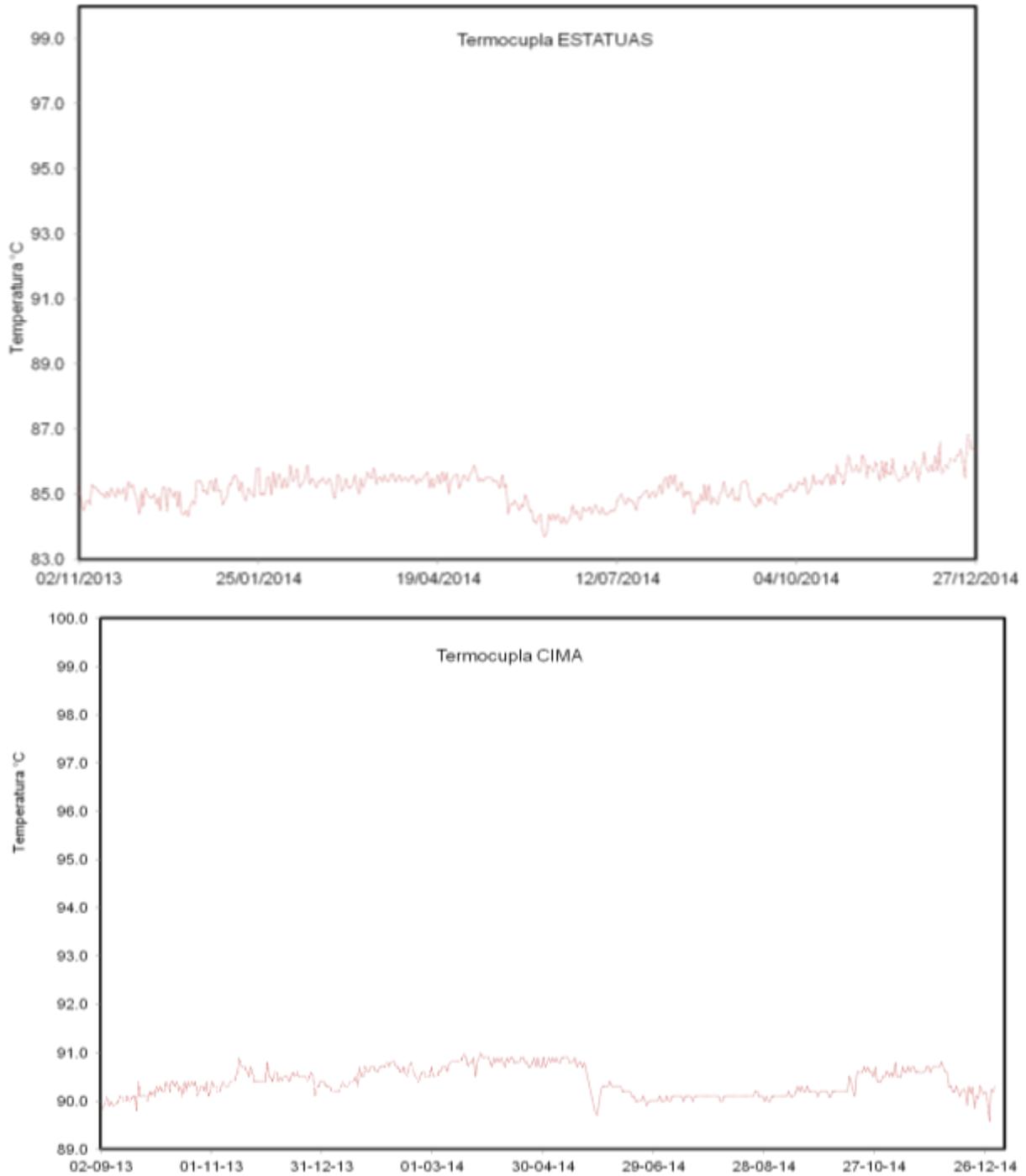


Figura 76. Variación de la temperatura en CIMA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. 2014.

## 4. VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)

### 4.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red telemétrica para este volcán durante el año 2014 fue del **66.8%**. Durante este año solo se realizaron mantenimientos preventivos y correctivos.

Se destaca la migración hacia la banda de 2.4 GHz del enlace Herveo – Piraña y su posterior concentración en el repetidor CERRO BRAVO (Figura 77).



Figura 77. Implementación de Equipos de transmisión 2,4 GHz en la repetidora CERRO BRAVO.

Adicionalmente, se mejoraron los sistemas de suministro de energía eléctrica solar en las estaciones BRASIL, CAJONES y HERVEO.

### 4.2 SISMOLOGÍA

Durante el año 2014, el Volcán Cerro Bravo presentó un nivel bajo de actividad. La red de estaciones sismológicas (Figura 78) instalada en el volcán, registró un total de 56 señales sísmicas asociadas a procesos volcánicos y a pequeños fenómenos de remoción en masa.

#### 4.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT).

Con respecto a la actividad sísmica relacionada con el fracturamiento de roca al interior de la estructura volcánica, se registraron un total de 8 sismos tipo VT, todos ellos de baja magnitud (Figura 79 y Figura 80). El evento de mayor magnitud del año 2014, se presentó el 04 de Septiembre a las 00:45 (hora local), con una magnitud de 1.2  $M_L$  (magnitud local), localizado a ~1.2 km al noroccidente de la cima del volcán, a una profundidad de 3.27 km.

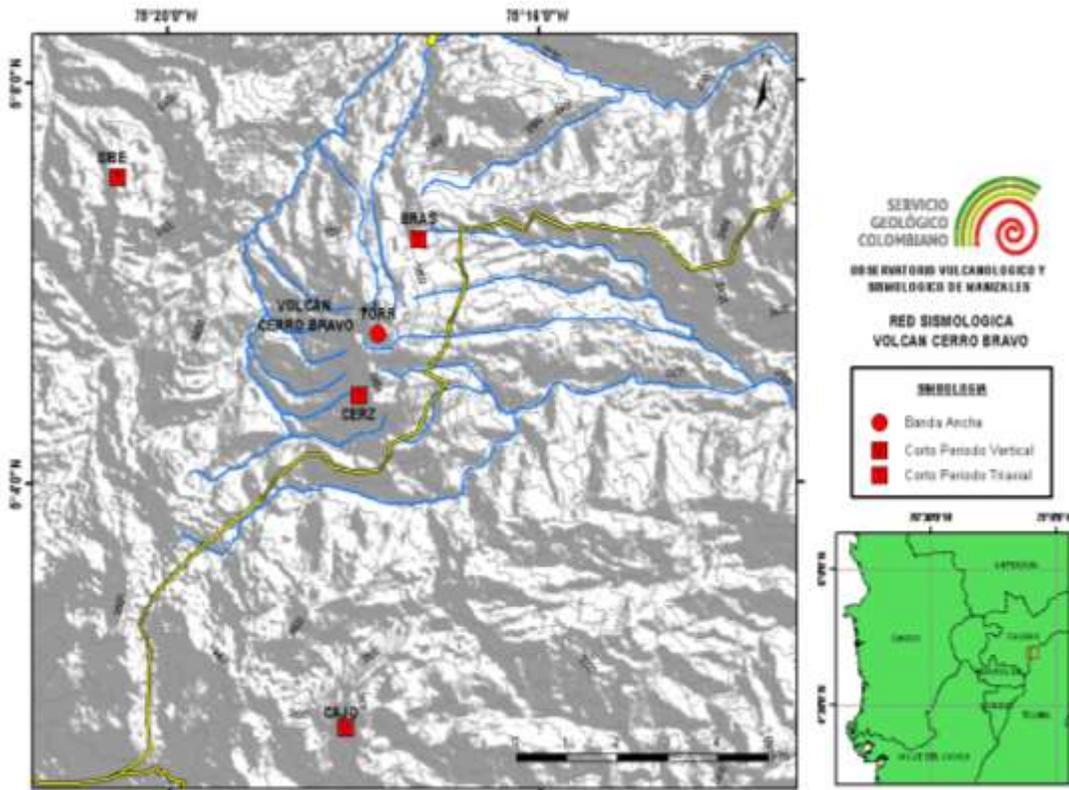


Figura 78. Red vigilancia sísmica, Volcán Cerro Bravo.

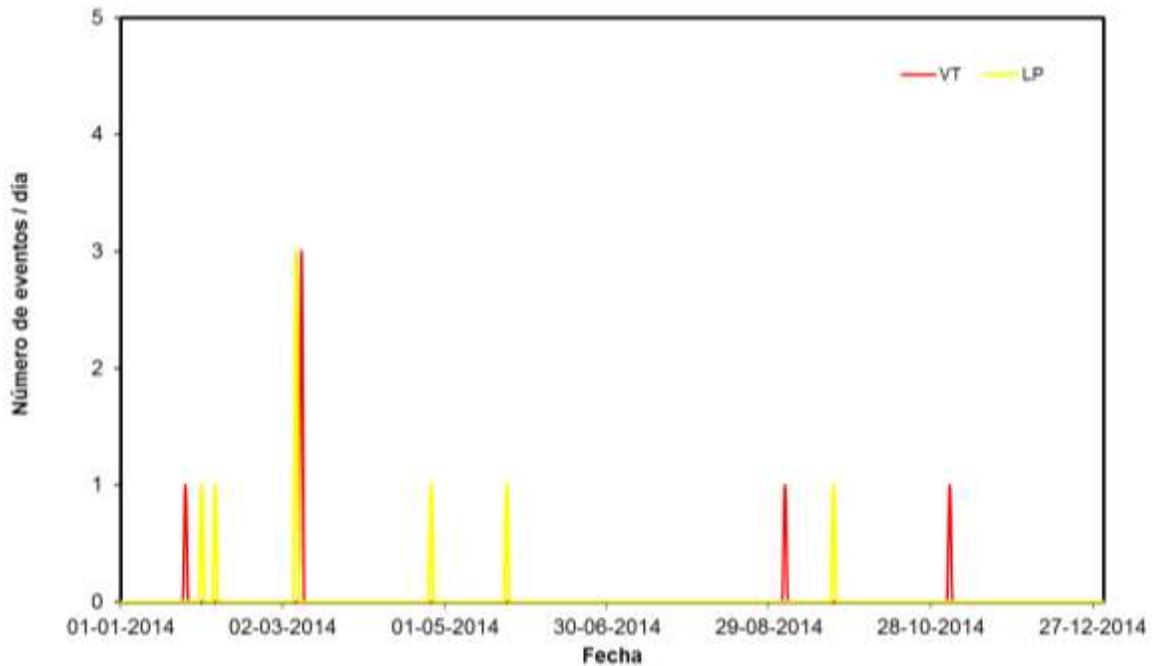


Figura 79. Número diario de eventos sísmicos registrados en el Volcán Cerro Bravo, durante el año 2014.

#### 4.2.2 Sismos de Largo Periodo (LP)

En el VCB se presentaron 8 eventos tipo LP, relacionados con la dinámica de fluidos al interior de las cavidades y conductos volcánicos (Figura 79). Estas señales se caracterizaron por sus bajos niveles energéticos. Destacándose la señal registrada el 22 de Septiembre de 2014 a las 18:18 (hora local) cuya duración alcanzó 62 s.

#### 4.2.3 Actividad Superficial

Se registraron 46 señales sísmicas asociadas a pequeñas avalanchas y desprendimientos de bloques y rocas en el área del volcán, entre las cuales sobresale la ocurrida el 3 de Noviembre, cuya duración fue de 203 s.

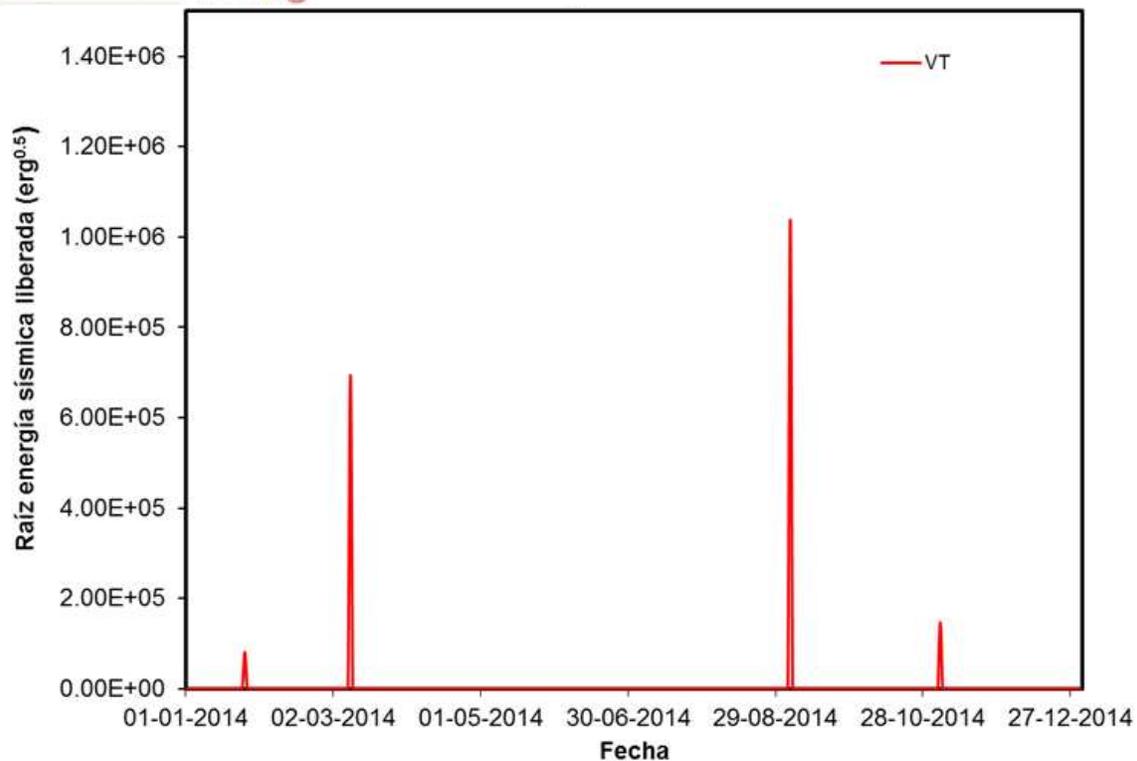


Figura 80. Raíz de la energía sísmica liberada diariamente en el Volcán Cerro Bravo, durante el año 2014.

### 4.3 DEFORMACIÓN

Durante 2014 operó correctamente el inclinómetro electrónico CBRA localizado al suroccidente de la estructura volcánica. La Figura 81 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 +/- 10  $\mu$ rad, aunque durante el periodo evaluado registró un descenso y posteriormente un ascenso importante en sus componentes, los cuales podrían obedecer con problemas de tipo electrónico ó a procesos de tipo local (Figura 82). Durante el año se realizó la ocupación de la base EDM el DOCE, el cual no mostró variaciones importantes en las medidas realizadas (Figura 83).

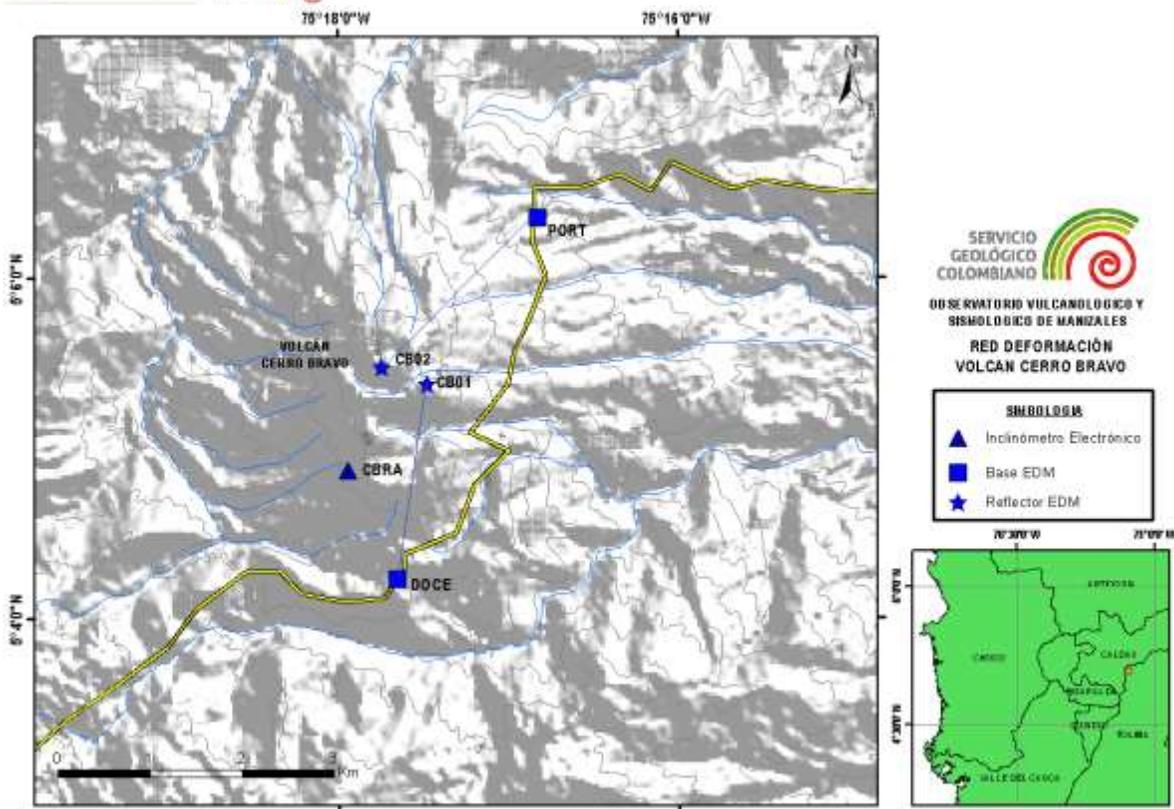


Figura 81. Red de deformación del Volcán Cerro Bravo.

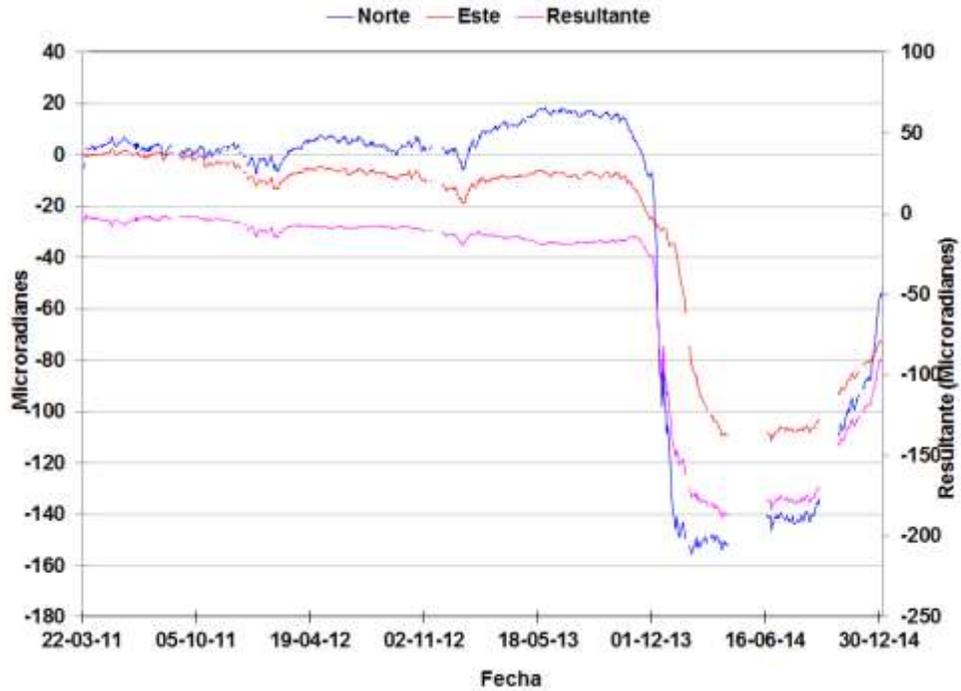


Figura 82. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CBRA hasta Diciembre de 2014. Volcán Cerro Bravo.

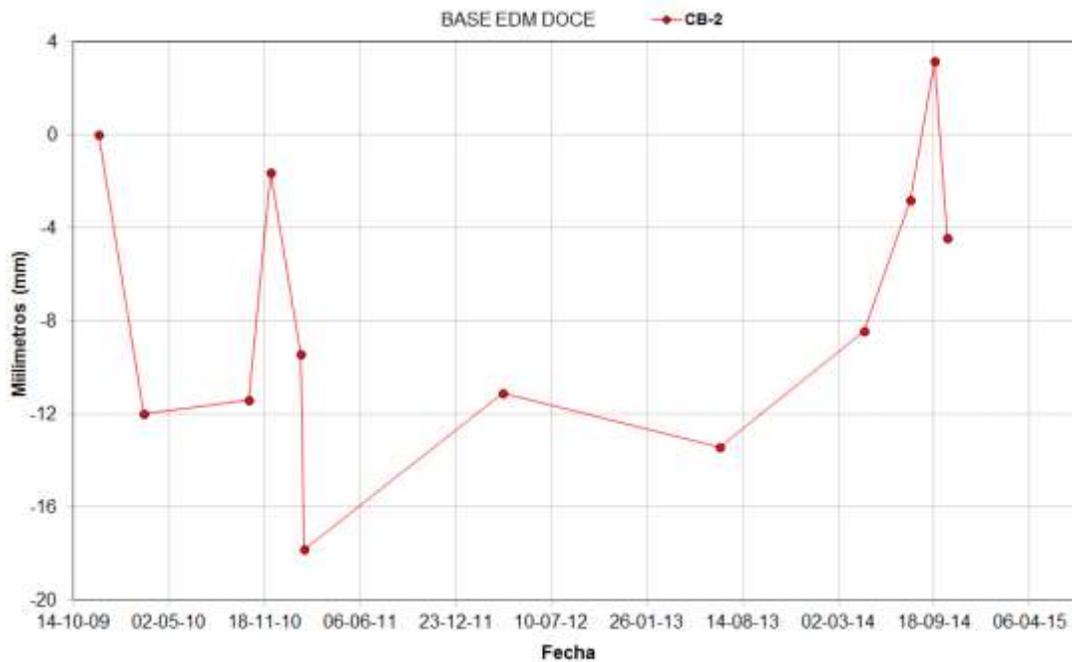


Figura 83. Ocupaciones de la Base EDM EL DOCE, durante el 2014. Volcán Cerro Bravo.

#### 4.4 GEOQUÍMICA

El monitoreo geoquímico del VCB para el año 2014 consistió en la medición de la concentración de Gas radón en el suelo. En la Figura 84 se aprecia el mapa de las estaciones de radón ubicadas en el VCB.

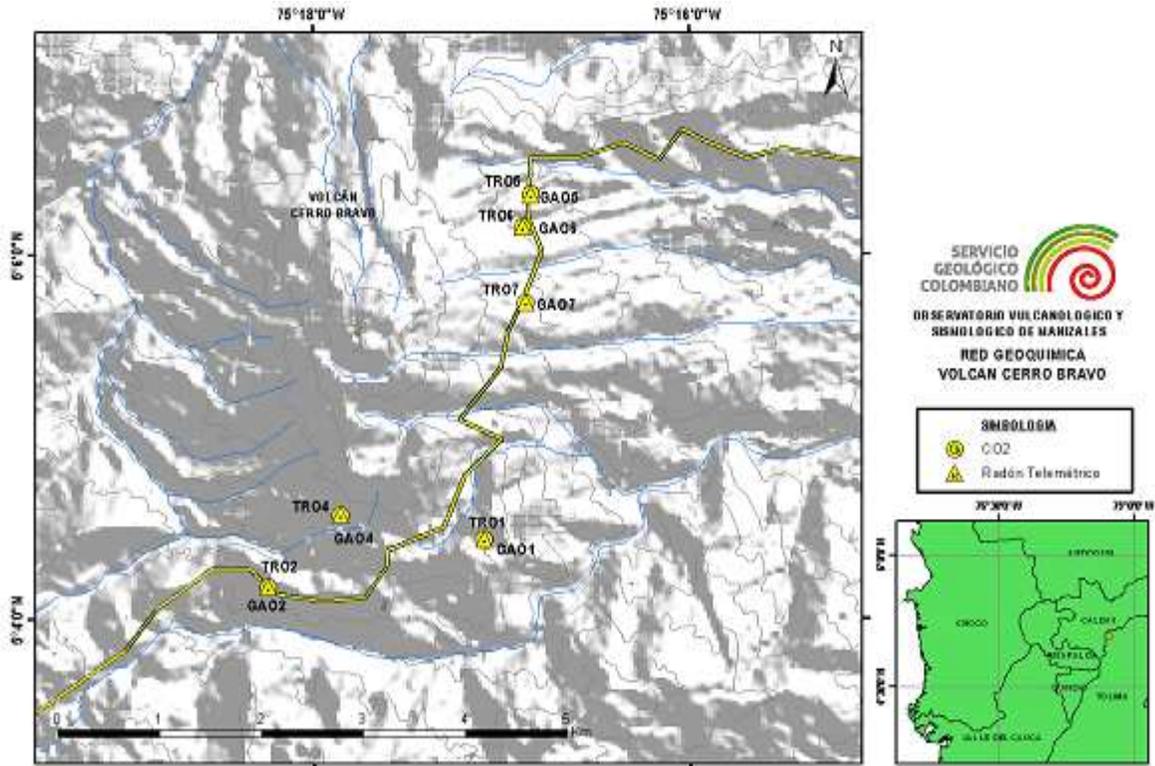


Figura 84. Red Geoquímica. Volcán Cerro Bravo.

##### 4.4.1 Medidas de Gas Radón

Durante el año 2014 los niveles de Gas Radón no presentaron variaciones importantes, se aprecian algunos incrementos en los meses de Septiembre y Octubre, no obstante no tienen ninguna relación con la actividad volcánica. En general las estaciones se mantuvieron dentro de sus valores base (Figura 85).

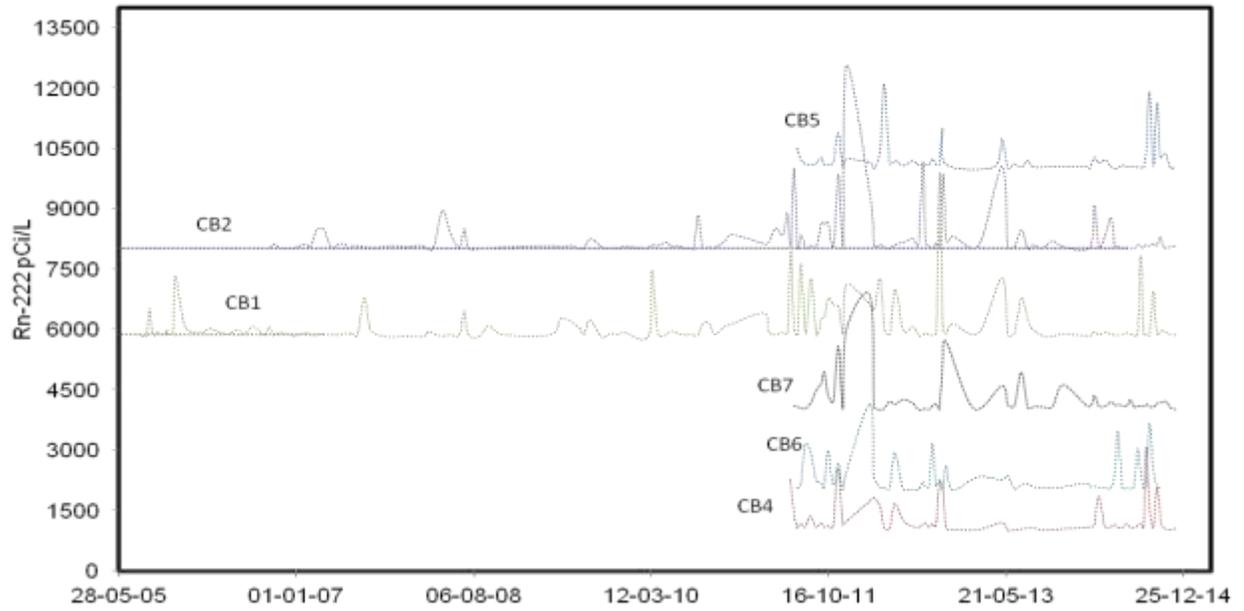


Figura 85. Variación de los Niveles de Radón en suelo. Volcán Cerro Bravo. 2014.

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

### 5.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación de la red telemétrica para este volcán durante el año 2014 fue del **66%**.

Durante este año se destaca la recuperación y digitalización de la estación de corto periodo PARAMILLO, la cual también se mejoró mediante el reemplazo del sensor de corto periodo por uno de banda ancha (Figura 86). El porcentaje de funcionamiento del 66% anual de debe a que la recuperación de la estación se realizó en el mes de mayo, fecha a partir de la cual funcionó de manera constante al 100%.

La red de monitoreo se amplió mediante la instalación de la nueva estación de banda ancha EL AGUILA en el sector norte de la estructura volcánica (Figura 87).



Figura 86. Estación de banda ancha PARAMILLO.



Figura 87. Estación de banda ancha EL AGUILA.

## 5.2 SISMOLOGÍA

El Volcán Paramillo de Santa Rosa (VPSR) presentó un incremento en su actividad sísmica, durante el año 2014, en comparación con años anteriores. Esta actividad estuvo asociada a fracturamiento de roca al interior del edificio volcánico.

### 5.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT)

La red de estaciones sismológicas (Figura 88), registró 1023 eventos sísmicos tipo VT en el VPSR (Figura 89 y Figura 90). La mayor actividad sísmica estuvo concentrada en los meses de Febrero y Marzo de 2014, cuando se registró el mayor incremento de sismicidad en los últimos años que ha tenido esta estructura volcánica; desde el 10 de Febrero y hasta el 11 de Marzo se contabilizaron 692 eventos, con un pico máximo en la tasa de sismicidad diaria de 132 eventos, alcanzado el 16 de Febrero. Desde el punto de vista energético este incremento de actividad representa las mayores liberaciones de energía sísmica que ha tenido el Paramillo desde que se inició el monitoreo, ya que se registraron 6 eventos con magnitudes locales  $\geq 2.0$  (Tabla 12), siendo el sismo ocurrido el 16 de Febrero a las 07:17 (hora local), el mayor de ellos con una magnitud de 2.8  $M_L$ , el cual se localizó a unos  $\sim 6.4$  km al nororiente de la cima del Paramillo, a una profundidad de 8.05 km.

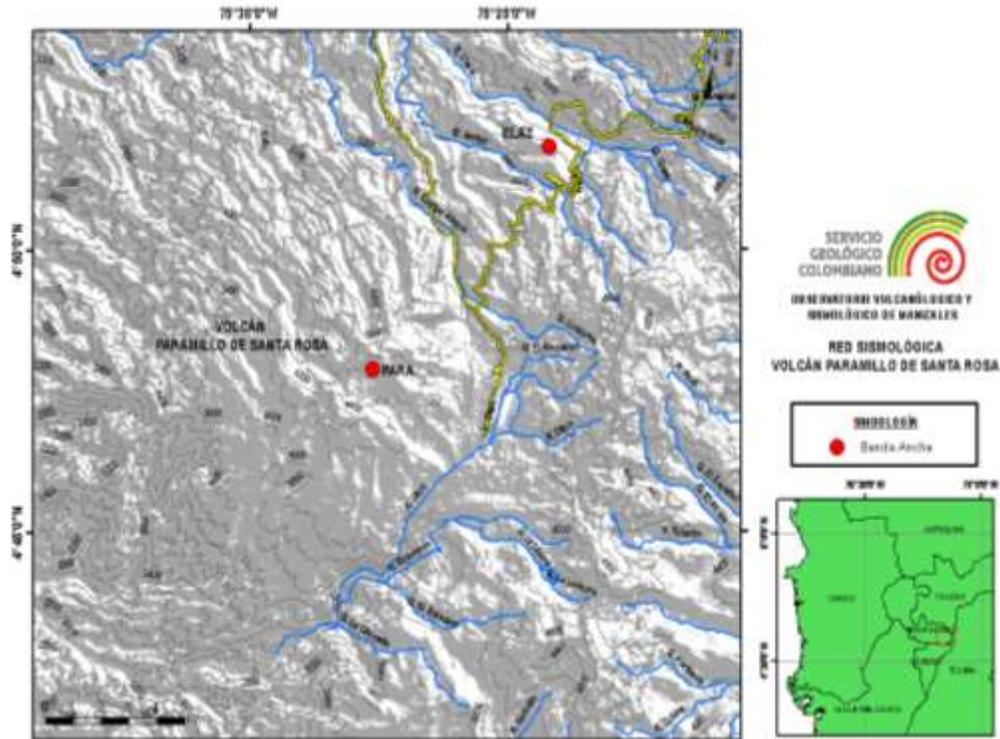


Figura 88. Red Sismológica. Volcán Paramillo de Santa Rosa.

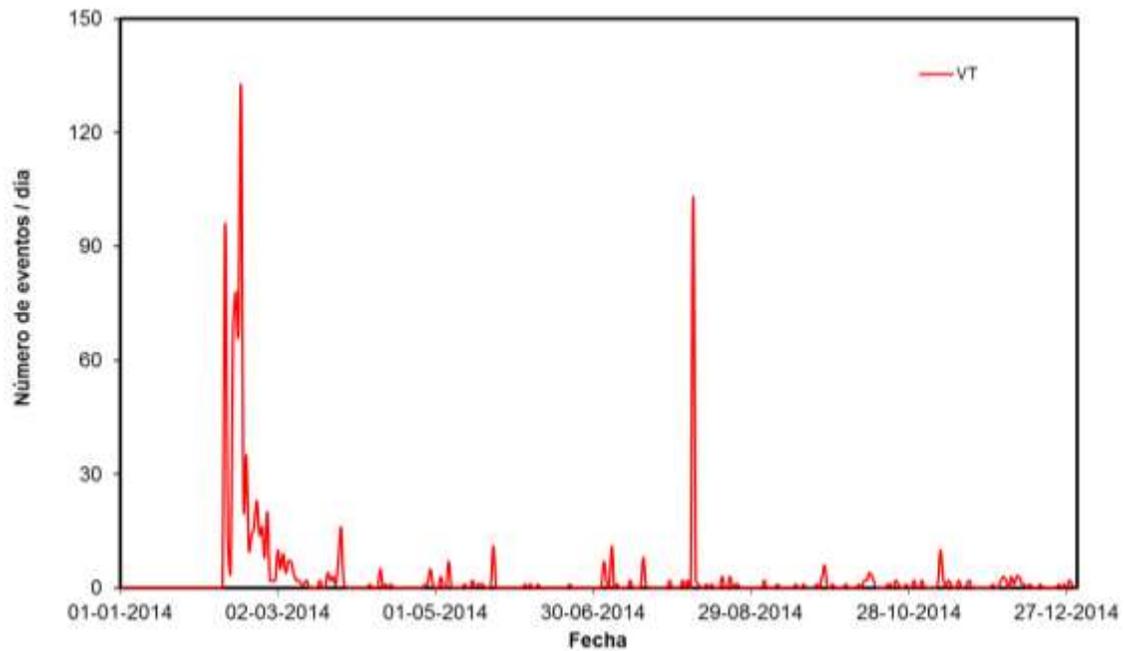


Figura 89. Número de eventos sísmicos diarios tipo VT, registrados durante el 2014 en el VPSR.

FECHA	HORA	MAGNITUD (ML)	REPORTADO COMO SENTIDO
14/02/2014	21:32	2.1	No
14/02/2014	22:19	2.5	No
15/02/2014	23:32	2.3	No
15/02/2014	23:43	2.3	No
16/02/2014	07:16	2.8	No
18/02/2014	13:35	2.5	No

Tabla 12. Eventos sísmicos con magnitudes locales  $\geq 2.0$ , registrados en el VPSR, durante el año 2014.

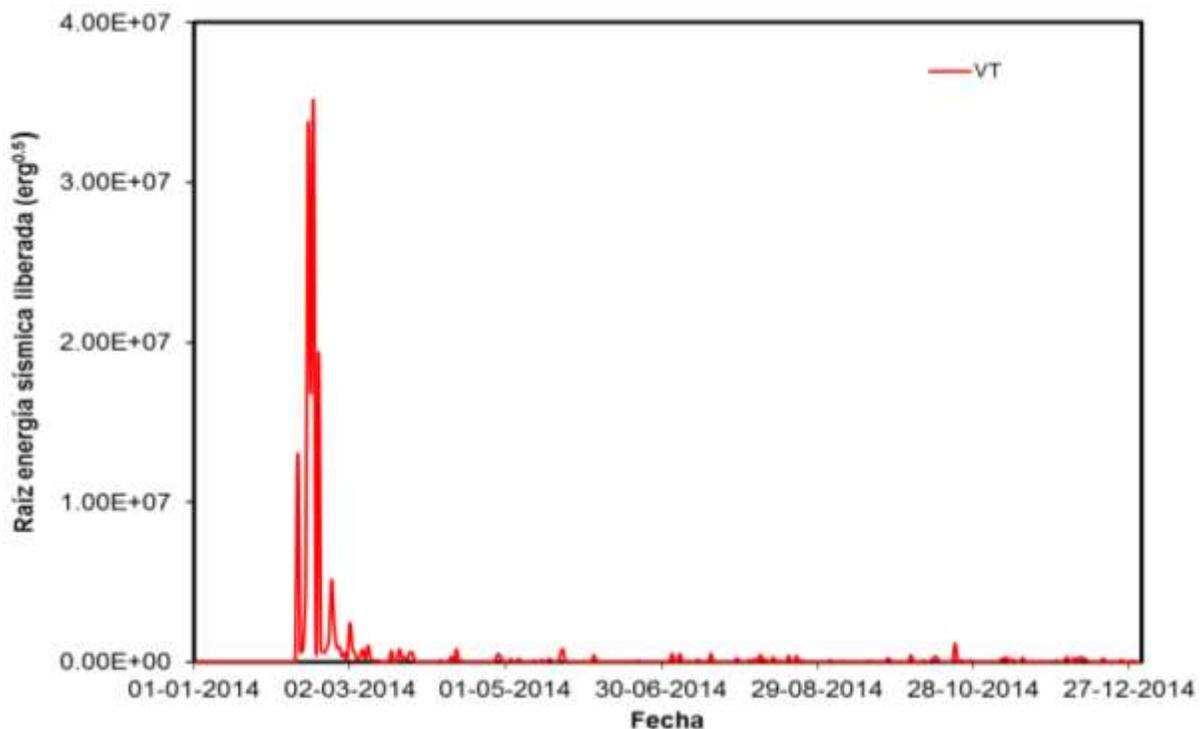


Figura 90. Raíz de la energía sísmica diaria liberada por eventos sísmicos tipo VT registrados en el VPSR, durante el año 2014.

Esta sismicidad se localizó alrededor de la estructura volcánica, principalmente al Norte, distribuida en dos fuentes sísmicas, una a 3 km y otra a 7 km de distancia desde la cima del Paramillo, a profundidades entre 2 y 11 km (Figura 91).

Un segundo incremento importante en la actividad sísmica del VPSR, se presentó el 7 de Agosto de 2014, con el registro de 103 eventos tipo VT, el cual se caracterizó por su bajo nivel energético (Figura 90). El sismo de mayor magnitud de este incremento corresponde al registrado a las 23:38 (hora local), con una magnitud local de 0.6  $M_L$ ; la mayoría de estos eventos debido a su baja magnitud no fueron localizables.

A parte de estos dos incrementos de sismicidad antes mencionados, a lo largo del año 2014 el volcán registró sismicidad dispersa en el tiempo, determinando para el volcán una tasa diaria de sismicidad de 3 eventos/día.

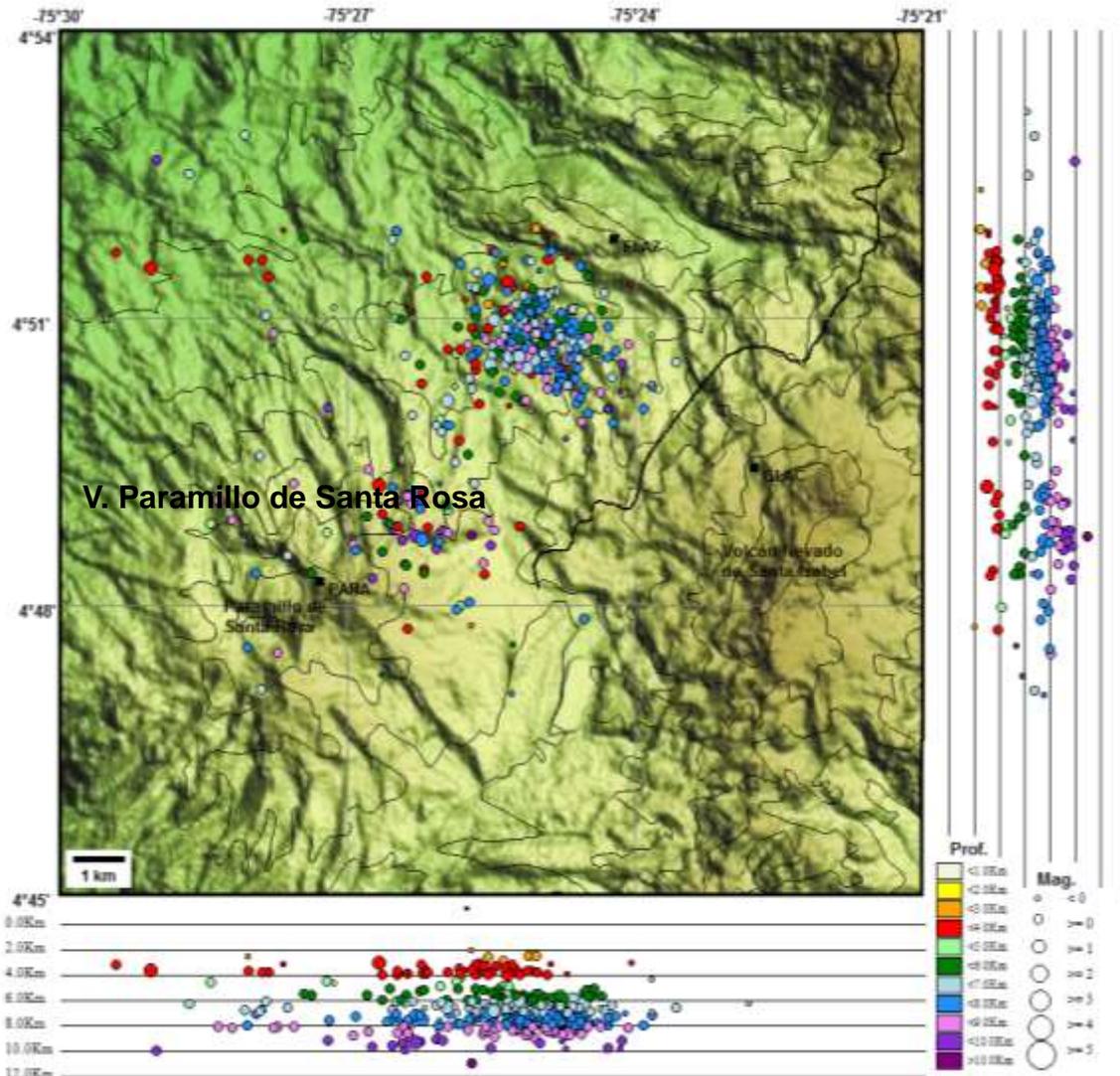


Figura 91. Mapa de localización hipocentral de los sismos volcánico-tectónicos (círculos de colores) registrados en el área del VPSR, durante el año 2014. Los cuadrados negros representan las estaciones sismológicas.

### 5.3 GEOQUÍMICA

Durante el año 2014 se realizaron 4 muestreos y medidas in situ de parámetros Físicoquímicos de los manantiales termales en el VPSR aledaños a los balnearios SANTA ROSA, SANTA ELENA y SAN VICENTE. En la Figura 92 se aprecia el comportamiento con el tiempo del pH, Temperatura y Conductividad de los manantiales del Balneario

SANTA ROSA, durante las medidas realizadas se observaron algunas variaciones en la conductividad, debidas muy posiblemente a mezclas con agua meteórica, igualmente se observaron variaciones entre 1 y 3 grados en la temperatura del agua.

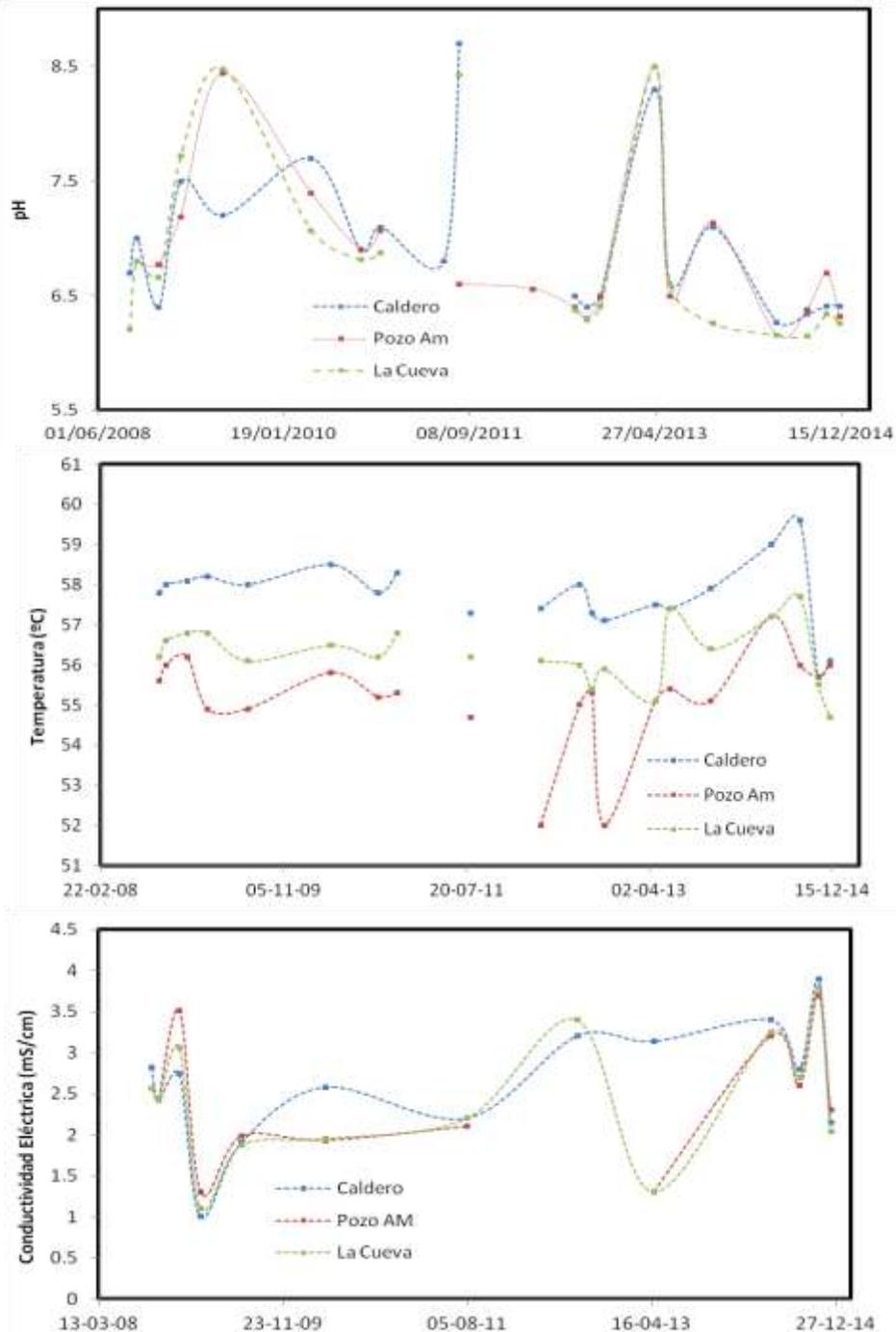


Figura 92. Variación de Parámetros Físicoquímicos de los manantiales termales Balneario SANTA ROSA. Volcán Paramillo de Santa Rosa. 2014.

Los manantiales termales del Balneario SANTA ELENA no presentaron variaciones considerables en las medidas de los parámetros fisicoquímicos, este comportamiento se puede apreciar en la Figura 93.

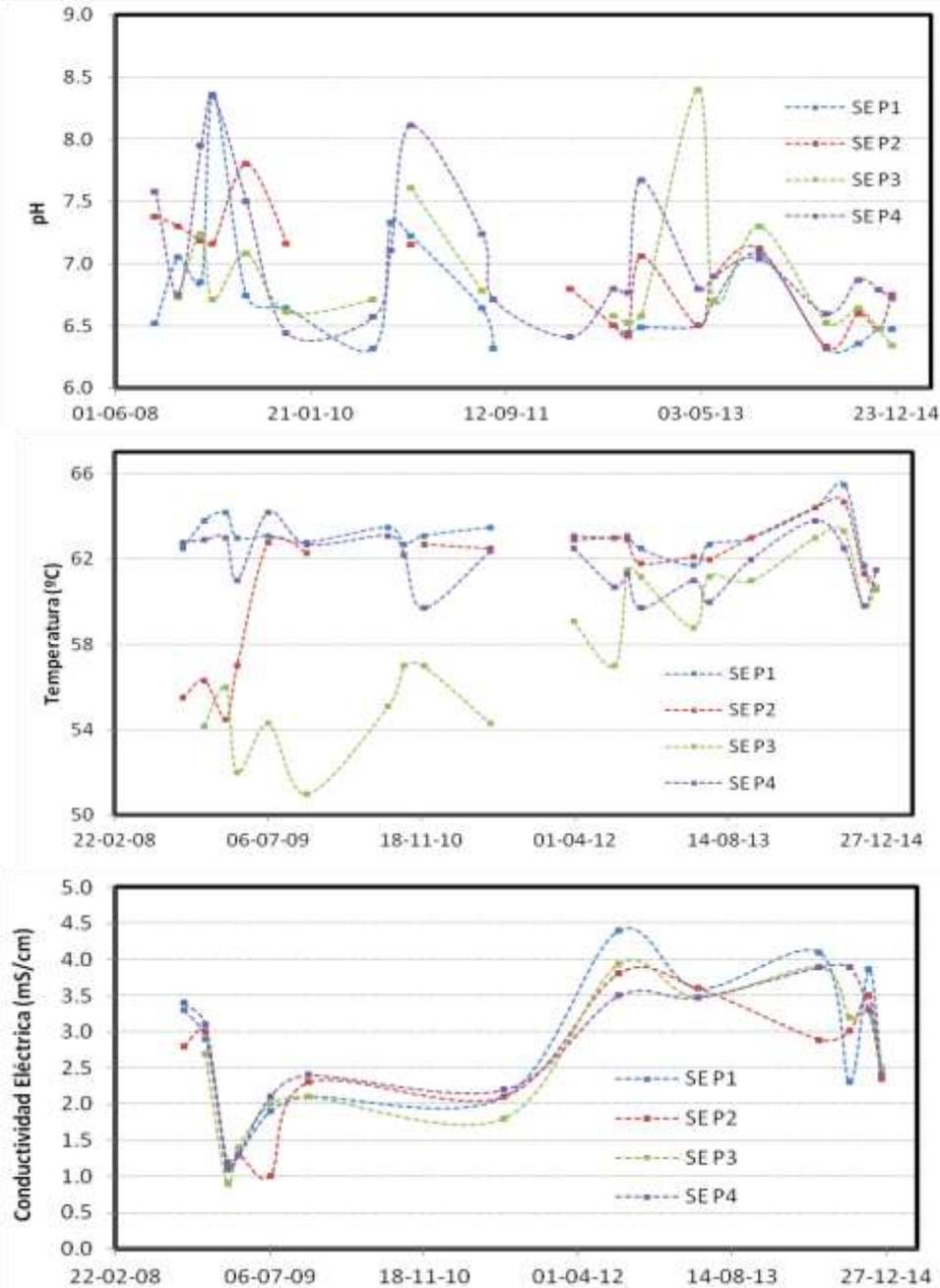


Figura 93. Variación de Parámetros Fisicoquímicos de los manantiales termales Balneario SANTA ELENA. Volcán Paramillo de Santa Rosa. 2014.

En la Figura 94 se presentan los datos de la variación con el tiempo de los parámetros fisicoquímicos de los manantiales termales aledaños al Balneario SAN VICENTE, se observa que se presentaron pequeñas variaciones en la conductividad eléctrica respecto a los meses anteriores.

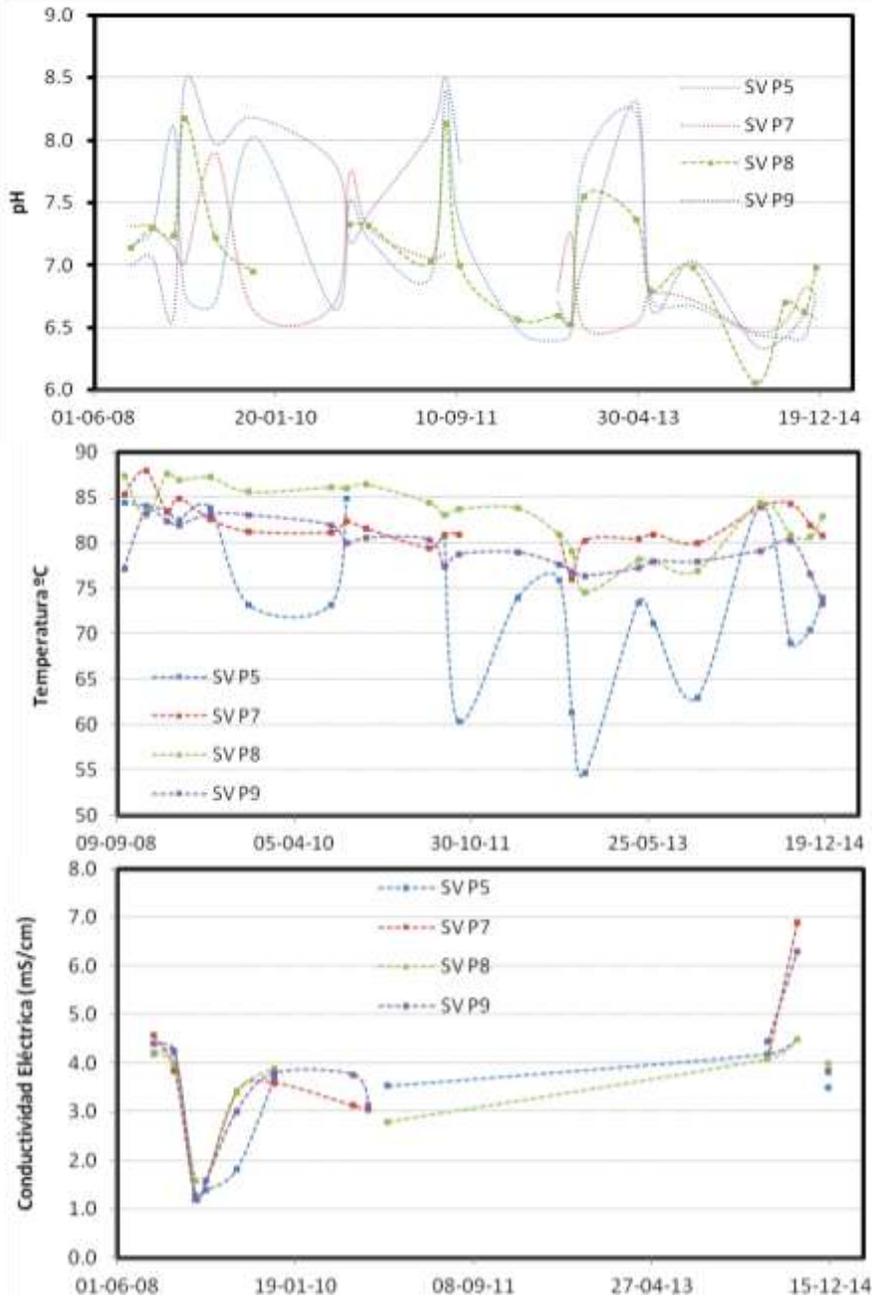


Figura 94. Variación de Parámetros Fisicoquímicos de los manantiales termales Balneario SAN VICENTE. Volcán Paramillo de Santa Rosa. 2014.

## 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 2014 fue del **89.7%**.

Durante este año se mejoró el emplazamiento del sensor de banda ancha de la estación GLACIAR con el fin de mejorar la calidad de los datos recibidos, ya que a mayor profundidad se minimiza el efecto del viento (Figura 95).



Figura 95. Profundización del sensor de banda ancha en la estación GLACIAR.

### 6.2 SISMOLOGÍA

Durante el año 2014 el Volcán Nevado de Santa Isabel (VNSI) presentó un incremento en la actividad sísmica, con respecto a los años anteriores. Esta sismicidad estuvo asociada a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico.

#### 6.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT)

La red de estaciones sismológicas (Figura 96), registró un total de 3168 eventos sísmicos tipo VT (Figura 97 y Figura 98). A lo largo de todo el año se registró sismicidad en el volcán, sin embargo el periodo de mayor actividad se presentó entre el 2 y el 3 de Noviembre, cuando se registraron 736 y 880 eventos respectivamente. Este incremento en el número de sismos también coincide con los picos de mayor liberación de energía sísmica, el día 3 de Noviembre se registraron 3 eventos con magnitudes locales mayores o iguales a 2.0  $M_L$ , incluyendo el sismo de mayor magnitud del año 2014, ocurrido a las 01:06 (hora local), con una magnitud de 2.6  $M_L$ , localizado a unos 3.5 km al suroccidente del volcán, a 3.95 km de profundidad y reportado como sentido por habitantes de la zona

de influencia del volcán (Tabla 13). Los sismos se concentraron en una fuente a ~3.7 km al suroccidente de la estructura volcánica, a profundidades entre 2.7 y 7.7 km (Figura 99).

El segundo incremento de actividad con respecto al número de sismos registrados, se presentó el 5 de Noviembre, cuando se contabilizaron 162 eventos, localizados a ~3.3 km al suroccidente del volcán, a profundidades entre 2.6 y 6.6 km. Energéticamente este incremento no representa un aumento importante, debido a la baja magnitud de los sismos, ya que el magnitud máxima registrada fue de 0.9  $M_L$ .

El tercer incremento de actividad se presentó el 3 de Agosto con el registro de 152 sismos, localizados a ~3.4 km al oriente del volcán, a profundidades que variaron entre 3.7 y 6.8 km. El evento de mayor magnitud fue de 1.5  $M_L$ , y no representa un pico importante en la curva de energía sísmica liberada.

Desde el punto de vista energético, se presentaron tres picos importantes, los días 3 de Noviembre, 10 y 16 de Agosto, los cuales están relacionados con la ocurrencia de sismos con magnitudes mayores o iguales a 2.0  $M_L$ . Adicionalmente, entre finales de Septiembre y mediados de Octubre, se registró un leve aumento en la liberación de energía sísmica, asociado a la ocurrencia de sismos VT a unos 6.4 km de distancia al suroccidente del volcán, a profundidades entre 1.8 y 11 km.

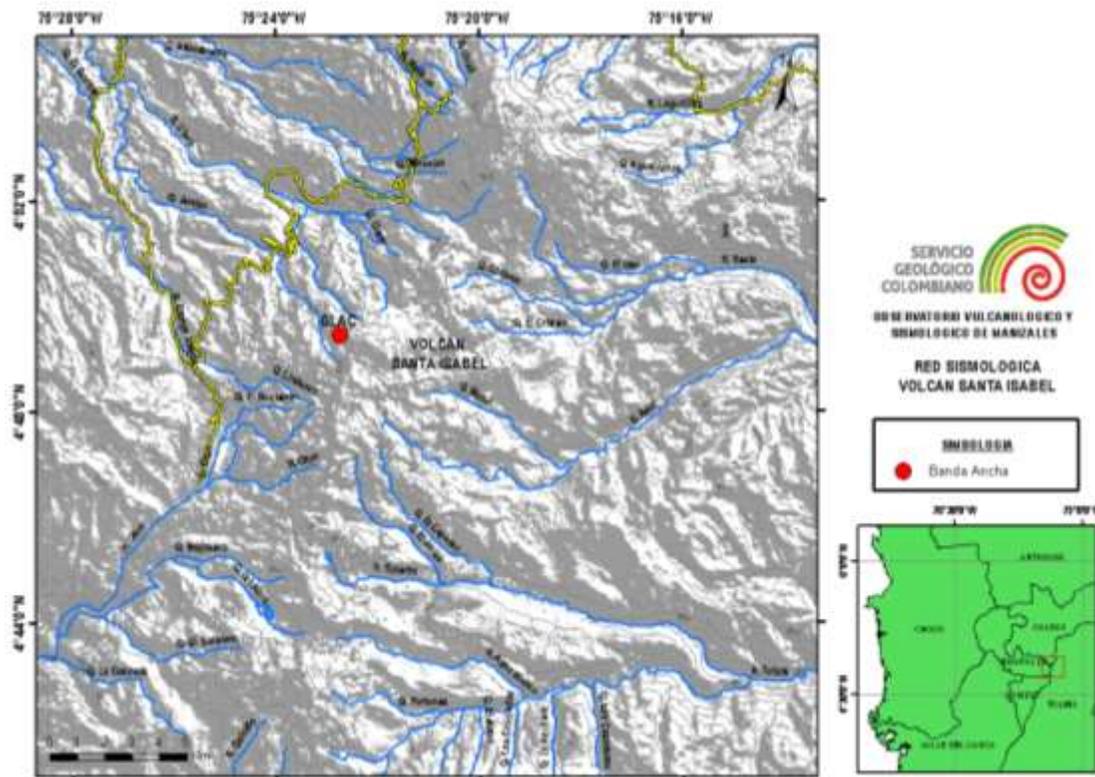


Figura 96. Red Sismológica. Volcán Nevado de Santa Isabel.

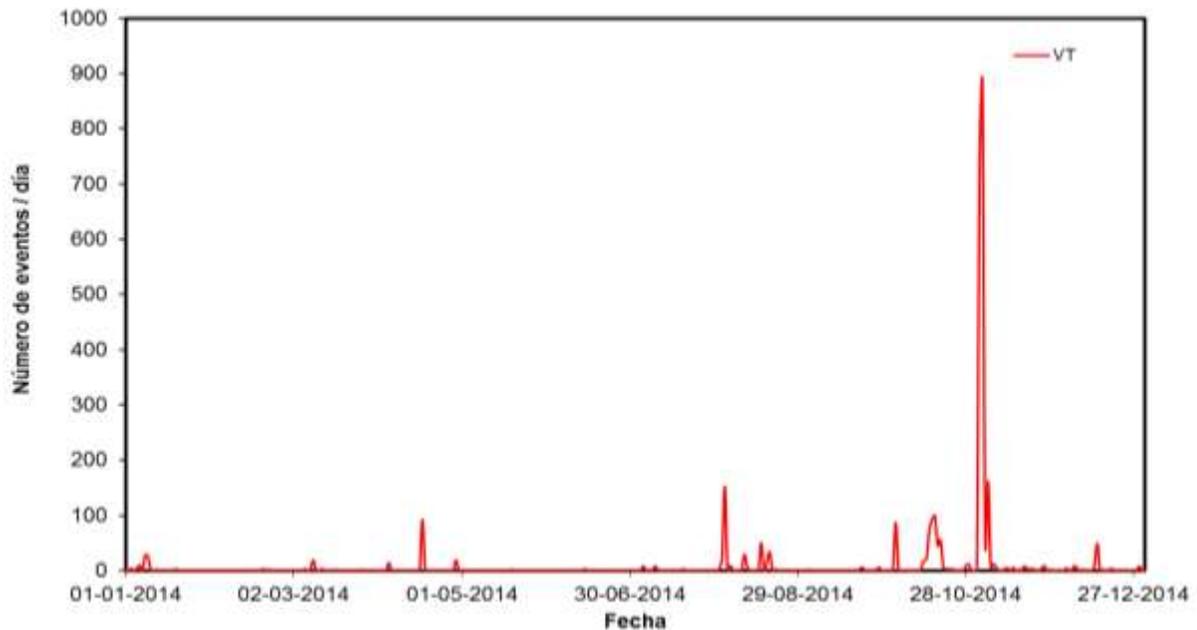


Figura 97. Número de eventos sísmicos diarios tipo VT, ocurridos durante el año 2014 en el VNSI.

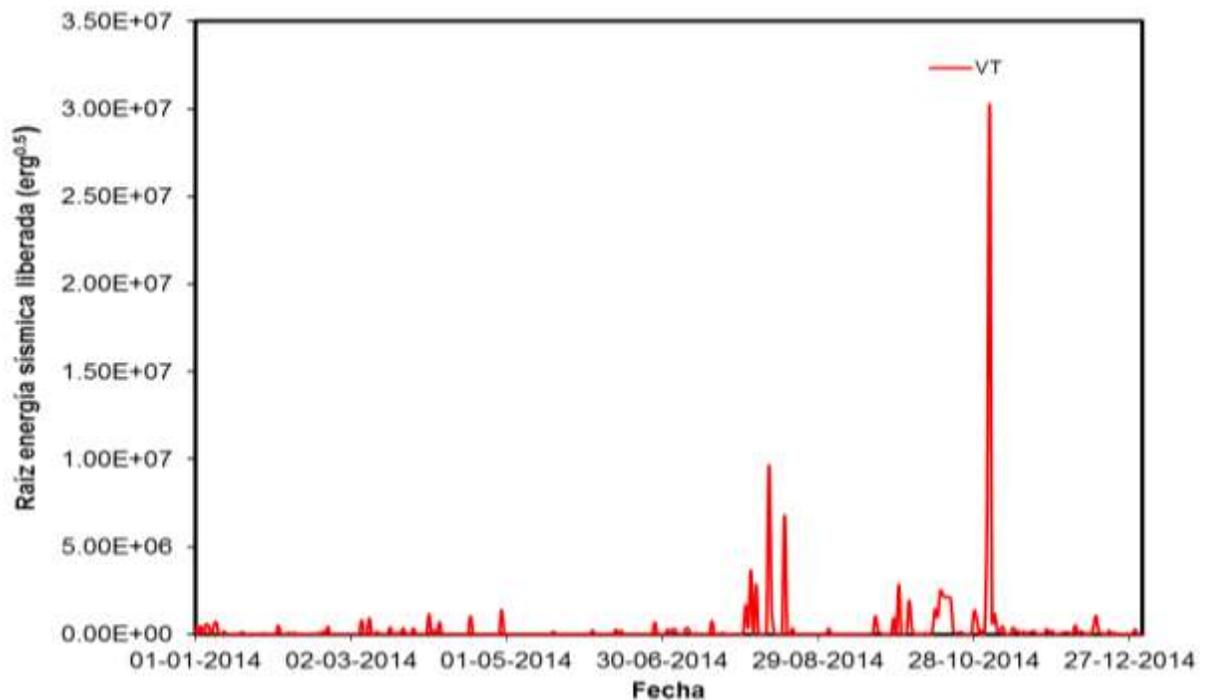


Figura 98. Raíz de la energía sísmica liberada diaria de los eventos sísmicos tipo VT registrados en el VNSI durante el año 2014.

FECHA	HORA	MAGNITUD (ML)	REPORTADO COMO SENTIDO
10/08/2014	01:56	2.2	No
16/08/2014	10:59	2.0	No
03/11/2014	01:06	2.6	Si
03/11/2014	01:49	2.4	Si
03/11/2014	04:30	2.0	No

Tabla 13. Eventos sísmicos con magnitudes locales  $\geq 2.0$ , registrados en el VNSI, durante el año 2014.

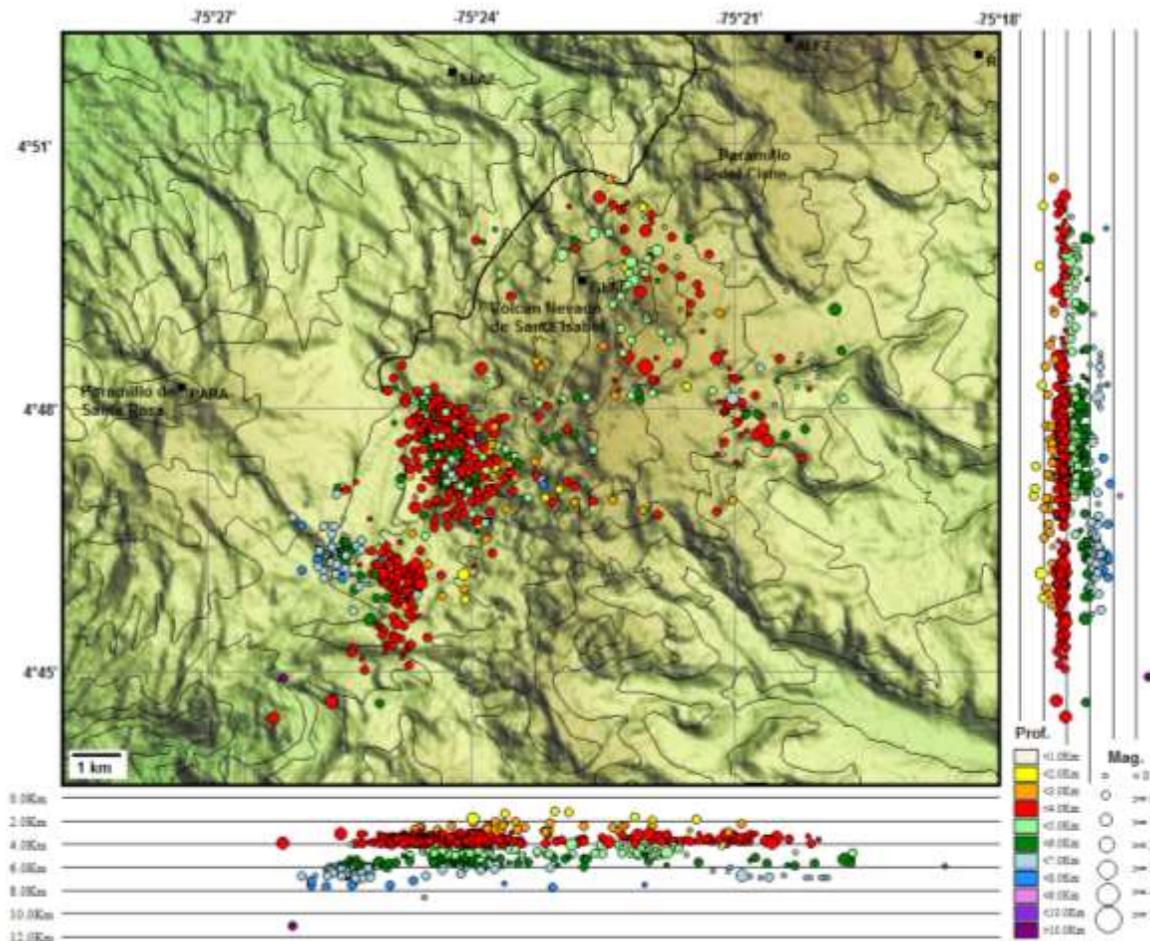


Figura 99. Mapa de localización hipocentral de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores) registrados en el área del VNSI, durante el año 2014. Los cuadrados negros representan las estaciones sismológicas.

A 5.5 km al sur del Volcán Nevado de Santa Isabel se encuentra la estructura llamada Cerro España; durante el año 2014, en cercanías a ésta se registró actividad sísmica, de

baja energía, tipo VT (Figura 100 y Figura 101). En total se registraron 519 eventos sísmicos, localizados a ~1.5 km al occidente-suroccidente de la estructura volcánica, a profundidades entre 1.9 y 5.5 km (Figura 102).

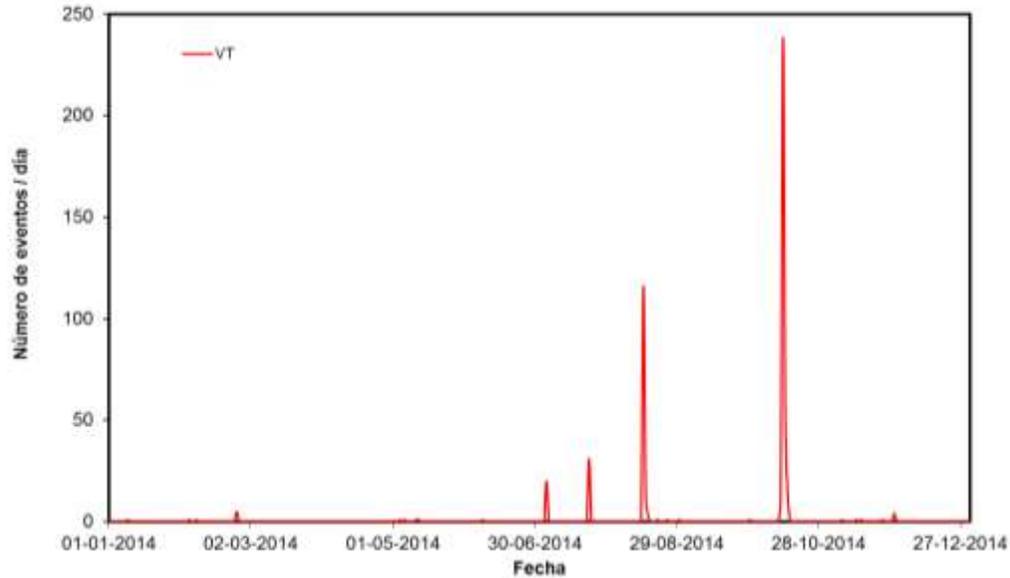


Figura 100. Número de eventos sísmicos diarios tipo VT, registrados durante el año 2014 en el Cerro España.

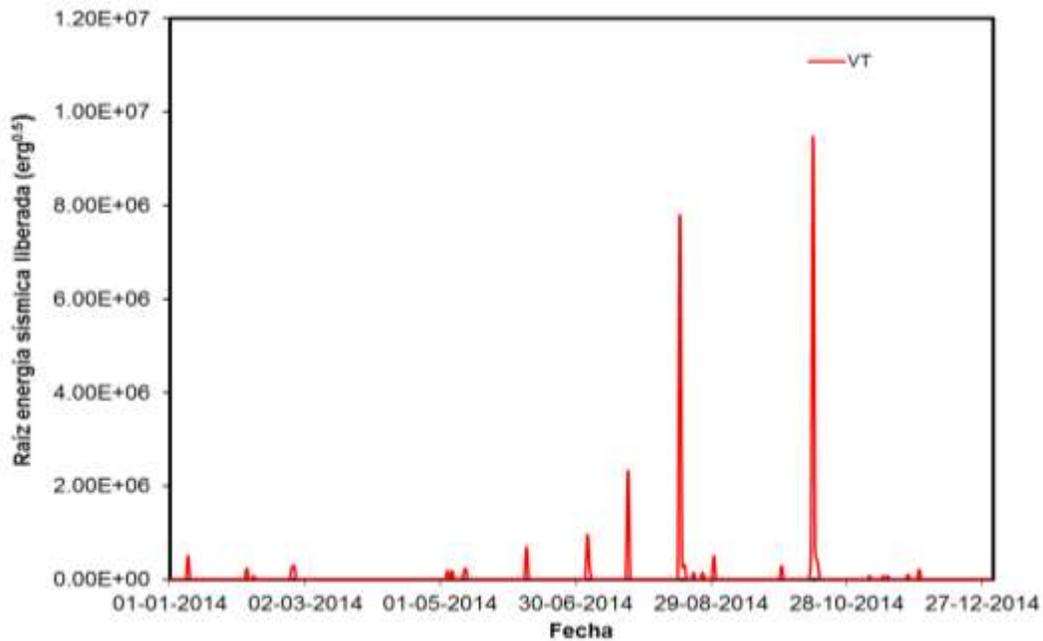


Figura 101. Raíz de la energía sísmica liberada diaria de los eventos sísmicos tipo VT registrados en el CE durante el año 2014.

Las gráficas de número de sismo y de energía diaria liberada, muestran una correspondencia entre ellas. Se registraron cuatro incrementos en la sismicidad de esta zona, los días 5 y 23 de Julio, 15 de Agosto, y 13 de Octubre de 2014. Siendo este último el mayor de ellos, tanto en número (238 eventos VT) como en energía; el sismo de mayor magnitud se registró el 13 de Octubre a las 01:20 (hora local), a 0.9 km del Cerro España, a 3.0 km de profundidad, con una magnitud local de 2.2  $M_L$ .

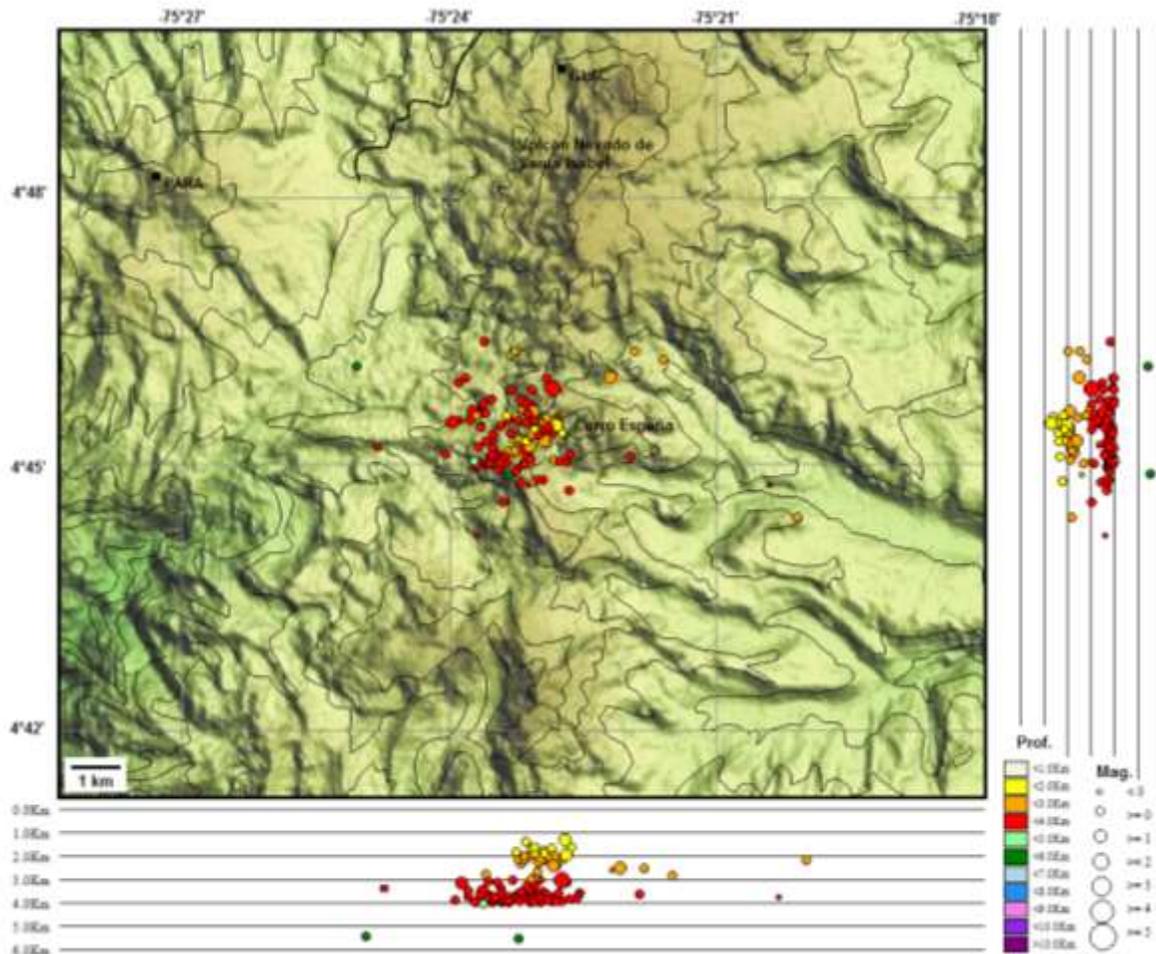


Figura 102. Mapa de localización hipocentral de los sismos volcano-tectónicos (círculos de colores) registrados en el área del Cerro España, durante el año 2014. Los cuadrados negros representan las estaciones sismológicas.

### 6.3 DEFORMACIÓN

Durante 2014, se contó con la operación de los inclinómetros electrónicos CHAV y GLAC instalados al noroccidente y occidente del volcán respectivamente

La Figura 103 muestra la red de deformación del Volcán Nevado Santa Isabel. El Inclinómetro electrónico CHAV no mostró cambios importantes en cuanto a la deformación del edificio volcánico, mientras que el Inclinómetro GLAC, presentó algunas variaciones debidas principalmente a cambios fuertes de temperatura en el lugar (Figura 104 y Figura 105).

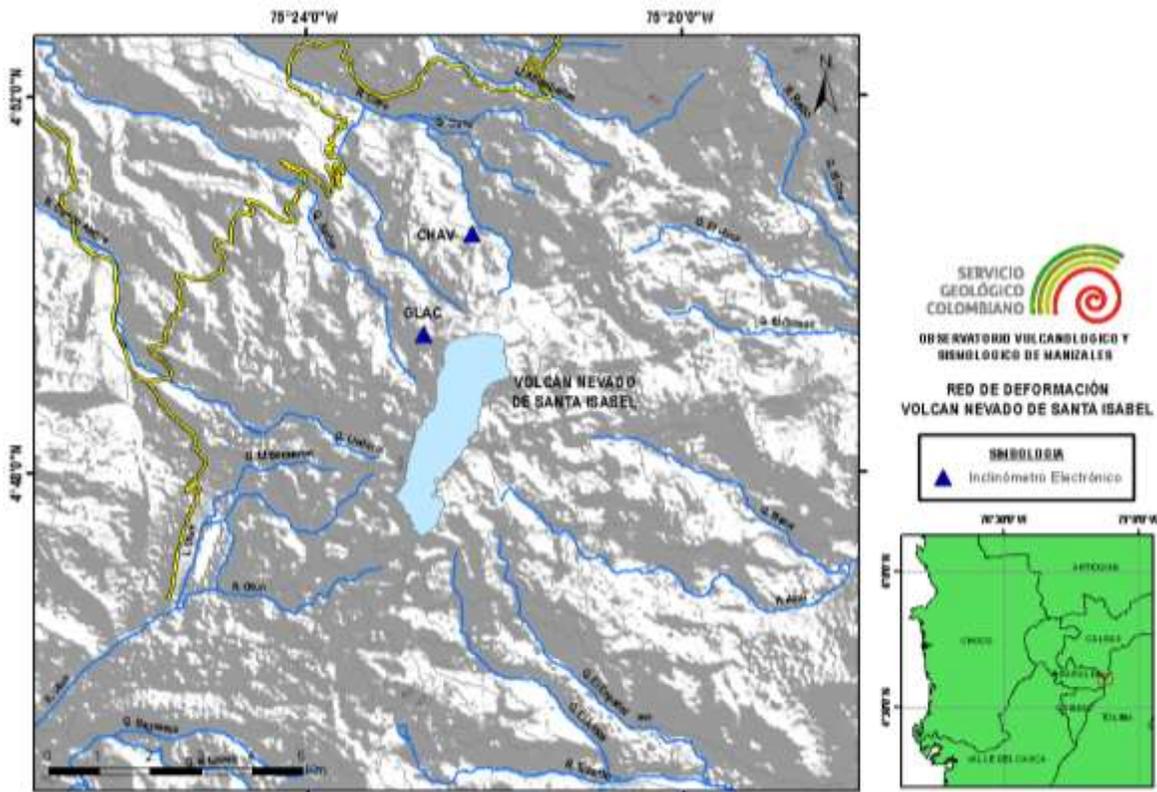


Figura 103. Red de deformación. Volcán Nevado de Santa Isabel.

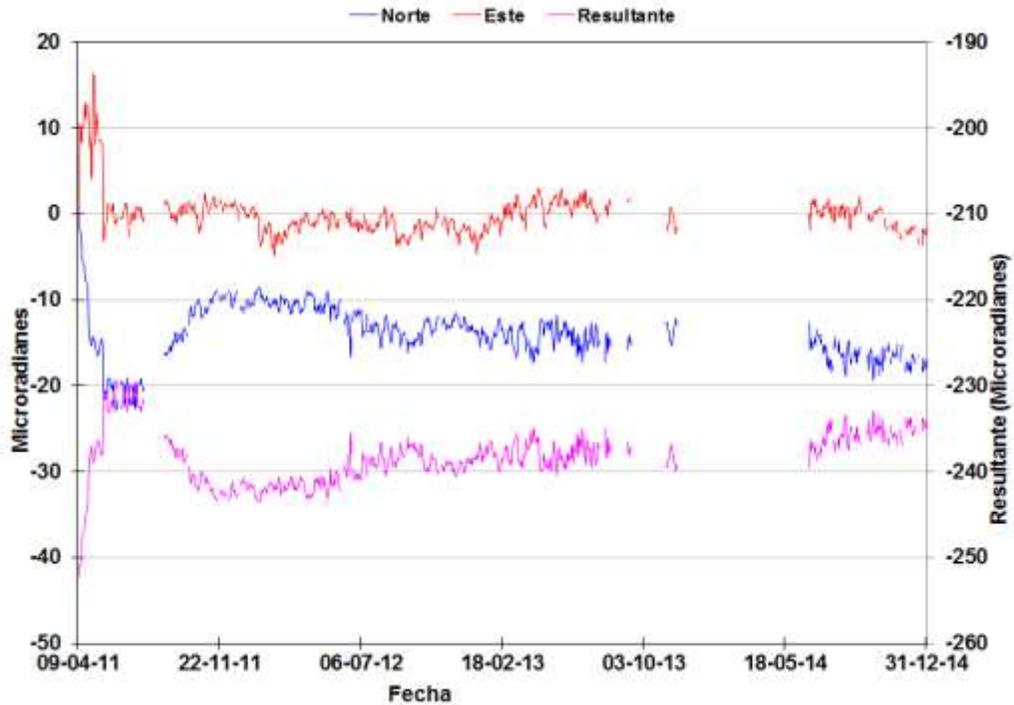


Figura 104. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico CHAV hasta Diciembre de 2014.

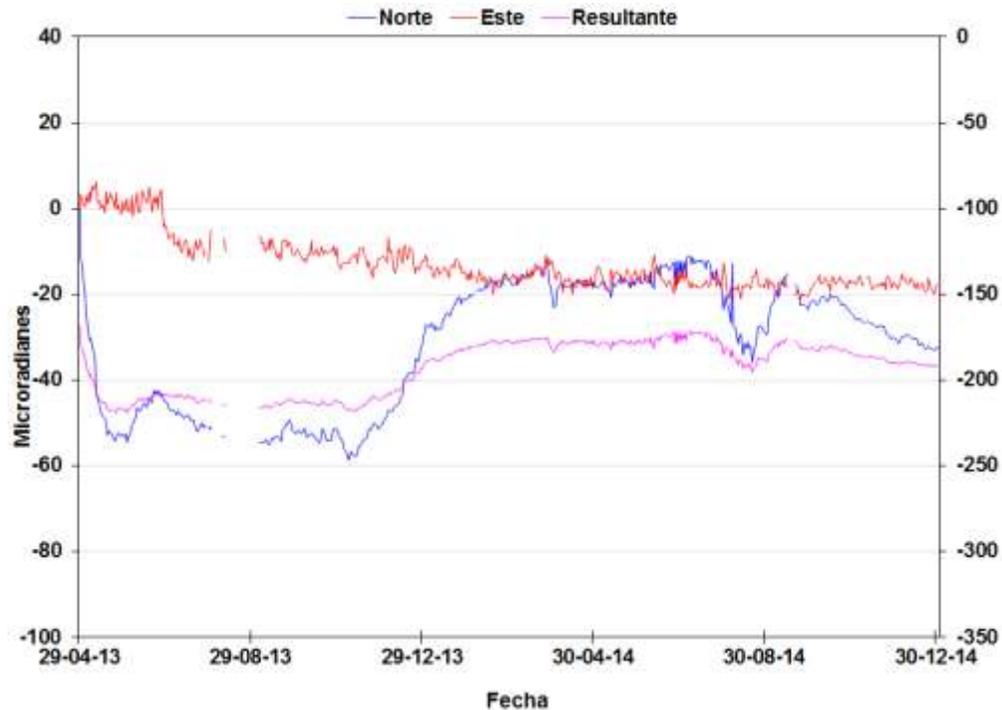


Figura 105. Comportamiento de las componentes Norte (N) (Azul) y Este (E) (Rojo) del inclinómetro electrónico GLAC hasta Diciembre de 2014.

## 7. VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE (VPC)

### 7.1 SISMOLOGÍA

El Volcán Paramillo del Cisne (VPC) continuó presentando actividad sísmica asociada a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico, con un registro de 1154 señales sísmicas (Figura 106 y Figura 107), mostrando un incremento importante con respecto al año 2013, en el cual fueron registradas 173 señales sísmicas.

#### 7.1.1 Sismos volcano-tectónicos (VT)

En general los sismos tipo VT asociados a fracturamiento de roca, registrados en la estructura volcánica durante el año 2014, se presentaron con una tasa un poco mayor a la registrada durante el año 2013, pero con niveles energéticos similares (Figura 107). Se destaca la ocurrencia de un incremento sísmico, el día 27 de Noviembre, en el cual se registró un total de 479 eventos de tipo VT, con una magnitud máxima de 2.2  $M_L$  (Magnitud Local) registrado a las 03:50 (hora local) y localizado al Suroriente de la estructura volcánica. Este evento sísmico también corresponde con la mayor magnitud registrada en este volcán durante el año. Los sismos de este incremento se localizaron al Suroriente de la estructura volcánica a profundidades que oscilaron entre 3.0 y 4.5 km (Figura 108). Los demás eventos sísmicos del año, estuvieron localizados a los alrededores del edificio volcánico a profundidades entre 1.0 y 6.5 km.

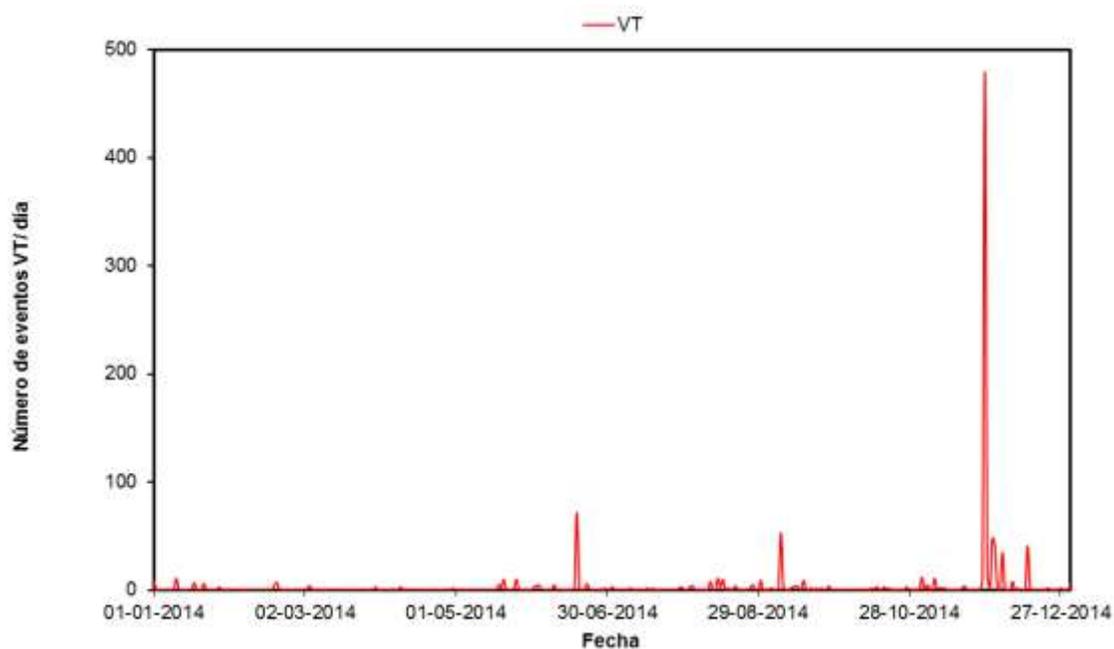


Figura 106. Número de eventos sísmicos tipo VT diarios registrados en el Volcán Paramillo del Cisne durante el 2014.

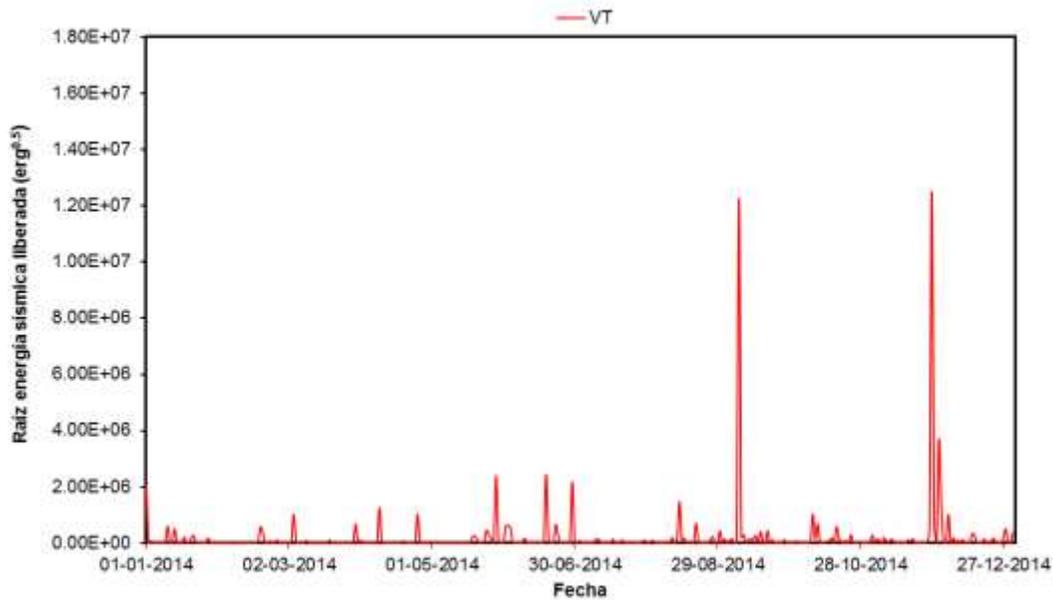


Figura 107. Raíz de la energía sísmica diaria liberada por eventos tipo VT en el Volcán Paramillo del Cisne durante el 2014.

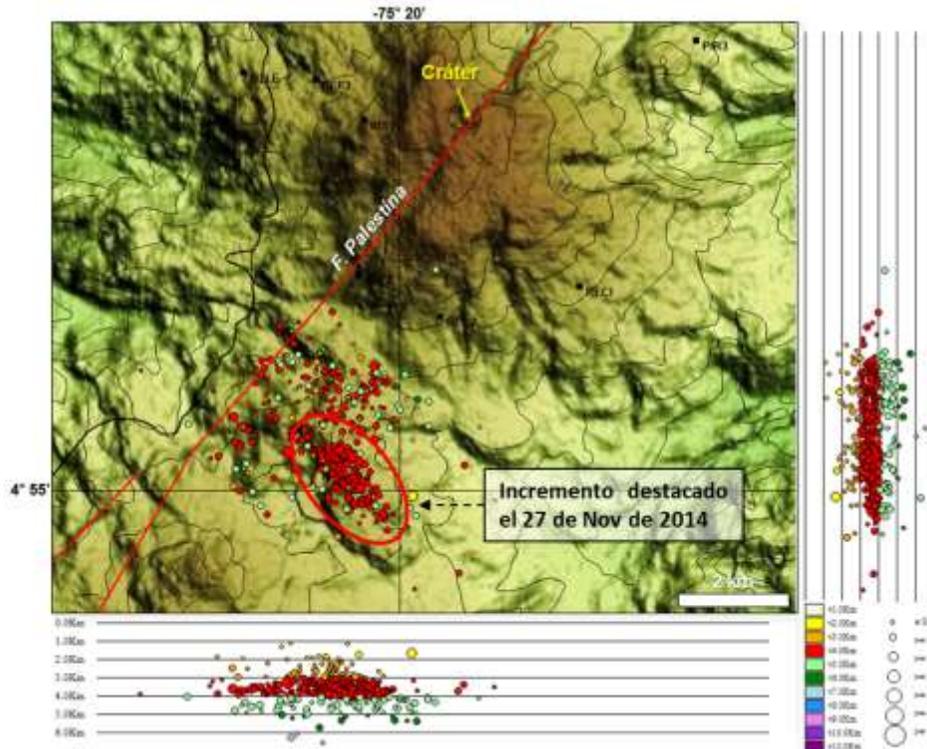


Figura 108. Mapa de localización hipocentral de eventos sísmicos tipo VT (círculos de colores) registrados en el Volcán Paramillo del Cisne durante el año 2014. Los cuadrados negros representan las estaciones sismológicas instaladas en el área. Líneas rojas corresponden a los rasgos estructurales más relevantes.

## 8. PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ)

### 8.1 SISMOLOGÍA

El Paramillo del Quindío presentó un nivel bajo de actividad durante el 2014. Se registraron 71 señales sísmicas asociadas a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Figura 109 y Figura 110), los cuales se localizaron alrededor de la estructura volcánica a profundidades que oscilaron entre 1.0 y 5.5 km (Figura 111). El sismo de mayor magnitud fue registrado el 17 de Diciembre a las 04:01 (hora local) con una magnitud de 1.4  $M_L$  (magnitud local).

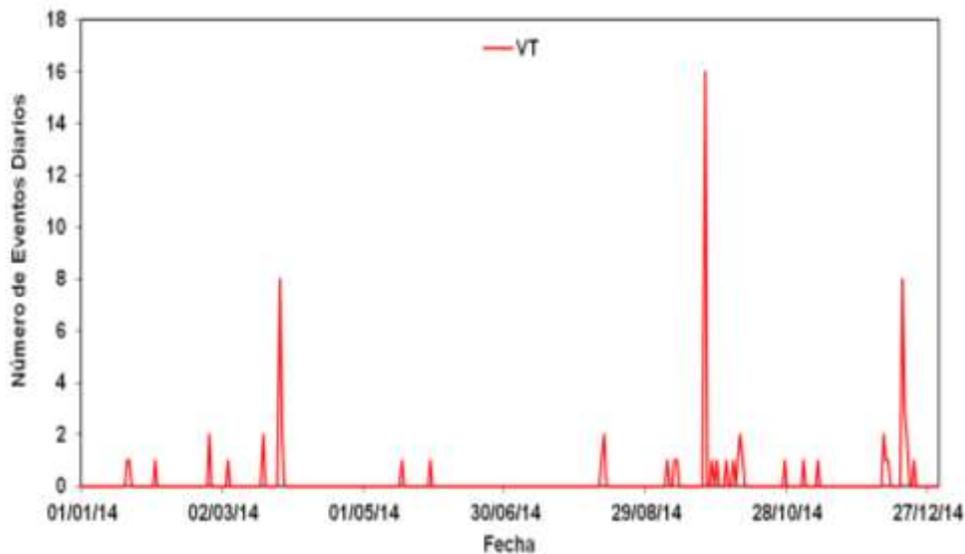


Figura 109. Número de sismos diarios, Paramillo del Quindío, 2014.

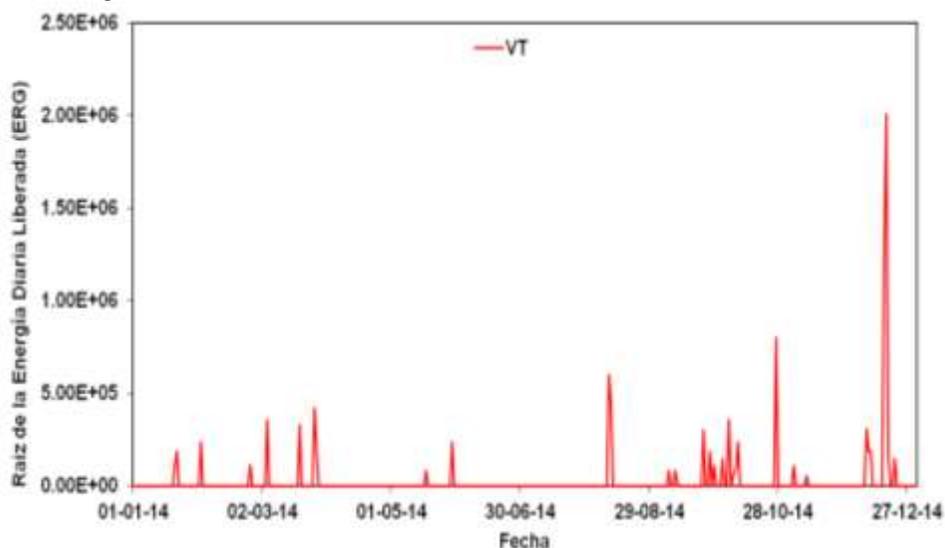


Figura 110. Energía sísmica diaria liberada, Paramillo del Quindío, 2014.

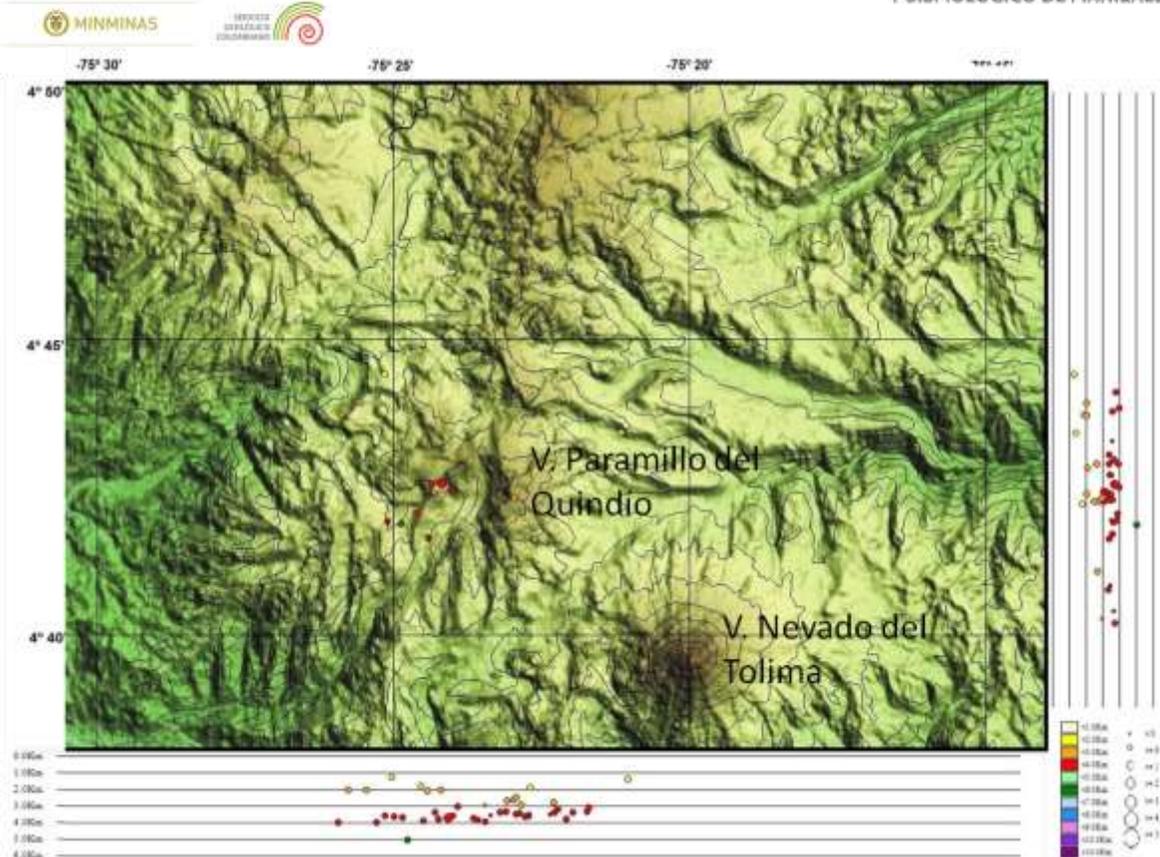


Figura 111. Localización hipocentral de sismos VT en el Paramillo del Quindío, 2014.

## 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 2014 fue del **14.3%**.

Durante este año se reubicó la estación de corto periodo SAN DIEGO, a la vez que se mejoró su sistema eléctrico. Su bajo porcentaje de funcionamiento se debe a que temprano en el año su estación repetidora SAMANÁ fue hurtada.

### 9.2. SISMOLOGÍA

En el Volcán San Diego durante el 2014 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 2014 fue del **61.4%**.

### 10.2 SISMOLOGÍA

En el Volcán Romeral durante el 2014 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 2014 fue del **67.5%**.

Durante este año no se realizaron modificaciones importantes sobre estas estaciones.

### 11.2. SISMOLOGÍA

En cuanto a la actividad sísmica tectónica, asociada con fracturas y fallas en la región del Eje Cafetero, durante el 2014 se registraron eventos sísmicos de carácter local, localizados en las fuentes sismogénicas Romeral, Cordillera Occidental, Armenia, Ibagué, Honda-Pulí y Anzoátegui-Alvarado (Figura 112).

**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 5.1 y 6.6 en la escala de Richter. Estos fueron localizados en: Los Santos (Santander), Olaya (Antioquia), Manaure balcón del Cesar (Cesar), Sipí (Choco), Mar Caribe, Guachetá (Cundinamarca), Frontera con Ecuador y Océano Pacífico.

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 112. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante 2014, localizados por el OVSM.

## CONCLUSIONES

- El volcán Nevado del Ruiz (VNR) presentó cambios importantes durante el año 2014. En cuanto a la actividad asociada a fracturamiento de roca, se destacan 9 incrementos sísmicos con más de 500 sismos registrados, de los cuales el mayor ocurrió el 13 de diciembre con un registro de 5214 eventos de tipo VT. En general, este tipo de sismicidad se localizó en todas las fuentes sismogénicas asociadas al volcán a profundidades que oscilaron entre 0.1 km, en cercanías al cráter, y 10 km, en sectores más distales.
- En cuanto a la actividad asociada a fluidos, en el volcán Nevado del Ruiz, se observó un incremento en este tipo de actividad entre octubre y diciembre de 2014, tanto en número como en Desplazamiento reducido. Probablemente como consecuencia del incremento en la actividad de fluidos, a partir del 18 de noviembre y hasta finales del mes de diciembre, se registraron varios periodos de tremor continuo con desplazamientos reducidos de 1 cm<sup>2</sup> en promedio y un máximo de 6.6 cm<sup>2</sup>. Estos episodios de tremor están asociados a limpieza de conductos y emisiones de ceniza a la atmósfera.
- La columna de gases relacionada con actividad fumarólica en el cráter Arenas registró una altura máxima de 2600 m medidos desde la cima del cráter, la cual mostró la mayor parte del tiempo una dirección de dispersión preferencial hacia el Noroccidente y Suroccidente, y eventualmente hacia el Nororiente, Sur y Sureste. En general, la columna de gases presentó un color blanco asociado a vapor de agua y ocasionalmente matices azules causados por las altas concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y hacia el final del año se observó con frecuencia de colores grisáceos asociados con emisiones de ceniza.
- La actividad sísmica del Volcán Cerro Machín durante el año 2014, estuvo asociada a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico, esta sismicidad fue considerada como de baja energía y en general se localizó principalmente en el domo principal a profundidades que variaron entre 2 y 7.5 km; al sureste a profundidades que variaron entre 2.5 y 16 km; y en menor proporción hacia el sector sur y suroccidental a profundidades entre 2.5 y 12.5 km. Los demás parámetros geofísicos monitoreados no registraron cambios importantes durante el año 2014.
- El Volcán Cerro Bravo, presentó baja actividad volcánica a lo largo del año 2014. La actividad sísmica estuvo dominada por señales asociadas a procesos de remoción en masa.
- Durante el 2014 el Volcán Paramillo de Santa Rosa mostró un aumento importante en su actividad sísmica, especialmente entre los meses de Febrero y Marzo. Esta actividad, asociada al fracturamiento de roca, estuvo concentrada principalmente en dos fuentes localizadas al norte de la estructura volcánica, profundidades entre 2 y 11 km.

- Las tasas de sismicidad diaria y de liberación de energía sísmica tipo VT, del Volcán Santa Isabel presentaron un incremento considerable, durante el año 2014, en comparación con años anteriores. Aunque se registró sismicidad alrededor de la estructura volcánica, ésta estuvo predominantemente concentrada al suroccidente del volcán, en límites con el Volcán Paramillo de Santa Rosa y con el Cerro España, donde también se registró actividad sísmica tipo VT a lo largo del año 2014. La profundidad a la cual se registraron los eventos sísmicos varió de 1.8 km a 11 km. Es posible que esta sismicidad esté muy relacionada a procesos de tectónica local.
- La actividad sísmica de los volcanes Cerro Bravo, Nevado del Tolima, Paramillo del Quindío, Romeral y San Diego, permaneció en niveles estables. Adicionalmente, no se reportaron cambios en los demás parámetros monitoreados.
- La sismicidad de origen tectónico de carácter local se concentró en las fuentes sísmogénicas: Cordillera Occidental, Armenia, Ibagué, Romeral, Anzoategui-Alvarado y Honda-Pulí. En donde los diez (10) sismos con mayor energía sísmica registrada oscilaron entre 5.1 y 6.6 en la escala de Richter.
- 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, y con los cambios mostrados, tanto en la actividad sísmica como geoquímica. La estación de Inclínometría electrónica de REFU, ha mostrado un cambio acumulado de hasta 800  $\mu$ rad desde el 2012, hasta Diciembre de 2014.
- 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 sus componentes del orden de 466  $\mu$ rad y 312  $\mu$ rad para la componente (N y E), respectivamente, hasta Diciembre de 2014, lo cual obedece probablemente a procesos de origen local.
- 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, durante los últimos años.
- Los inclinómetros electrónicos instalados en los volcanes Cerro Bravo y Tolima, no registraron cambios importantes, lo cual indica que no están ocurriendo procesos deformativos importantes en estas estructuras.
- Durante el 2014 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 de campaña en los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín, así como reflectores y bases EDM. Adicionalmente para el 2015 se planea actualizar parte la red de Inclínómetros electrónicos, en varios de los volcanes del

segmento norte de Colombia.

- Las descargas de  $\text{SO}_2$  en el VNR durante el año 2014 continuaron presentando variaciones, la magnitud de los flujos fue más baja respecto a los años anteriores, no obstante, las tasas de desgasificación siguen permaneciendo altas, sus valores se encuentran por encima de las 5000 t/d, estos flujos son considerados altos teniendo en cuenta que el Volcán no tuvo episodios eruptivos durante el 2014, pero si incrementos de actividad evidenciados en la sismicidad y deformación.
- El Radón telemétrico del Volcán Nevado del Ruiz mostró algunas variaciones, pero no se observa un comportamiento relacionado entre todas las estaciones que se tienen en funcionamiento que indique correlaciones directas con la actividad tipo volcano-tectónica.
- Los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales en el VNR presentaron algunas variaciones durante el 2014, su relación con el estado de actividad volcánica tienen bastante congruencia. Las muestras de gases en la fumarola Nereidas en el VNR, mostró algunas variaciones en el contenido de  $\text{SO}_2$  para el mes de Octubre de 2014, este cambio muestra un mayor aporte de azufre al sistema debido a la actividad volcánica.
- La concentración de gas radón en el Volcán Cerro Bravo y Volcán Cerro Machín se mantuvo constante, no se registraron variaciones importantes. Los manantiales termales en el VCM aunque presentaron algunas variaciones, éstas no tuvieron relación con la actividad volcánica, la influencia de factores externos como: precipitaciones, mezclas e infiltraciones hizo que se presentaran algunos cambios fisicoquímicos.
- Los manantiales termales de los Balnearios aledaños al Volcán Paramillo de Santa Rosa no presentaron variaciones importantes durante las medidas del año 2014.