



Libertad y Orden

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

**OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO
DE MANIZALES**

**INFORME DE ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO
CERRO BRAVO-CERRO MACHÍN
SEGUNDO SEMESTRE DE 2011**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
1. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR).....	11
1.1 RED DE VIGILANCIA.....	12
1.2 SISMOLOGÍA.....	12
1.2.1 Sismos	14
1.2.2 Sismos de	16
1.2.3 Señales asociadas a la actividad glacial y columna de gas.....	21
GEOQUÍMICA.....	23
1.3.1 Emisiones de Gas Radón.....	23
1.3.2 Fuentes Termales (FT).....	26
1.3.3 Gases en Trampas Alcalinas.....	29
1.3.4 Gases en Botellas de Giggenbach.....	30
1.3.5 Flujo de SO ₂ . Estaciones SCAN DOAS.....	31
1.4 DEFORMACIÓN.....	32
1.4.1 Comportamiento inclinómetros electrónicos.....	33
1.4.1.1 Inclinómetro electrónico AZUFRADO.....	34
1.4.1.2 Inclinómetro electrónico BIS.....	34
1.4.1.3 Inclinómetro electrónico LISA.....	35
1.4.1.4 Inclinómetro electrónico RECIO.....	36
1.4.1.5 Inclinómetro electrónico REFUGIO.....	36
1.4.1.6 Inclinómetro electrónico NEREIDAS.....	37
1.4.1.7 Inclinómetro electrónico MOLINOS.....	38
1.4.2 Comportamiento líneas EDM.....	38
1.4.3 ESTACIONES GNSS.....	39
2 VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT).....	40
2.1 RED DE VIGILANCIA.....	40
2.2 SISMOLOGÍA.....	41
2.3 DEFOMACION.....	45
2.3.1 Inclinometría Electrónica.....	45
2.3.1.1 Inclinómetro ESMERALDA.....	45
3 VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM).....	46
3.1 RED DE VIGILANCIA.....	46
3.2 SISMOLOGÍA.....	48
3.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT).....	48
3.3 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS.....	53
3.3.1 Magnetometría.....	53
3.3.2 Potencial Espontáneo.....	54
3.4 GEOQUÍMICA.....	55
3.4.1 Emisiones de Gas Radón.....	55
3.4.2 Fuentes Termales (FT).....	57
3.5 DEFORMACIÓN.....	61
3.5.1 Comportamiento inclinómetros electrónicos.....	61
3.5.1.1 Inclinómetro electrónico RODEO.....	62
3.5.2 Comportamiento de las líneas EDM.....	63
3.5.3 ESTACIONES GNSS GNSS.....	65
4 VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB).....	65
4.1 RED DE VIGILANCIA.....	65
4.2 SISMOLOGÍA.....	66

4.3 GEOQUÍMICA.....	69
4.3.1 Medidas de Gas Radón.....	69
4.4 DEFORMACIÓN.....	71
4.4.1 Inclinometría Electrónica.....	72
4.4.1.1 Inclinómetro CERRO BRAVO.....	72
4.4.2 MEDICIONES EDM.....	73
5 VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VPSR).....	74
5.1 RED DE VIGILANCIA.....	74
5.2 SISMOLOGÍA.....	74
5.3 GEOQUÍMICA.....	74
6 VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL (VNSI).....	79
6.1 RED DE VIGILANCIA.....	79
6.2 SISMOLOGÍA.....	79
6.3 DEFORMACIÓN.....	79
6.3.1 Inclinometría Electrónica.....	80
6.3.1.1 Inclinómetro CHAVA.....	80
7 VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE (VPC).....	81
7.1 SISMOLOGÍA.....	81
8 PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ).....	81
8.1 SISMOLOGÍA.....	81
9 ACTIVIDAD TECTÓNICA.....	81
9.1 RED DE VIGILANCIA.....	81
9.2 SISMOLOGÍA.....	82
CONCLUSIONES.....	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Red de vigilancia CVCBCM	10
Figura 2. Instalación de la Cámara Web PIRAÑA.	11
Figura 3. Instalación de la estación de corto periodo INDERENA.	12
Figura 4. Red de vigilancia Geofísica, Volcán Nevado del Ruiz.	13
Figura 5. Energía sísmica diaria liberada por el Volcán Nevado del Ruiz.	13
Figura 6. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Nevado del Ruiz	14
Figura 7. Magnitud coda sismos volcano-tectónicos, Volcán Nevado del Ruiz	14
Figura 8. Mapa de localización hipocentral sismos volcano-tectónicos, Volcán Nevado del Ruiz, segundo semestre de 2011.	15
Figura 9. Mapa de mecanismos focales calculados para los sismos de mayor magnitud registrados en el segundo semestre de 2011, Volcán Nevado del Ruiz.	16
Figura 10. Magnitud sismos de largo periodo (LP), Volcán Nevado del Ruiz.	17
Figura 11. Forma de onda y espectro del sismo de largo periodo con características de tornillo, de mayor magnitud registrados durante el segundo semestre.	17
Figura 12. Forma de onda y espectro típicos de un evento de largo periodo, ocurrido en el Volcán Nevado del Ruiz durante el segundo semestre de 2011.	18
Figura 13. Periodos de los sismos LP registrados en el segundo semestre de 2011.	18
Figura 14. Mapa de localización epicentral de sismos de largo periodo del Volcán Nevado del Ruiz, obtenida por atenuación de amplitudes.	19
Figura 15. Mapa de localización de sismos tipo HB, del Volcán Nevado del Ruiz, obtenidas por atenuación de amplitudes (cuadrados rojos) y, por tiempos de arribo (círculos de colores), segundo semestre de 2011.	20
Figura 16. Forma de onda de un sismo de tipo HB registrado en el segundo semestre de 2011 en el Volcán Nevado del Ruiz.	20
Figura 17. Forma de onda de un sismo de tipo ME registrado durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Nevado del Ruiz.	21
Figura 18. Forma de onda de una señal sísmica asociada a emisiones de gas y/o pequeñas explosiones registrada durante el segundo semestre en el Volcán Nevado del Ruiz.	22
Figura 19. Columna de gas en el Volcán Nevado del Ruiz.	22
Figura 20. Mapa de Vigilancia Geoquímica Volcán Nevado del Ruiz.	23
Figura 21. Instalación de estaciones de Gas Radón: a) NEREIDAS, b) REFUGIO	24
Figura 22. Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones: GUALÍ, RIO GUALI, CAJONES y HOTEL. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.	25
Figura 23. Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones: ARENAL, NEREIDAS, OLLETA y REFUGIO. Volcán Nevado del Ruiz.	26
Figura 24. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.	26
Figura 25. Variación del pH en Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.	27
Figura 26. Variación de la Conductividad Eléctrica en las Fuentes Termales: GUALÍ, HOTEL y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz..	27
Figura 27. Variación de la Concentración de Cloruros en las Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz.	28
Figura 28. Variación de la Concentración de Sulfatos en las Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz.	28
Figura 29. Fuentes Termales El CALVARIO y CORRALITOS.	28
Figura 30. Variación en el contenido de Gases: CO ₂ , HCl y SO ₂ en Trampas Alcalinas: REFUGIO 1, REFUGIO 2, OLLETA 2, GUALÍ y ALFOMBRALES.	29
Figura 31 . Variación contenido de Gases: CO ₂ , HCl y SO ₂ en Trampas Alcalinas	30
Figura 32. Muestreo directo en las Fumarolas: a) Calvario y b) Nereidas.	31

Figura 33. Emisión de SO ₂ estaciones SCAN DOAS: BRUMA Y ALFOMBRALES.	32
Figura 34. Promedio SO ₂ estaciones SCAN DOAS: BRUMA y ALFOMBRALES.	32
Figura 35. Red Geodésica del VNR. II semestre de 2011.	33
Figura 36. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico AZUFRADO durante el segundo semestre de 2011.	34
Figura 37. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico BIS hasta el segundo semestre de 2011.	35
Figura 38. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico LISA hasta el segundo semestre de 2011.	35
Figura 39. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico RECIO hasta el segundo semestre de 2011.	36
Figura 40. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico REFUGIO hasta el segundo de semestre de 2011.	37
Figura 41. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico NEREIDAS durante el segundo semestre de 2011.	37
Figura 42. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico MOLINOS hasta el segundo semestre de 2011.	38
Figura 43. Comportamiento de los reflectores REFUGIO-1, REFUGIO-2, REFUGIO-3, REFUGIO-4, REFUGIO-5, REFUGIO-6 y OLLETA-1 medidos desde la base EDM REFUGIO, desde Septiembre de 2008 hasta Diciembre de 2011.	39
Figura 44. Comportamiento de los reflectores OLLETA-2, OLLETA-3, NEREIDAS, TUMBAS-1, TUMBAS-2 y TUMBAS-3 medidos desde la base EDM OLLETA, desde Marzo de 2010 hasta Diciembre de 2011.	39
Figura 45. Estaciones GNSS. Volcán Nevado del Ruiz II semestre de 2011.	40
Figura 46. Instalación del sensor de Banda Ancha en la estación de Esmeralda.	41
Figura 47. Red de vigilancia sísmica, Volcán Nevado del Tolima.	41
Figura 48. Energía sísmica diaria, VNT. Segundo semestre de 2011.	42
Figura 49. Número de sismos diarios, VNT. Segundo semestre de 2011.	42
Figura 50. Forma de onda del sismo de tipo VT de mayor magnitud registrado durante el segundo semestre en el Volcán Nevado del Tolima.	43
Figura 51. Forma de onda de un evento de largo periodo, ocurrido en el Volcán Nevado del Tolima durante el segundo semestre de 2011.	43
Figura 52. Número de hielos y avalanchas diarias en el VNT.	44
Figura 53. Forma de onda de una señal asociada a la avalancha de mayor duración, ocurrida durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Nevado del Tolima.	44
Figura 54. Red Geodésica del VNT II semestre de 2011	45
Figura 55. Comportamiento de las componentes Norte y Este, registrado por el inclinómetro electrónico ESMERALDA hasta el segundo semestre de 2011.	46
Figura 56. Instalación de la estación de temperatura Estatuas.	47
Figura 57. Instalación de los gabinetes en Cielo Roto.	47
Figura 58. Red de vigilancia Geofísica, Volcán Cerro Machín.	49
Figura 59. Energía sísmica diaria liberada por el Volcán Cerro Machín.	49
Figura 60. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Cerro Machín.	50
Figura 61. Magnitud coda sismos volcano-tectónicos, Volcán Cerro Machín.	50
Figura 62. Localización hipocentral de sismos volcano-tectónicos en el VCM	51
Figura 63. Sismograma digital de la estación CIMA. Nótese el incremento de actividad registrado el 12 de Septiembre de 2011, en el Volcán Cerro Machín.	51
Figura 64. Mapa de mecanismos focales sismos volcano-tectónicos, Volcán Cerro Machín, segundo semestre de 2011.	52
Figura 65. Mecanismo focal asociado al sismo del 12 de Septiembre a las 20:11 (hora local) en el Volcán Cerro Machín, magnitud 3.5 en la escala de Richter.	53
Figura 66. Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín. Estación DOMO, Julio - Diciembre de 2011.	53
Figura 67. Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín. Estación AGUAS CALIENTES, Julio - Diciembre de 2011.	54

Figura 68. Valores registrados de potencial espontáneo entre Julio y Diciembre de 2011, en la estación de DOMO en el Volcán Cerro Machín.	54
Figura 69. Mapa de vigilancia Geoquímica Volcán Cerro Machín.	55
Figura 70. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: ANILLO, SAN LORENZO y PRIMAVERA. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.	56
Figura 71. Variación de los niveles de Radón en suelo. Estaciones: RODEO, LAS PALMAS, LAS VIOLETAS y FUMA 1. Volcán Cerro Machín.	56
Figura 72. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: LAGUNA 1, GENA, LISANDRO y PIEDRAS 1. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.	57
Figura 73. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: SECRETA 1, SECRETA 2, AGUAS CALIENTES 1 y PIRO 1. Volcán Cerro Machín.	57
Figura 74. Variación de temperatura Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS.	58
Figura 75. Variación de pH Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS.	58
Figura 76. Variación de Conductividad Eléctrica en Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.	59
Figura 77. Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuentes Termales: a) PISCINA, b) ESTATUAS, Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.	59
Figura 78. Modo de muestreo Directo con Botellas de Giggenbach en la Fumarola La Macha. Volcán Cerro Machín	60
Figura 79. Red Geodésica del VCM. II semestre de 2011.	61
Figura 80. Comportamiento de las componentes Norte y Este, del inclinómetro electrónico El RODEO hasta el segundo semestre del 2011.	62
Figura 81. Comportamiento de las componentes Norte y Este, del inclinómetro electrónico CIMA hasta el segundo semestre del 2011.	62
Figura 82. Comportamiento de la base EDM SAN LORENZO II semestre 2011.	63
Figura 83. Comportamiento de la base EDM ANILLO-ALTO II semestre 2011.	64
Figura 84. Comportamiento de la base EDM LA PALMA II semestre 2011.	64
Figura 85. Estaciones GNSS. Volcán Cerro Machín II semestre de 2011.	65
Figura 86. Red vigilancia sísmica, Volcán Cerro Bravo.	66
Figura 87. Forma de onda del sismo VT de mayor magnitud registrado durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Cerro Bravo.	67
Figura 88. Forma de onda del sismo LP de mayor magnitud registrado durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Cerro Bravo.	67
Figura 89. Forma de onda y espectro del evento de largo periodo de mayor magnitud registrado durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Cerro Bravo.	68
Figura 90. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Cerro Bravo.	68
Figura 91. Energía sísmica diaria liberada por el Volcán Cerro Bravo.	68
Figura 92. Mapa de Vigilancia Geoquímica. Volcán Cerro Bravo.	69
Figura 93. Instalación de estaciones de Gas Radón en el Volcán Cerro Bravo.	69
Figura 94. Variación de los Niveles de Radón en suelo. Estaciones a) CERRO BRAVO 1, CERRO BRAVO 2. Volcán Cerro Bravo. Segundo Semestre de 2011.	70
Figura 95. Variación de los Niveles de Radón en suelo. Estaciones a) CERRO BRAVO 4,5,6,7,8,9 y 10. Volcán Cerro Bravo. Segundo Semestre de 2011.	71
Figura 96. Red Geodésica VCB II semestre de 2011.	72
Figura 97. Comportamiento de las componentes Norte y Este, registrado por el inclinómetro electrónico CERRO BRAVO, II semestre 2011.	73
Figura 98. Mediciones EDM base el Doce. Volcán Cerro Bravo II semestre 2011.	73
Figura 99. Mediciones EDM base el Portón. Volcán Cerro Bravo II semestre 2011.	74
Figura 100. Variación de la Temperatura en los nacimientos termales de San Vicente, Santa Elena y Santa Rosa. Paramillo de Santa Rosa. II Semestre 2011.	75
Figura 101. Variación del pH en los nacimientos termales de San Vicente, Santa Elena y Santa Rosa. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2011.	76
Figura 102. Variación de la concentración de Cloruros de los nacimientos termales San Vicente, Santa Elena y Santa Rosa. Paramillo de Santa Rosa.	77
Figura 103. Variación de la concentración de Sulfatos de los nacimientos termales	

San Vicente, Santa Elena y Santa Rosa. Paramillo de Santa Rosa.	78
Figura 104. Instalación repetidora de inclinometro SANTA ISABEL en la OLLETA.	79
Figura 105. Red Geodésica VSI II semestre de 2011.	80
Figura 106. Comportamiento de las componentes Norte y Este, registrado por el inclinómetro electrónico CHAVA hasta el segundo semestre de 2011.	80
Figura 107. Mejoramiento del emplazamiento del sensor en Marcella.	81
Figura 108. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el segundo semestre de 2011.	82

RESUMEN

La actividad del complejo volcánico Cerro Bravo – Cerro Machín (CVCBCM) durante el segundo semestre de 2011, mantuvo niveles similares a los registrados durante los meses anteriores; la actividad sísmica de los volcanes Nevado del Ruiz y Cerro Machín, así como los demás volcanes del complejo continúan con niveles estables, sin cambiar sus respectivos niveles de actividad.

La deformación volcánica evaluada mediante sensores de inclinometría electrónica, mediciones EDM y estaciones de GNSS permanente en el CVCBCM, en general mantuvo estabilidad. Igualmente, las medidas de gas de radón y los parámetros fisicoquímicos no presentaron significativas variaciones durante el segundo semestre de 2011.

Continúan en NIVEL AMARILLO (III): “Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica”, los volcanes NEVADO DEL RUIZ y CERRO MACHÍN; y en NIVEL VERDE (IV): “Volcán activo y con comportamiento estable”, los volcanes CERRO BRAVO y TOLIMA.

INTRODUCCIÓN

El Servicio Geológico de Colombia, SGC (antes INGEOMINAS), a través de la Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, ha implementado una red de Observatorios Sismológicos y Vulcanológicos en el costado centro-occidental del territorio colombiano, con el fin de monitorear los volcanes activos de esta sección del país. El Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales (OVS-Manizales), creado en 1985 se encarga de realizar monitoreo continuo de los volcanes pertenecientes al Complejo Volcánico Cerro Bravo - Cerro Machín (CVCBCM). Se vigila permanentemente a los volcanes Cerro Bravo, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado del Tolima y Volcán Cerro Machín, así como los demás centros volcánicos situados dentro del complejo volcánico. Estos volcanes se encuentran localizados en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y Tolima.

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

Por lo anterior, de la información obtenida durante el segundo semestre de 2011, a través de las redes de vigilancia instaladas en los alrededores de los volcanes Cerro Bravo, Nevado del Ruiz, Nevado del Tolima, Cerro Machín, Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Cisne, Santa Isabel y Paramillo del Quindío (Figura 1), el OVS-Manizales presenta el informe de actividad de los mismos, correspondiente a dicho semestre.

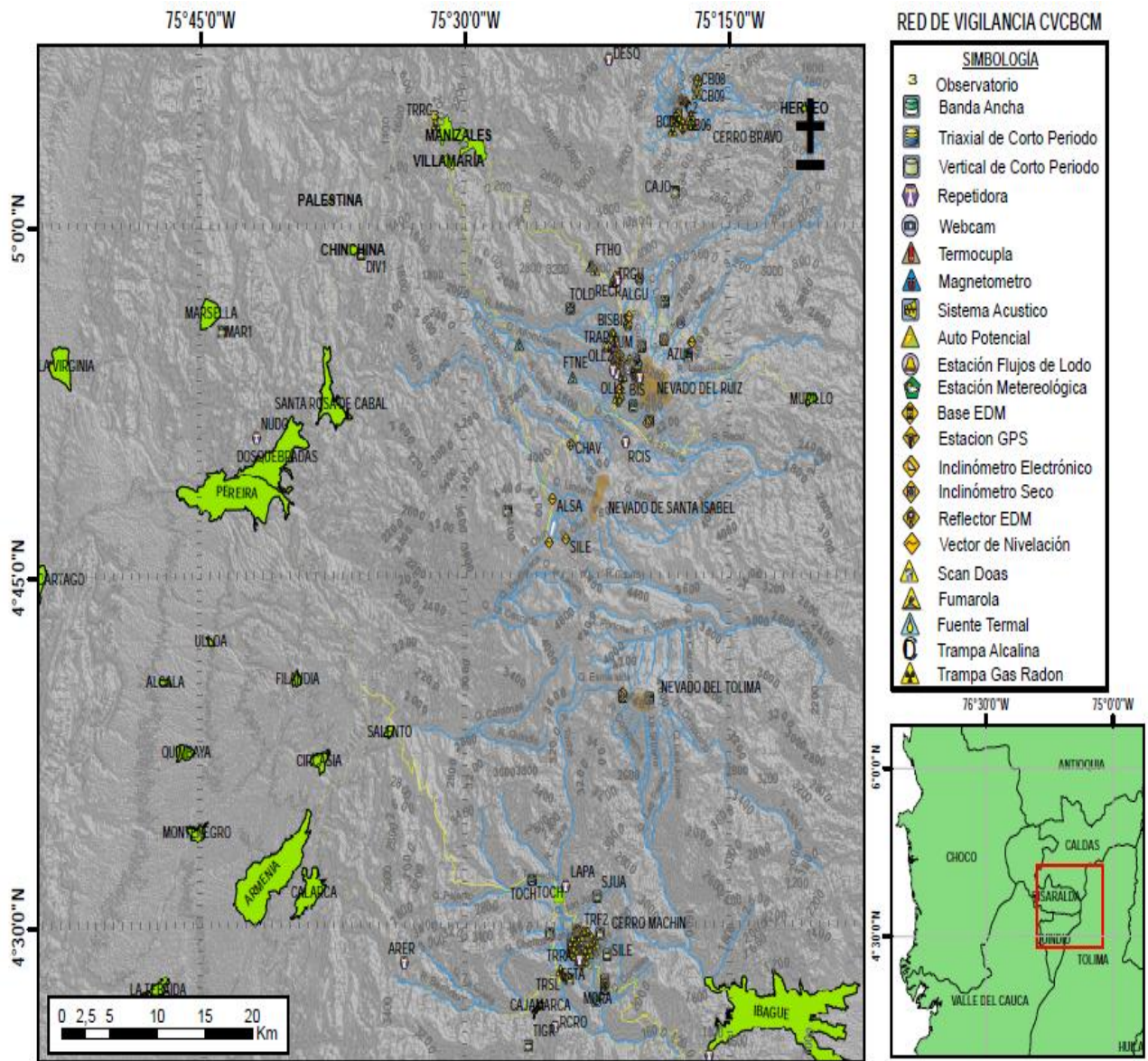


Figura 1. Red de vigilancia CVCBCM

1. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR)

1.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia del Volcán Nevado del Ruiz, durante el segundo semestre del 2011 fue del 86.07%.

El porcentaje de operación para los sistemas sismológicos de Corto Periodo fue del 82.2%, de Banda Ancha fue del 85.91%, para los sistemas geodésicos de inclinometría Electrónica fue del 92.57%, para los monitores de flujos de lodo del 83.89%, para el sistema acústico fue del 74,3%, para la termocupla 83.69%, para el sistema de DOAS 65.3%, para los GPS fue del 100% y para la cámara fue del 90%.

En este semestre las actividades más relevantes realizadas sobre la red de vigilancia fueron la reinstalación del sensor y adecuación del emplazamiento de la estación de corto periodo OLLETA, revisión de la estación ScanDOAS de ALFOMBRALES, retiro de la termocupla de la estación GUALÍ por corrosión total de ésta, por lo cual se busca un recubrimiento más fuerte para su reinstalación, la instalación de la estación GNSS de NEREIDAS, la sustitución de tarjeta de adquisición en la sala de vigilancia, la cual venía ingresando ruido en las señales de los corto periodo, instalación de la cámara web de PIRAÑA (Figura 2), restablecimiento de la estación de ScanDOAS de BRUMA, reinstalación de la estación de corto período INDERENA (Figura 3), instalación de una nueva estación del sistema GNSS con el nombre de OLLETA.



Figura 2. Instalación de la Cámara Web PIRAÑA.

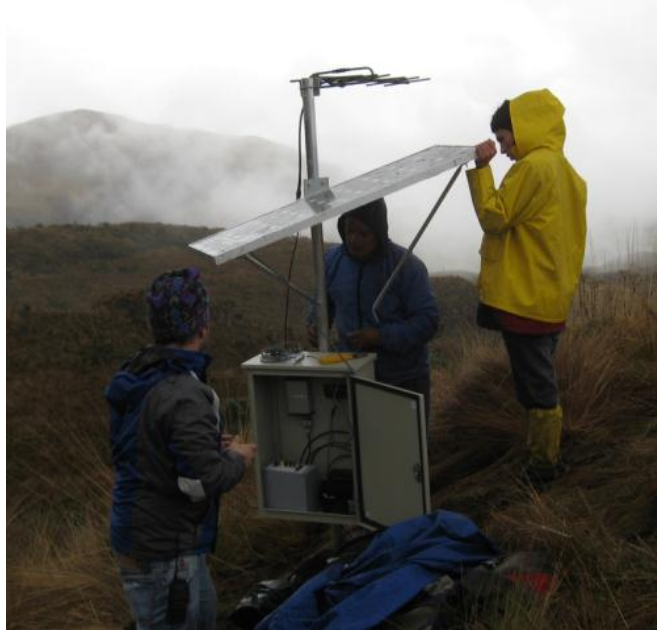


Figura 3. Instalación de la estación de corto periodo INDERENA.

1.2 SISMOLOGÍA

La actividad sísmica del Volcán Nevado del Ruíz (VNR) continuó presentando un comportamiento estable. Durante el segundo semestre de 2011 la red sismológica del VNR (Figura 4) registró un total de 11243 eventos sísmicos asociados a fracturamiento de roca (Tipo VT) y a actividad de gases y de fluidos al interior del edificio volcánico (Tipo LP, HB, TR y TO). Así mismo se siguieron registrando explosiones y algunas señales sísmicas tipo multieventos (ME). Las Figura 5, Figura 6 y Figura 7 muestran los valores de energía, número de sismos y magnitud registrados durante el semestre, respectivamente.

La actividad sísmica se concentró en el cráter Arenas, y al suroriente y sur del mismo a profundidades que oscilaron entre 0.5 y 16 km. La magnitud máxima registrada fue de 2.29 en la escala de Richter, correspondiente a un sismo tipo tornillo (TO) ocurrido el 14 de Julio a las 16:33 (hora local).

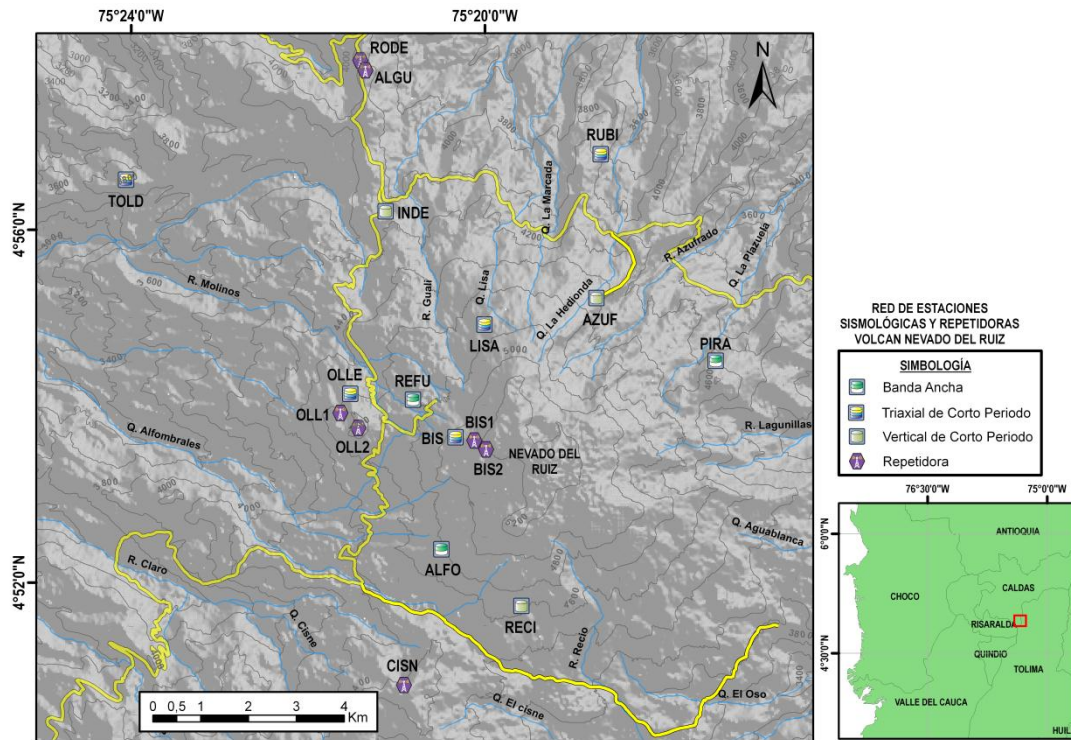


Figura 4. Red de vigilancia Geofísica, Volcán Nevado del Ruiz.

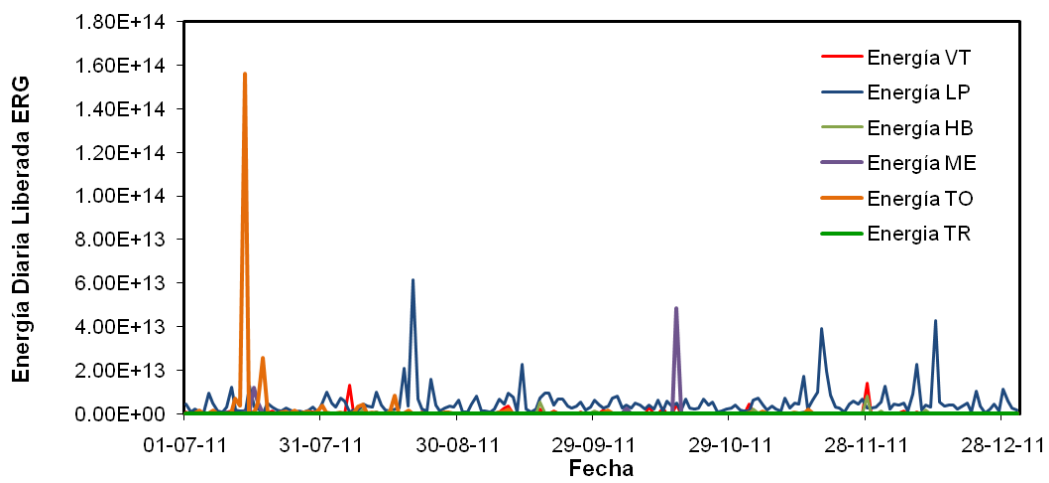


Figura 5. Energía sísmica diaria liberada por el Volcán Nevado del Ruiz, segundo semestre de 2011. VT: volcano-tectónico, LP: largo periodo, HB: híbrido, ME: múltiple evento, TO: Tornillo TR: temor.

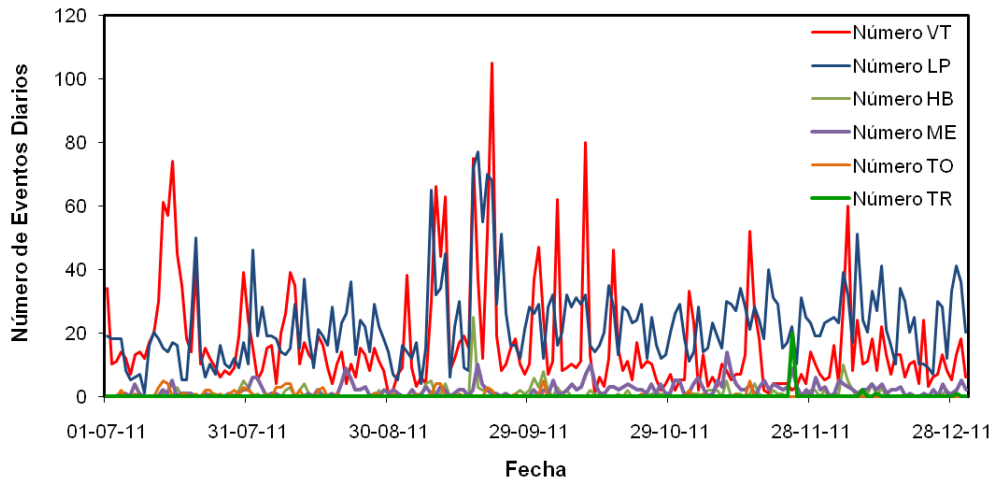


Figura 6. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Nevado del Ruiz, segundo semestre de 2011.

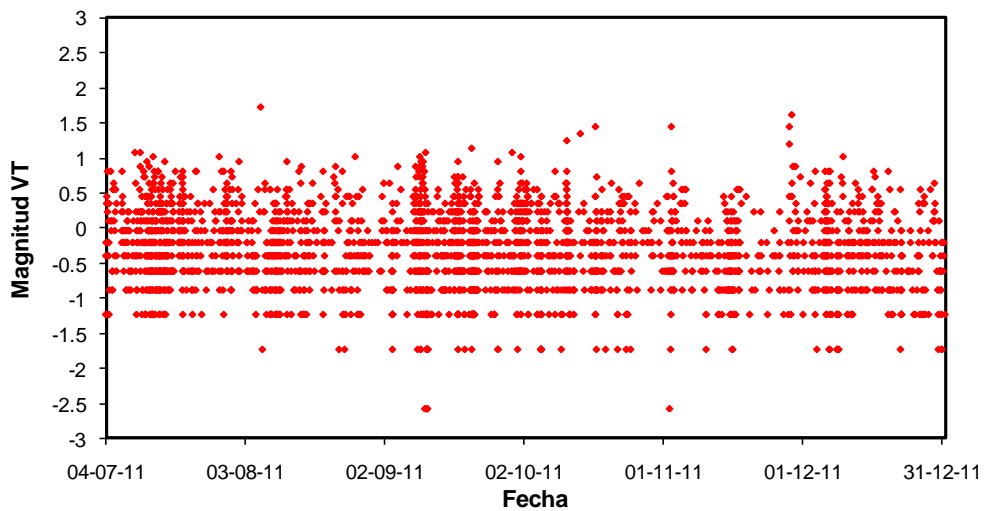


Figura 7. Magnitud coda sismos volcano-tectónicos, Volcán Nevado del Ruiz, segundo semestre de 2011.

1.2.1 Sismos de Fractura

Durante el segundo semestre de 2011 se registraron un total de 3032 eventos sísmicos relacionados con fractura de roca dentro del edificio volcánico (Tipo VT). Entre los eventos registrados se destaca el sismo ocurrido el día 06 de Agosto a las 09:55 (hora local) con una magnitud máxima de 1.73 en la escala de Richter. Estos sismos se localizaron principalmente en el cráter activo, al suroriente y al sur del mismo, a profundidades que oscilaron entre 0.5 y 16 km (Figura 8).

Los mecanismos focales calculados para los sismos de mayores magnitudes muestran una tendencia a fallamiento rumbo-deslizante de carácter normal tanto en la fuente Cráter, como en las fuentes suroriental y sur (Figura 9).

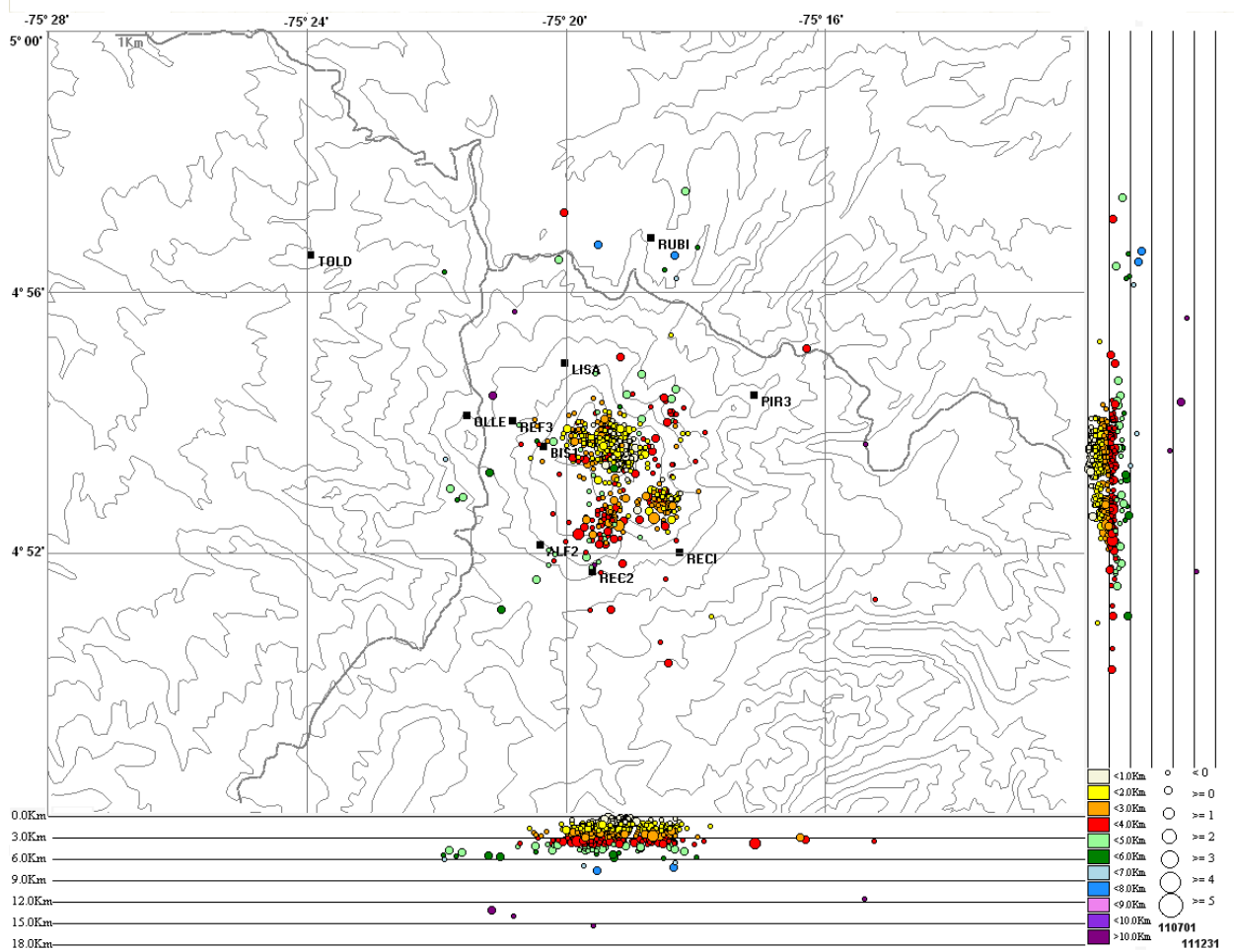


Figura 8. Mapa de localización hipocentral sismos volcano-tectónicos, Volcán Nevado del Ruiz, segundo semestre de 2011. Los rectángulos negros representan las estaciones sismológicas.

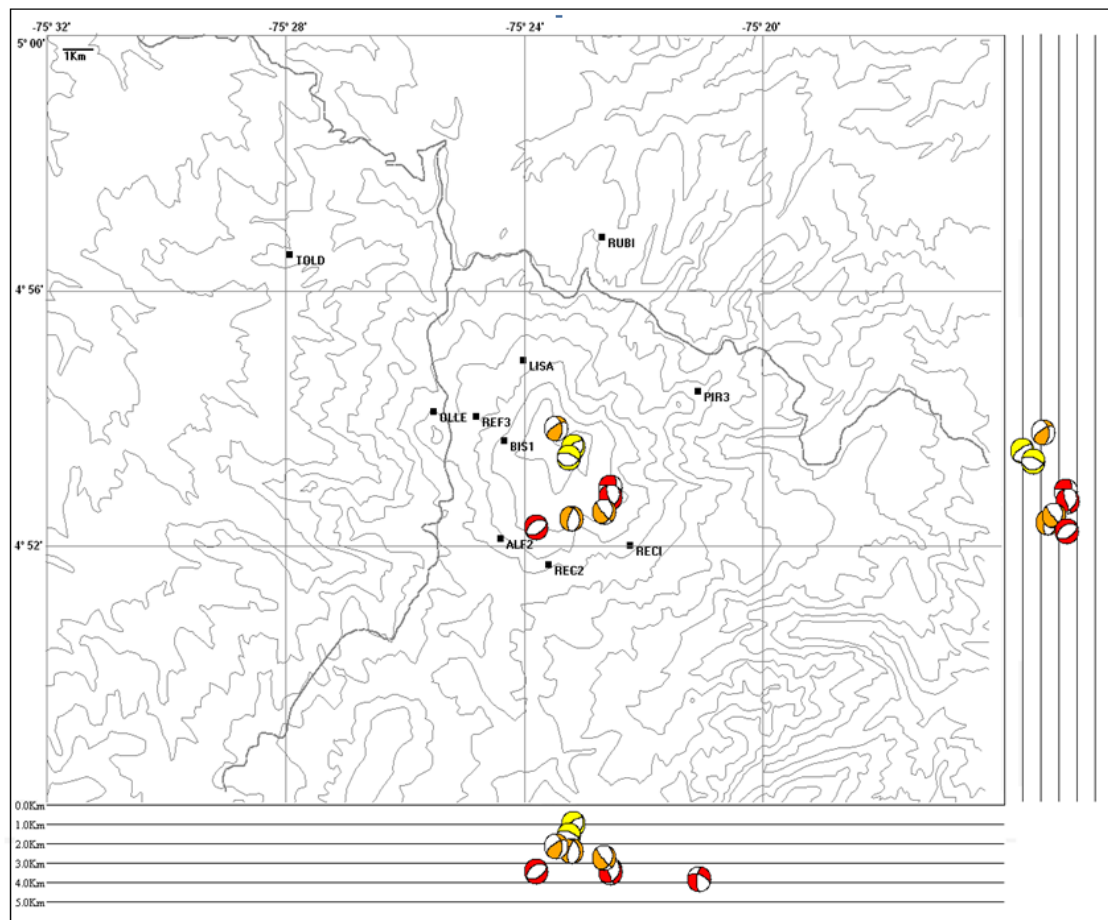


Figura 9. Mapa de mecanismos focales calculados para los sismos de mayor magnitud registrados en el segundo semestre de 2011 en el Volcán Nevado del Ruiz.

1.2.2 Sismos de actividad de fluidos

En cuanto a la sismicidad relacionada con actividad de gases y fluidos al interior del edificio volcánico (Tipo LP, HB, TO y TR), a lo largo del segundo semestre de 2011 se registraron 4153 sismos; la magnitud máxima registrada corresponde a un evento de largo periodo tipo TO de 2.29 en la escala de Richter, sismo ocurrido el día 14 de Julio a las 16:33 (hora local) (Figura 10 y Figura 11).

En general, los sismos LP mostraron, en su mayoría, frecuencias dominantes entre 1 y 5 Hz (Figura 12 y Figura 13), arribos muy emergentes y envolventes en forma de uso, continuando con las tendencias mostradas durante los meses anteriores. Los eventos de largo periodo, de acuerdo con la atenuación de la amplitud con la distancia, fueron localizados en el cráter Arenas y al suroccidente del mismo (Figura 14).

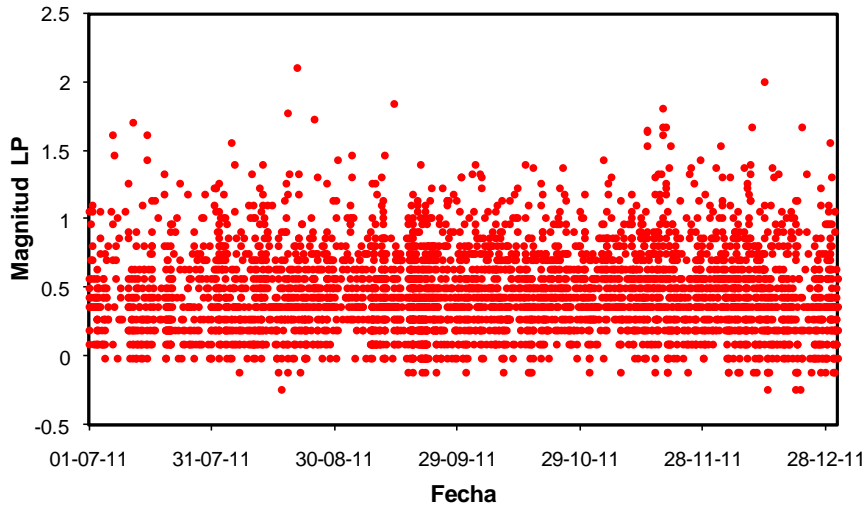


Figura 10. Magnitud sismos de largo periodo (LP), Volcán Nevado del Ruiz, segundo semestre de 2011.

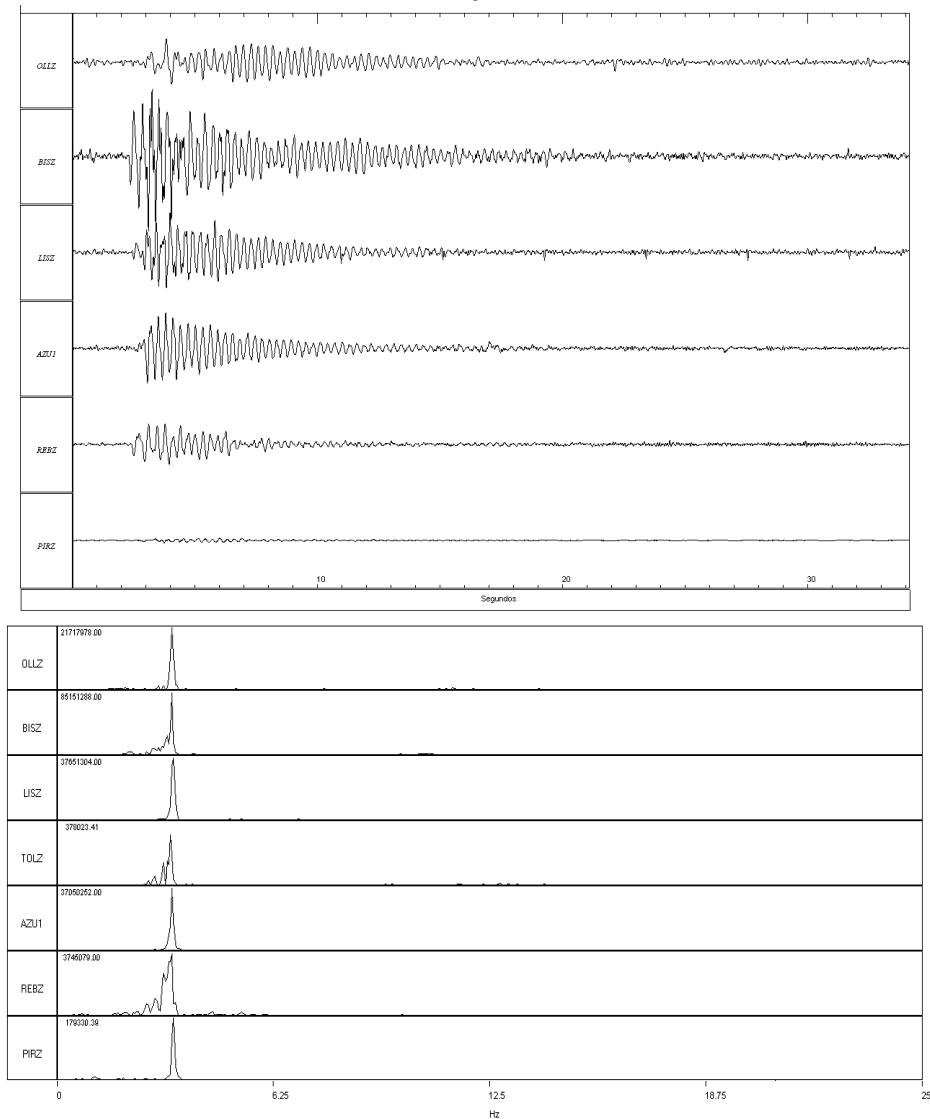


Figura 11. Forma de onda del sismo de largo periodo con características de tornillo, de mayor magnitud registrado durante el segundo semestre en el Volcán Nevado del Ruiz. A) Forma de onda, B) Espectro de la señal.

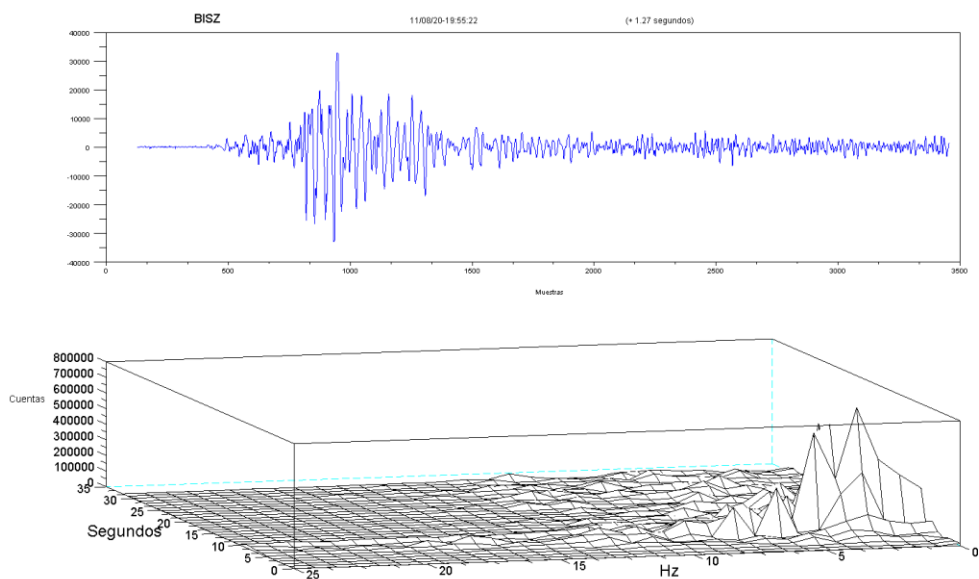


Figura 12. Forma de onda típica de un evento de largo periodo, ocurrido en el Volcán Nevado del Ruiz durante el segundo semestre de 2011. A) Forma de onda, B) Espectro de la señal.

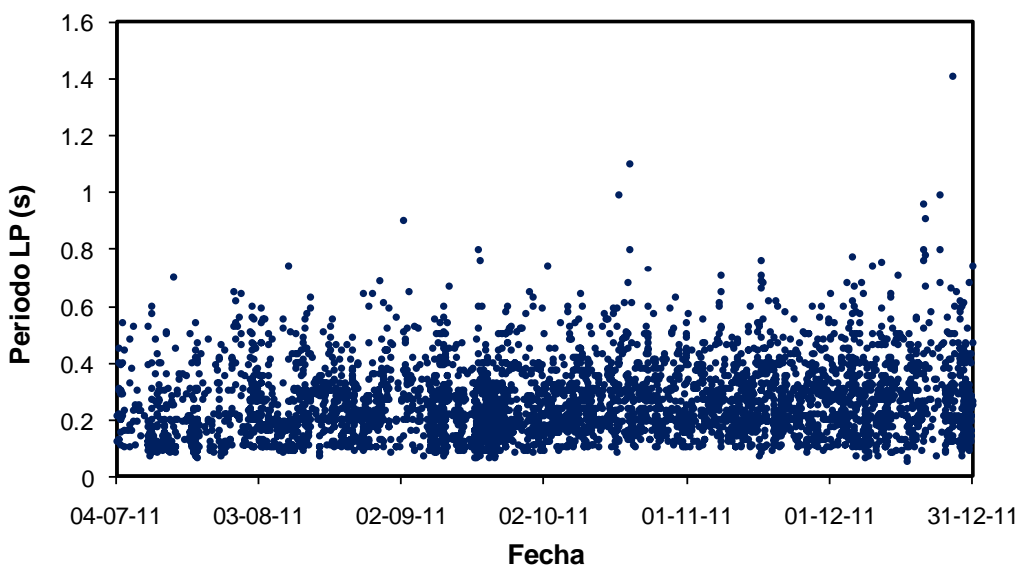


Figura 13. Periodos de los sismos LP registrados en el segundo semestre de 2011, en el Volcán Nevado del Ruiz.

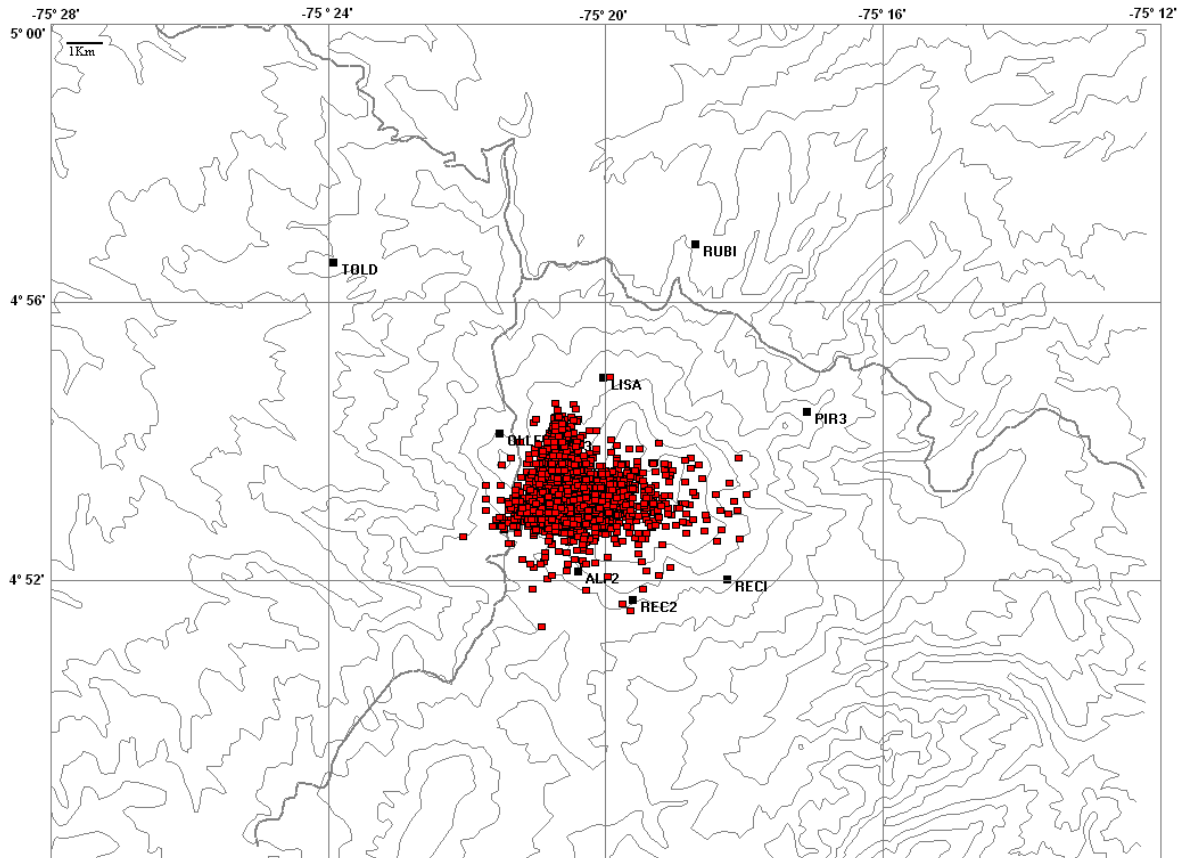


Figura 14. Mapa de localización epicentral de sismos de largo periodo del Volcán Nevado del Ruiz, obtenida por atenuación de amplitudes, segundo semestre de 2011. Los rectángulos negros representan las estaciones sismológicas.

En cuanto a la sismicidad de origen híbrido (HB), durante el segundo semestre de 2011 se registraron 190 eventos, la magnitud máxima alcanzada fue de 1.59 en la escala de Richter, el día 28 de Noviembre a las 17:06 (hora local). Estas señales fueron localizadas predominantemente en el cráter activo a profundidades entre 1 y 4 km y localizadas por atenuación de amplitudes al suroccidente del cráter Arenas (Figura 15 y Figura 16).

Adicionalmente, durante el segundo semestre de 2011 se registraron 156 señales multievento (ME) (Figura 17).

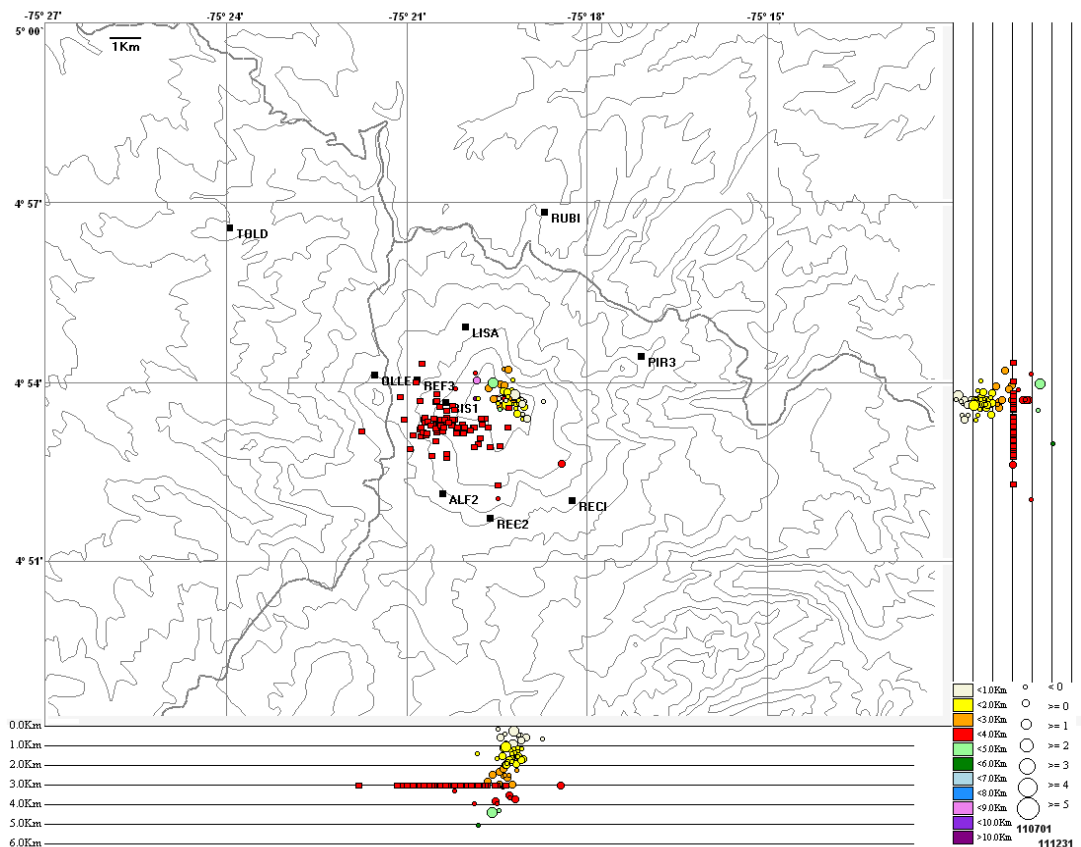


Figura 15. Mapa de localización de sismos tipo HB, del Volcán Nevado del Ruiz, obtenidas por atenuación de amplitudes (cuadrados rojos) y por tiempos de arribo (círculos de colores), segundo semestre de 2011. Los rectángulos negros representan las estaciones sismológicas.

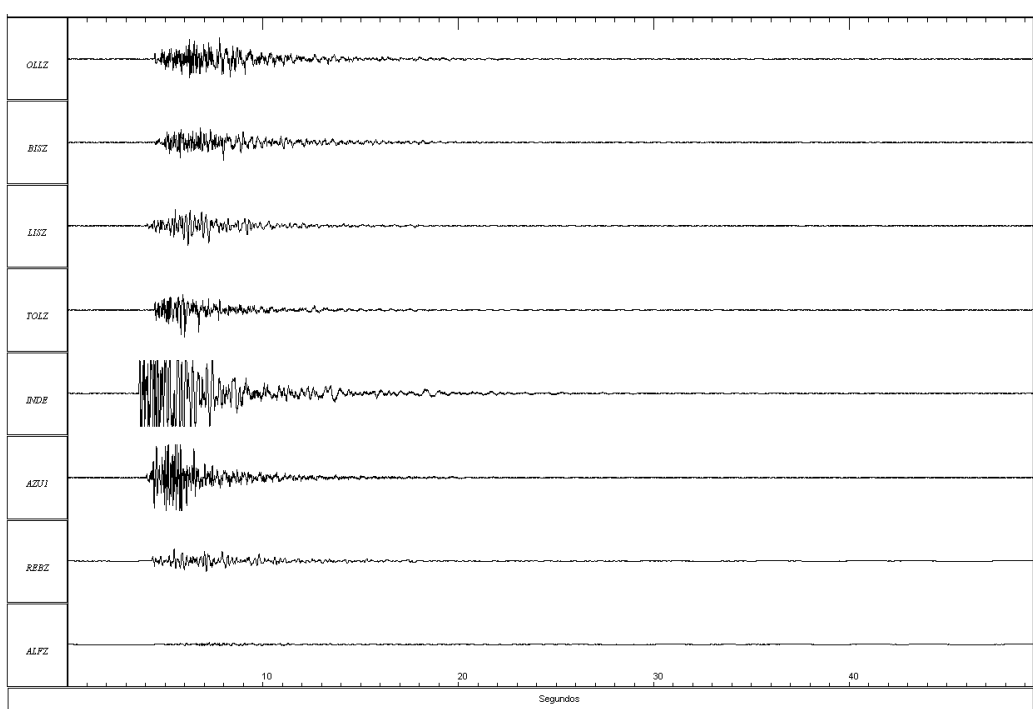


Figura 16. Forma de onda de un sismo de tipo HB registrado en el segundo semestre de 2011 en el Volcán Nevado del Ruiz.

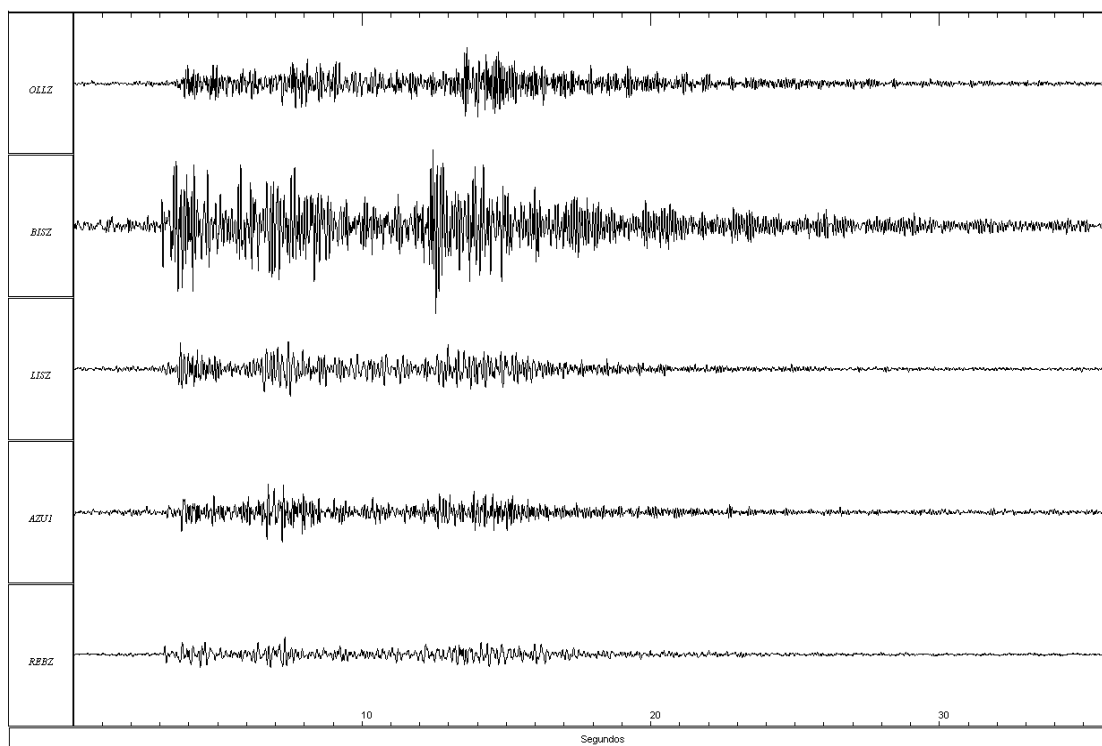


Figura 17. Forma de onda de un sismo de tipo ME registrado durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Nevado del Ruiz.

1.2.3 Señales asociadas a la actividad glacial y columna de gas

Durante el segundo semestre de 2011 se registraron un total de 36488 eventos relacionados con pequeñas avalanchas de rocas y/o hielo-nieve, generadas por la dinámica glacial en la parte alta del volcán.

A lo largo de éste período se registraron 368 señales que podrían estar asociadas a emisiones de gas y/o pequeñas explosiones. La mayor de ellas ocurrió el día 18 de Septiembre a las 16:25 (hora local), la cual alcanzó una duración de 54 s (Figura 18).

La columna de vapor relacionada con la actividad fumarólica en el cráter, mostró generalmente un color blanco (Figura 19) y alcanzó una altura máxima observada de 900m el día 21 de Agosto. En general, la columna estuvo deflectada hacia el sur occidente y tuvo una altura promedio de 600m.

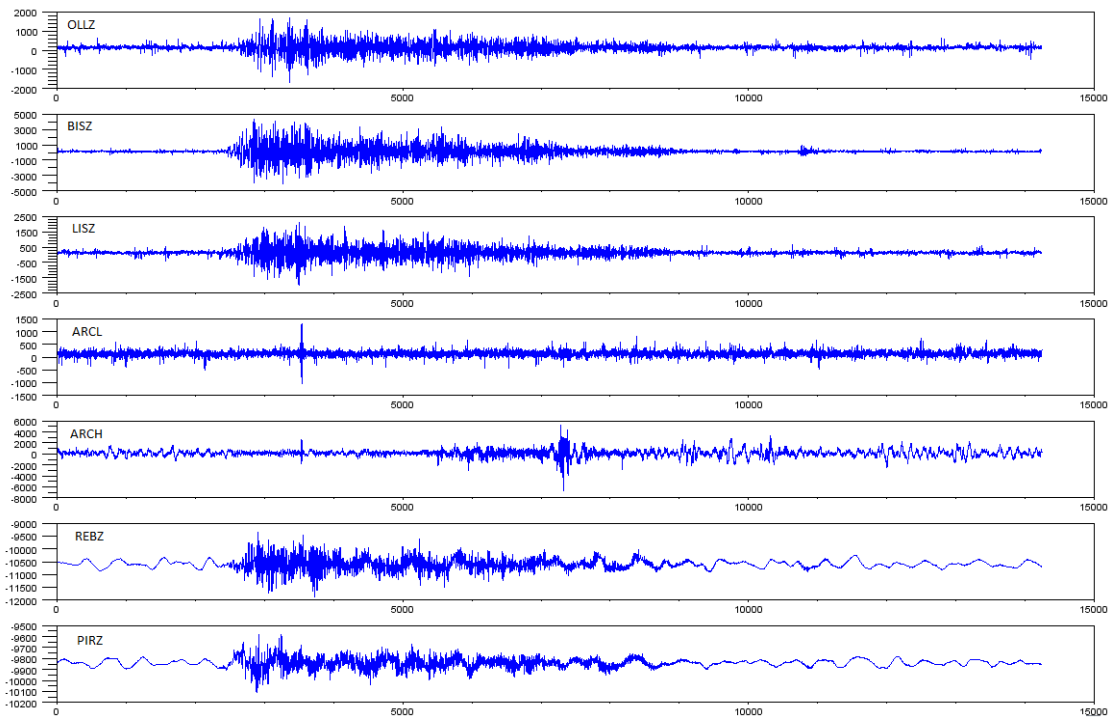


Figura 18. Forma de onda de una señal sísmica asociada a emisiones de gas y/o pequeñas explosiones registrada durante el segundo semestre en el Volcán Nevado del Ruiz.



Figura 19. Columna de gas en el Volcán Nevado del Ruiz. La altura máxima alcanzada durante el segundo semestre fue de 900m. Esta fotografía fue tomada desde el Observatorio Vulcanológico de Manizales, el día 21 de Agosto a las 06:00 (hora local).

1.3 GEOQUÍMICA

Durante el segundo semestre del 2011 el grupo de Geoquímica del OVSM realizó muestreos, análisis in situ y en el laboratorio de las Fuentes Termales, estaciones de Gases en Trampas Alcalinas y Campos Fumarólicos. También se realizó monitoreo permanente de las estaciones de Gas Radón al igual que el cálculo y análisis de emisiones de SO₂ de las estaciones telemétricas SCAN DOAS. En la Figura 20 se presenta el mapa con las estaciones geoquímicas en el VNR.

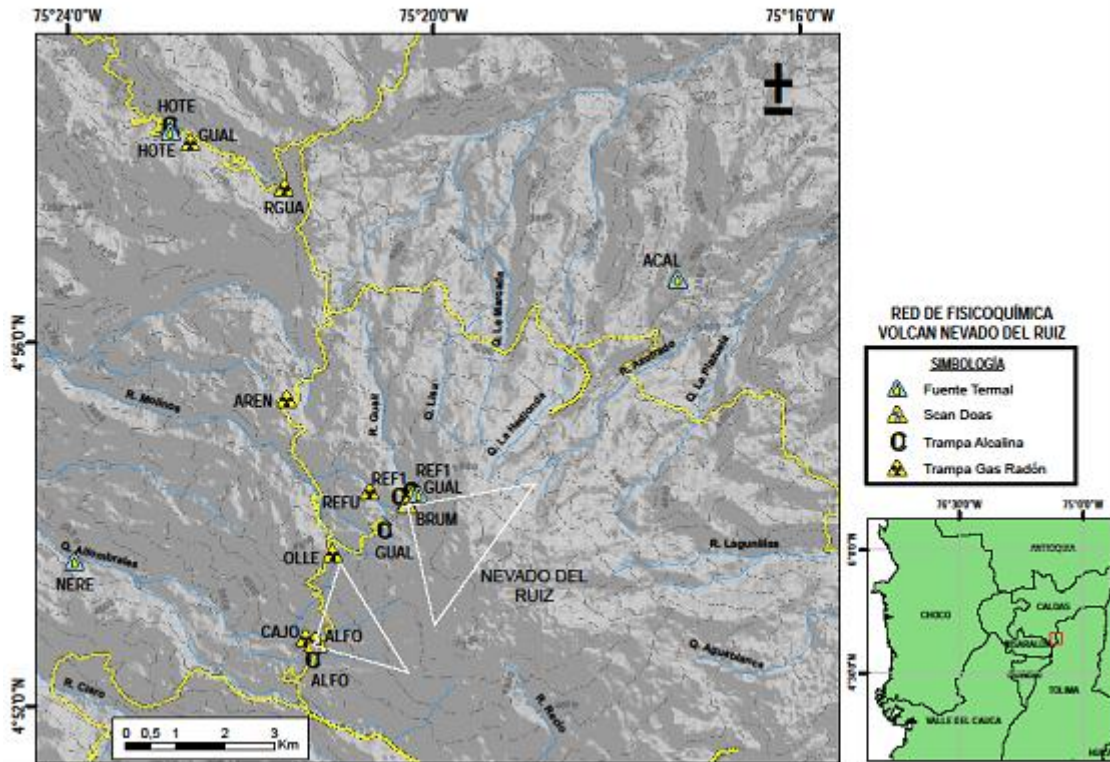


Figura 20. Mapa de Vigilancia Geoquímica Volcán Nevado del Ruiz.

1.3.1 Emisiones de Gas Radón

En el segundo semestre se monitorearon las estaciones de Gas Radón: GUALÍ, RÍO GUALÍ y CAJONES. El día 22 de Septiembre se instalaron 4 estaciones de Gas Radón en el VNR, estas nuevas estaciones complementarán el estudio de desgasificación difusa registrada en el volcán. En la Figura 21 se aprecia el modo de instalación de las estaciones.

Las coordenadas e identificación para las nuevas estaciones de gas Radón son las siguientes:

Estación NEREIDAS	: N04°52'34,2"	W75°21'12,9"	4485 msnm
Estación OLLETA	: N04°53'30,2"	W75°20'54,9"	4768 msnm
Estación REFUGIO	: N04°54'10,8"	W75°20'30,7"	4824 msnm
Estación ARENAL	: N04°55'12,2"	W75°21'24,9"	4335 msnm



Figura 21. Instalación de estaciones de Gas Radón: a) NEREIDAS, b) REFUGIO c) OLLETA y d) ARENAL. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

Los resultados del monitoreo muestran que se presentaron variaciones en la concentración de Radón en suelo durante todo el Segundo Semestre de 2011, las cuales fueron más evidente en las estaciones GUALÍ, RÍO GUALÍ Y CAJONES (Figura 22). Para las nuevas estaciones instaladas (Figura 23), los datos indican que los niveles de radón mostraron mayores variaciones en las estaciones REFUGIO Y ARENAL, las demás estaciones no mostraron cambios importantes. Las variaciones presentadas en la concentración de gas radón pueden estar relacionadas con la sismicidad volcano-tectónica registrada en el VNR durante el segundo semestre del 2011.

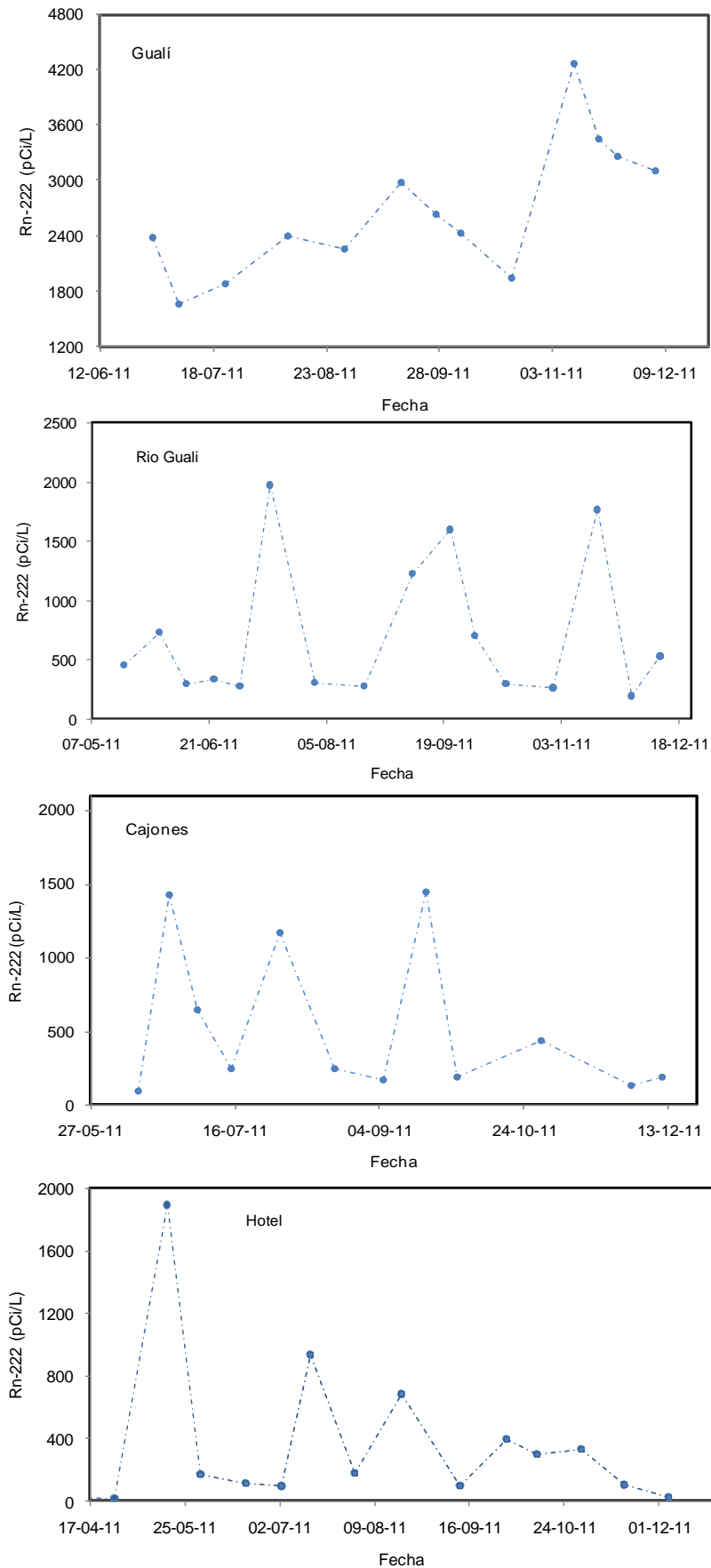


Figura 22. Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones: GUALÍ, RIO GUALI, CAJONES y HOTEL. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

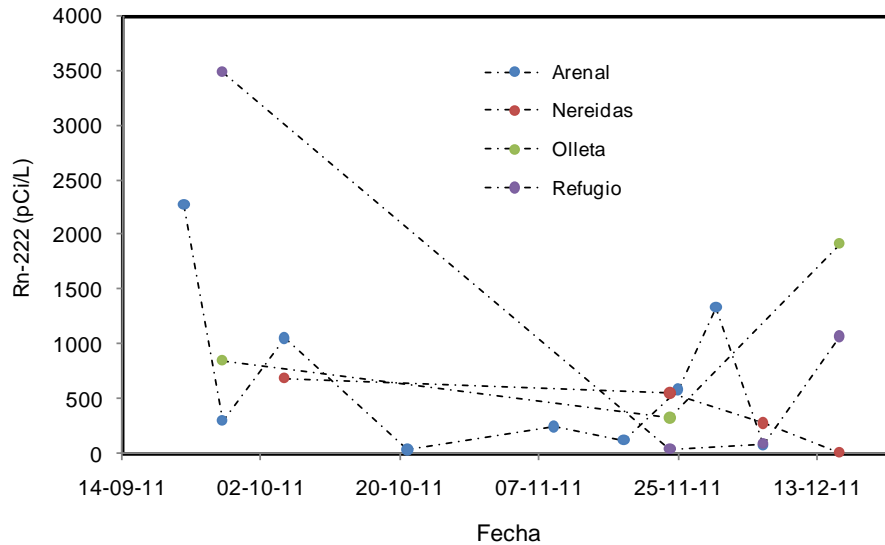


Figura 23. Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones: ARENAL, NEREIDAS, OLLETA y REFUGIO. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

1.3.2 Fuentes Termales (FT)

En el segundo semestre del 2011 se realizó monitoreo periódico en tres fuentes termales: HOTEL, GUALÍ y AGUAS CALIENTES. Los valores en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales durante este semestre del año presentaron en general, estabilidad. En la Figura 24 se aprecia el comportamiento de la temperatura con el tiempo para los nacimientos, allí se aprecia que HOTEL y AGUAS CALIENTES mantuvieron sus temperaturas en promedio en 59 y 58°C respectivamente. Del nacimiento GUALÍ solo se tienen datos hasta el mes de Agosto, durante sus medidas se observaron fluctuaciones entre 2 y 3 °C.

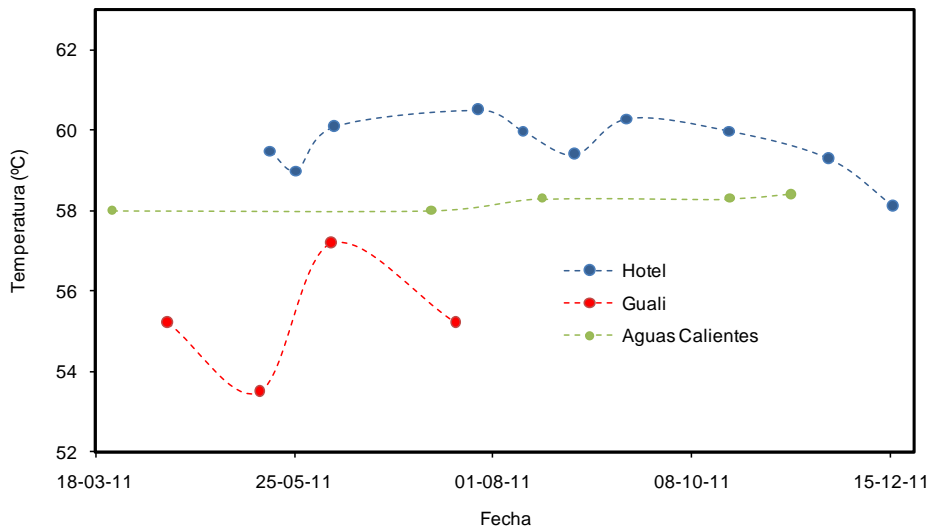


Figura 24. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

En lo referente al pH, no se aprecian variaciones importantes en las fuentes termales los valores promedios para GUALI, HOTEL y AGUAS CALIENTES fueron de 2.73, 1.57 y 1.12 respectivamente. Todos los valores registrados se encuentran dentro de sus líneas base (Figura 25).

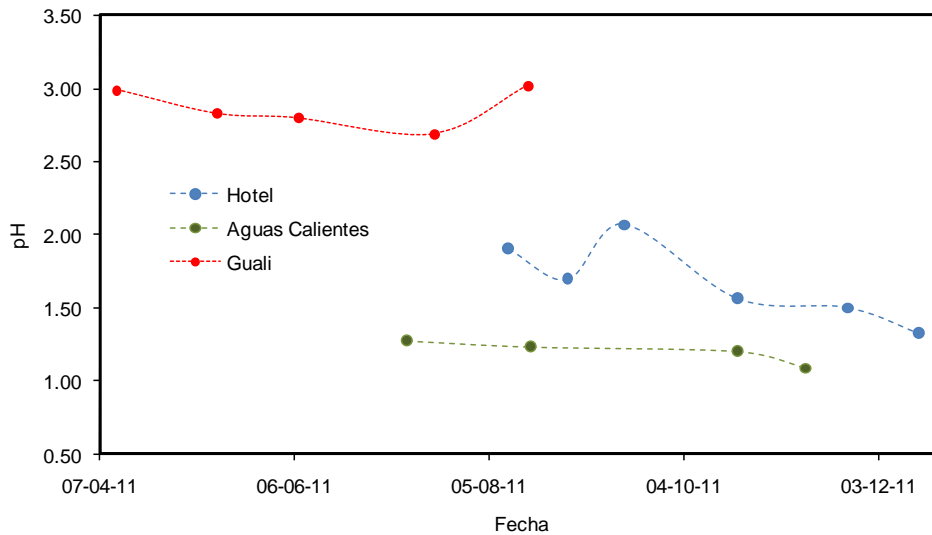


Figura 25. Variación del pH en Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

La conductividad eléctrica de las fuentes termales monitoreadas sigue presentando variaciones apreciables. La conductividad eléctrica para AGUAS CALIENTES sigue presentando valores altos, se registraron valores por encima de los 20 mS/cm. Estos incrementos están asociados a mayor disolución de las rocas circundantes al nacimiento, lo cual ocurre en ambientes con pH muy bajos (Figura 26).

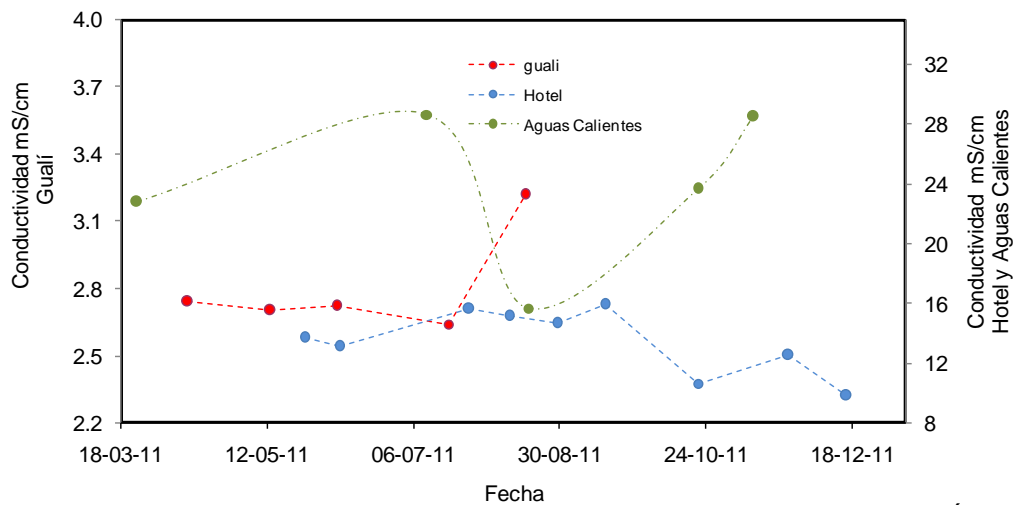


Figura 26. Variación de la Conductividad Eléctrica en las Fuentes Termales: GUALÍ, HOTEL y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

Respecto al contenido de aniones mayoritarios (Figura 27 y Figura 28) no se presentaron variaciones en la concentración de Cloruros y Sulfatos. HOTEL registró en promedio una concentración de 870 ppm de iones Cl en el segundo semestre. La concentración promedio para GUALÍ fue de 148 ppm. Para el nacimiento AGUAS CALIENTES estuvo en 1485 ppm. En lo referente a la concentración de Sulfatos, los valores permanecieron estables durante las medidas realizadas.

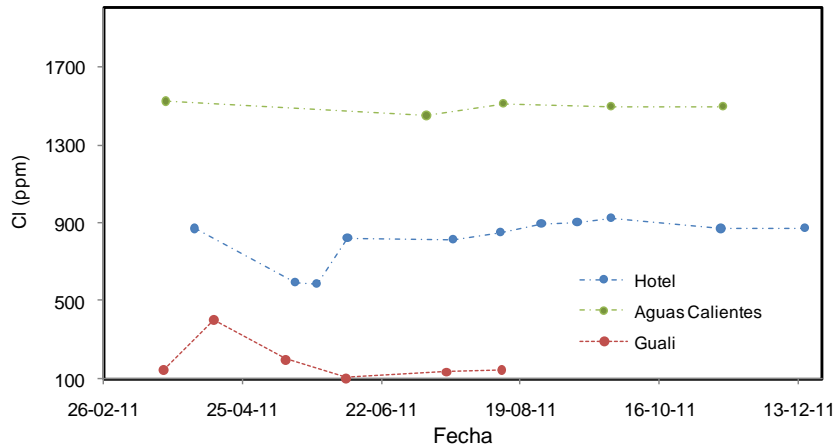


Figura 27. Variación de la Concentración de Cloruros en las Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

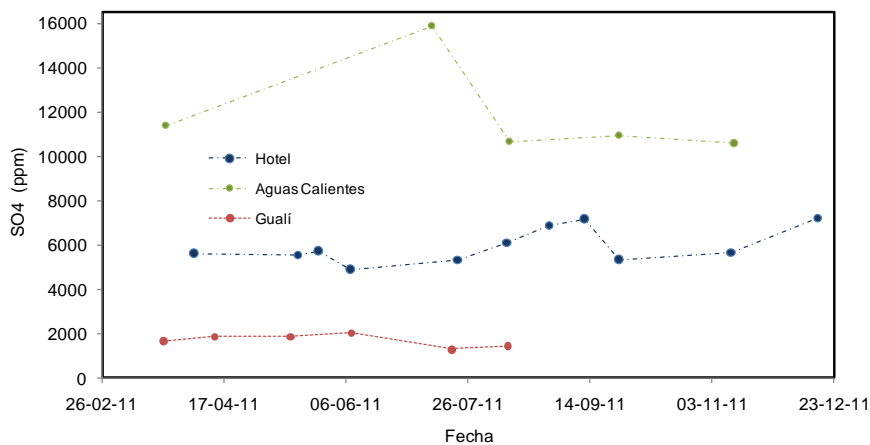


Figura 28. Variación de la Concentración de Sulfatos en las Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

Durante el mes de Julio se realizó una comisión de campo para realizar reconocimiento y muestreo de las Fuentes Termales EL CALVARIO y CORRALITOS (Figura 29) las medidas de temperatura fueron de 23 y 33°C respectivamente, los pH oscilaron entre 3,5 y 4,2. También se realizó muestreo directo en la Fumarola EL CALVARIO, la temperatura registrada fue de 75°C.

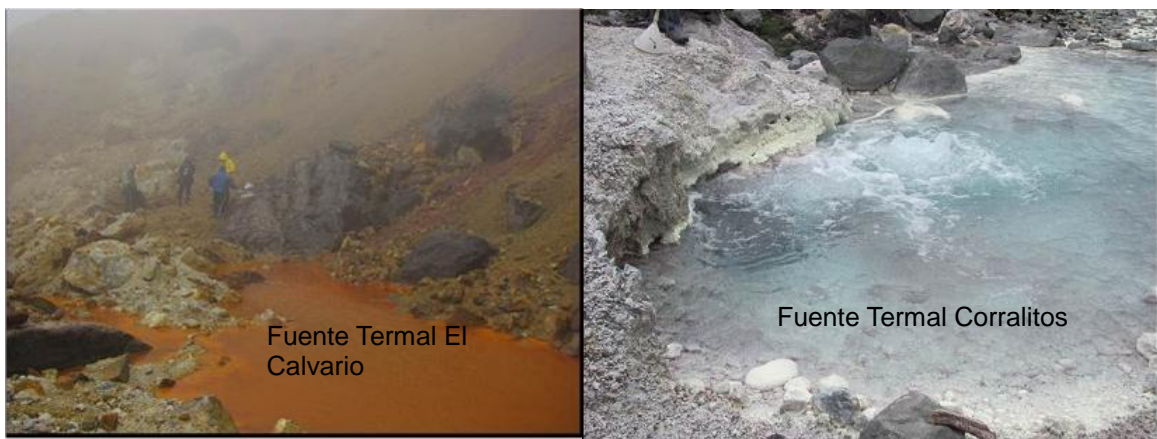


Figura 29. Fuentes Termales EL CALVARIO y CORRALITOS. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

1.3.3 Gases en Trampas Alcalinas

Durante el segundo semestre de 2011 se realizó monitoreo a 7 estaciones de gases en el VNR. De acuerdo a los resultados de los análisis de gases ácidos el contenido de CO_2 mostró variaciones durante todo el segundo semestre, especialmente en REFUGIO 2 y GUALÍ. El contenido molar de CO_2 osciló entre el 57 y 95%. El contenido de HCl sigue siendo muy bajo (0,18%). En cuanto al contenido molar de la especie SO_2 , se presentaron incrementos durante el mes de Julio alcanzando más del 45% en las estaciones REFUGIO 2 y GUALÍ. En la Figura 30 se puede observar el comportamiento de la concentración de los gases ácidos en 5 de las estaciones ubicadas en inmediaciones del VNR.

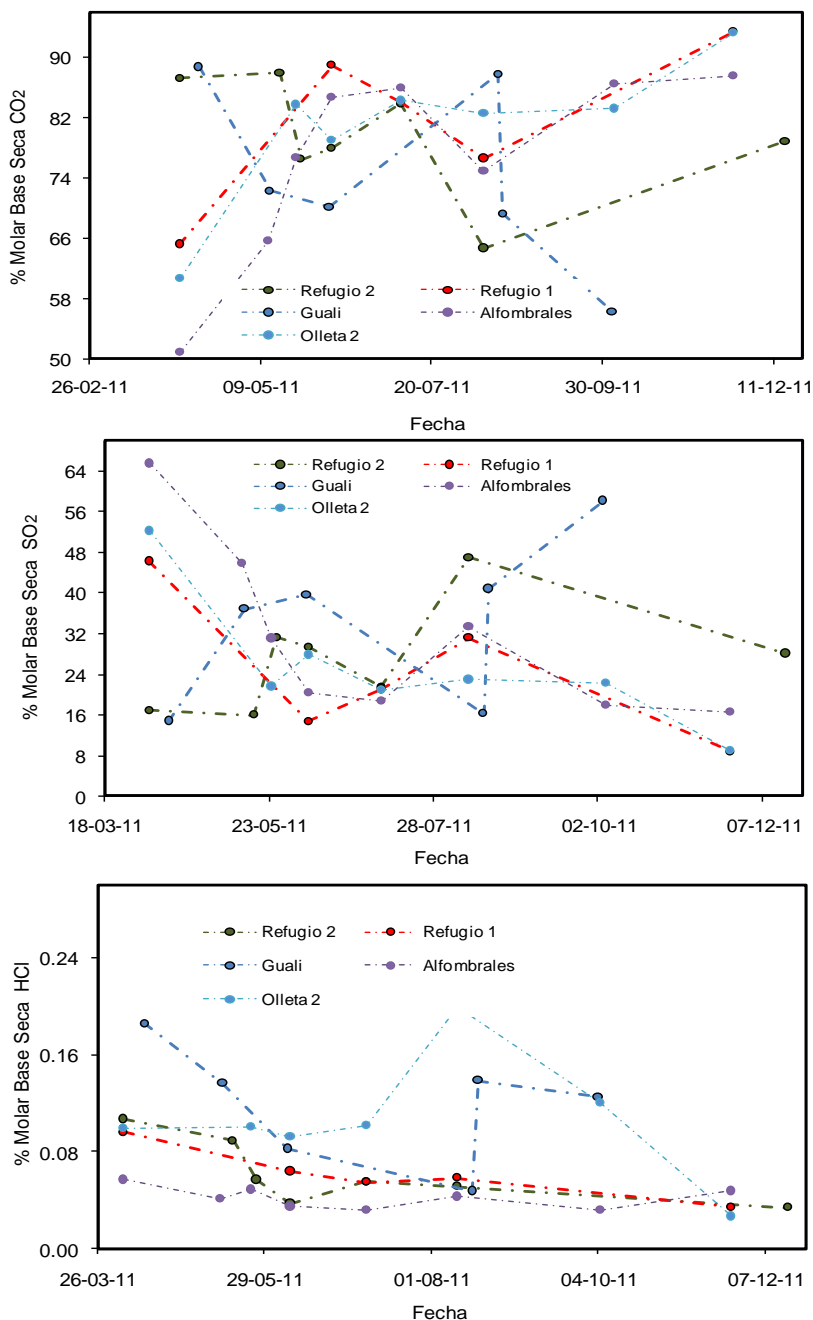


Figura 30. Variación en el contenido de Gases: CO_2 , HCl y SO_2 en Trampas Alcalinas: REFUGIO 1, REFUGIO 2, OLLETA 2, GUALÍ y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

Las dos estaciones de Trampas Alcalinas que se encuentran ubicadas en las fuentes o manantiales termales del VNR son FT GUALÍ y FT HOTEL. Durante las medidas realizadas el segundo semestre de 2011 no se presentaron variaciones en el contenido molar de CO₂ y de HCl, en promedio se mantuvieron en el 95% y 0,06% respectivamente. El contenido molar de SO₂ para la FT Hotel y FT Gualí fue constante durante las medidas, (Figura 31)

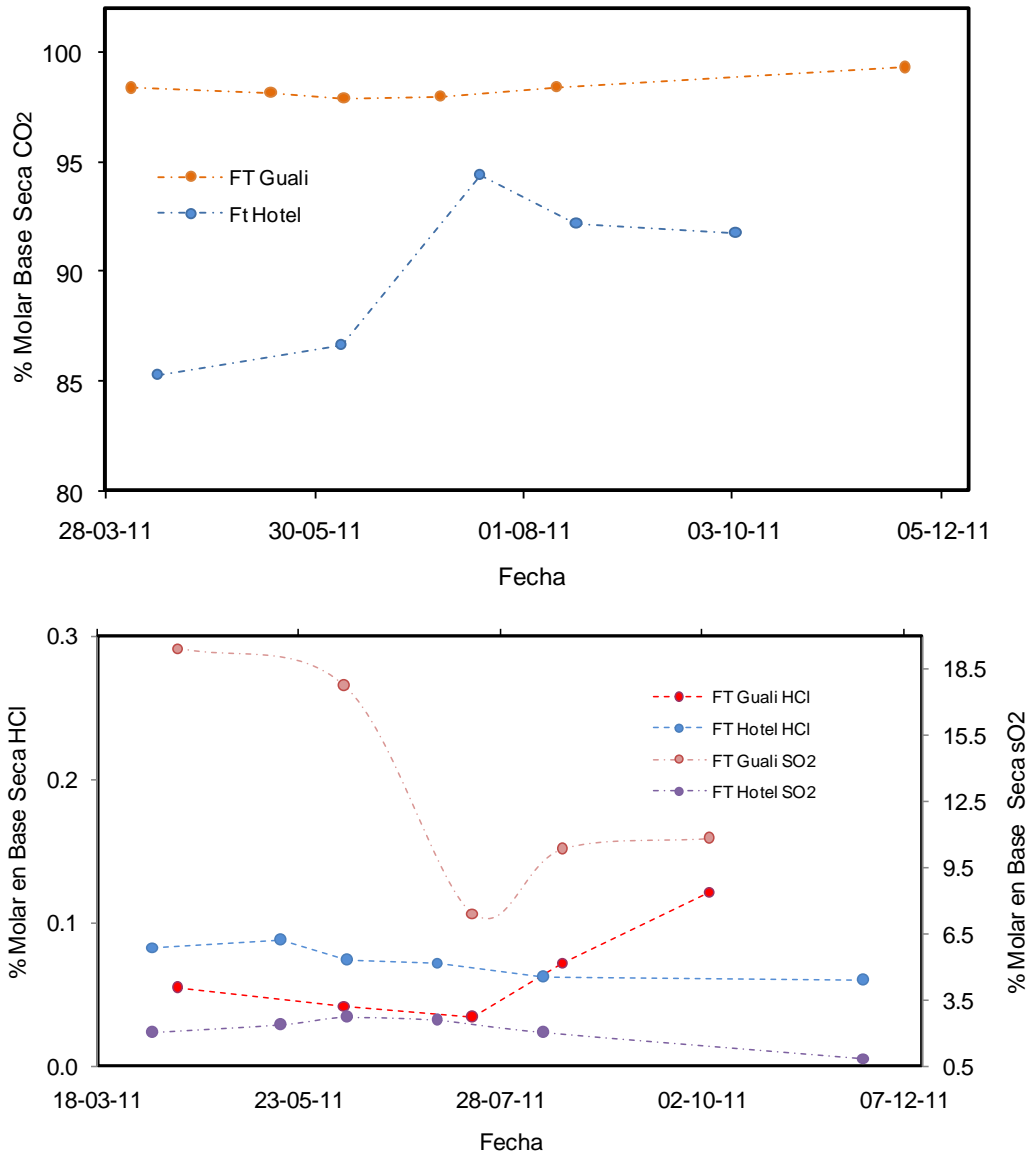


Figura 31 . Variación en el contenido de Gases: CO₂, HCl y SO₂ en Trampas Alcalinas: FT GUALI y FT HOTEL. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

1.3.4 Gases en Botellas de Giggenbach

El muestreo directo en las Fumarolas EL CALVARIO y NEREIDAS (Figura 32) se realizó mediante el uso de Botellas de Giggenbach, la temperatura registrada fue de 74,5 y 87°C respectivamente.



Figura 32. Muestreo directo en las Fumarolas: a) Calvario y b) Nereidas. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo semestre de 2011.

Los análisis de gases ácidos no mostraron variaciones importantes en su composición, el contenido de especies mayoritarias es el siguiente:

Fumarola	%CO ₂	%St	%SO ₂	%HCl
Nereidas	87,699	12,232	15,923	0,062
Calvario	86,998	12,900	16,992	0,094

% Molar en Base Seca

1.3.5 Flujo de SO₂. Estaciones SCAN DOAS

Durante el segundo semestre del 2011 la estación SCAN DOAS ALFOMBRALES, presentó algunos inconvenientes en su funcionamiento, ya en el mes de Noviembre se logró su restablecimiento normal. La Estación BRUMA permitió obtener un buen número de escaneos durante este segundo semestre aunque algunos días no hubo registros debido a las condiciones climáticas en el Volcán. En época invernal la nubosidad impide la llegada de luz UV al telescopio, por lo tanto se interrumpe la transferencia de luz al espectrómetro, lo que hace imposible cuantificar la cantidad de dióxido de azufre emitida.

Durante las medidas del segundo semestre se presentaron incrementos en las emisiones de SO₂ especialmente en los meses de Agosto, Septiembre y Noviembre. El máximo valor calculado durante las medidas del segundo semestre del año se registró el día 29 de Julio con 4979 ton/día. Los cálculos de flujo se realizaron teniendo en cuenta las condiciones de viento (dirección y velocidad) que genera el IDEAM mediante el Modelo WRF 00Z a 20 Km de resolución y a una altura estimada de pluma de 1000 m para BRUMA y de 1300 m para ALFOMBRALES (Figura 33).

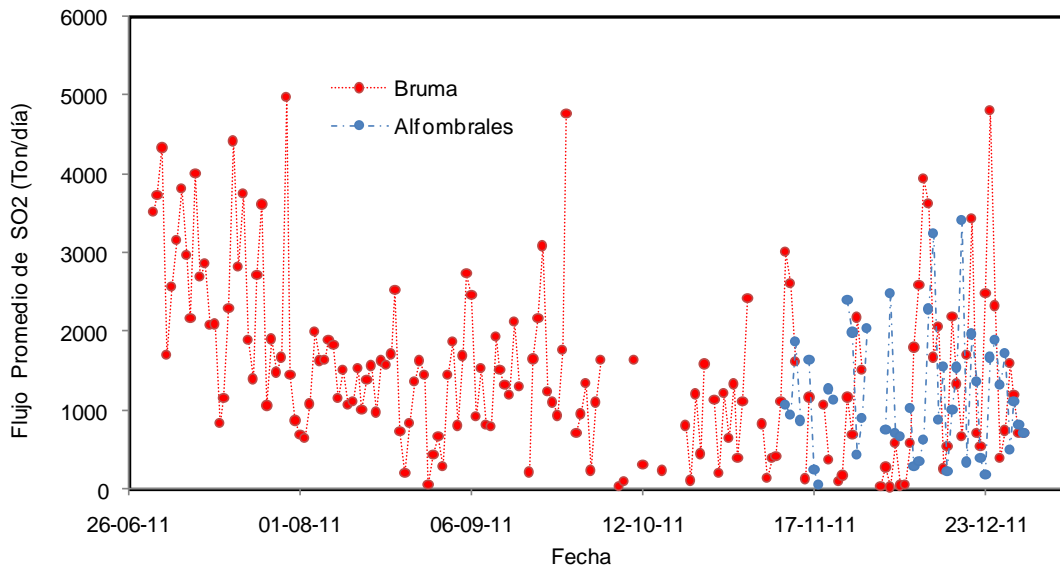


Figura 33. Emisión de SO₂ estaciones SCAN DOAS: BRUMA Y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

En la Figura 34 se observan los valores promedio de emisión de SO₂ registrados durante el segundo semestre del 2011. En el mes de Septiembre se registraron los mayores promedios de SO₂ se calcularon 1583 Ton/día en la estación BRUMA. La estación ALFOMBRALES registró un promedio de 1100 Ton/día durante los meses de Noviembre y Diciembre.

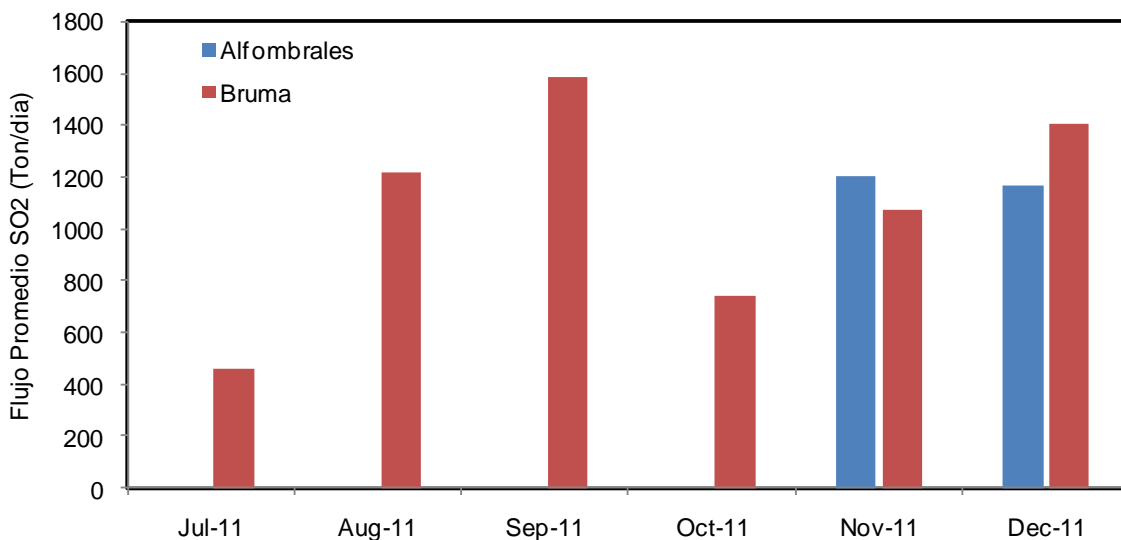


Figura 34. Promedio de SO₂ en estaciones SCAN DOAS: BRUMA y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Segundo Semestre de 2011.

1.4 DEFORMACIÓN

Durante el II semestre de 2011 se contó con el funcionamiento permanente de siete inclinómetros electrónicos, dos bases para la medición electrónica de distancias así como tres estaciones GNSS permanente. Es importante resaltar la ampliación de la red geodésica en el volcán con la instalación y puesta en funcionamiento de dos estaciones GNSS permanente (Figura 35).

En cuanto a las ocupaciones de campo, se realizaron mediciones EDM con el fin de complementar los datos obtenidos por la red telemétrica. Durante el semestre no se realizaron mediciones de control topográfico.

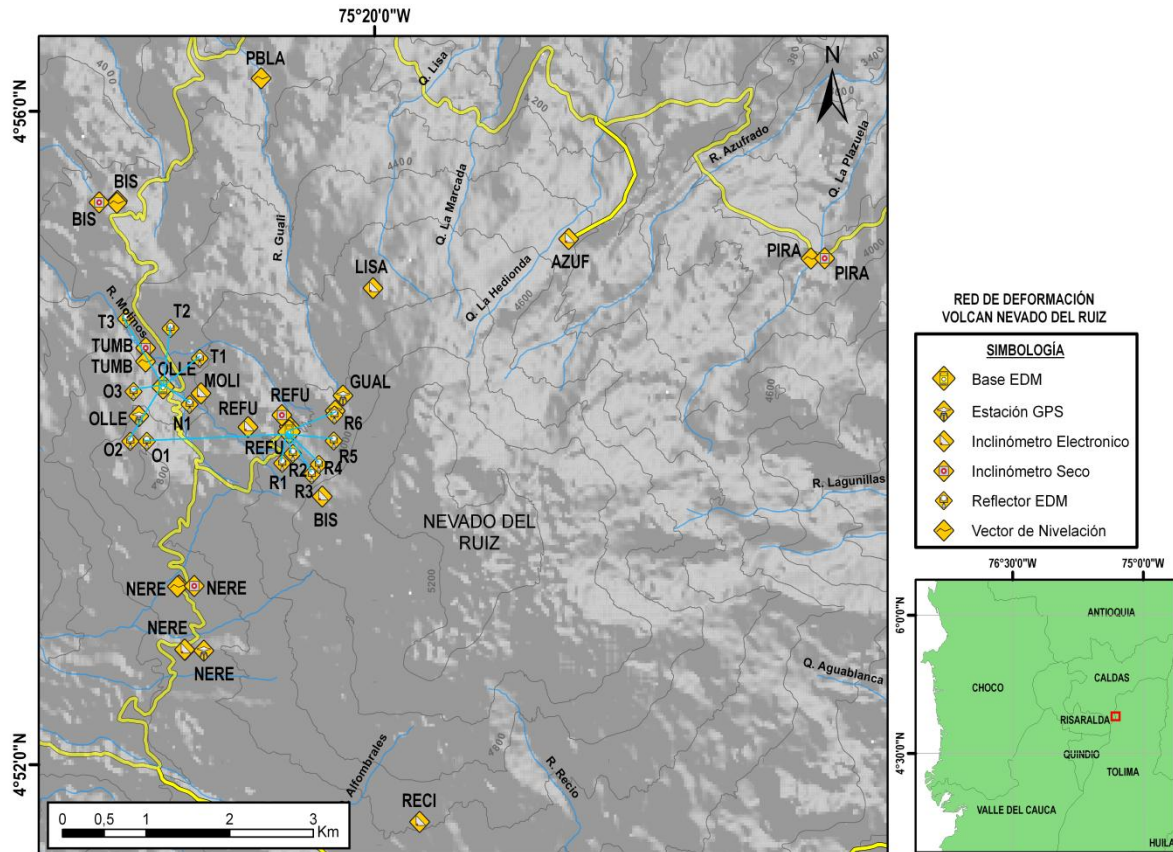


Figura 35. Red Geodésica del VNR. II semestre de 2011.

1.4.1 Comportamiento inclinómetros electrónicos

En el VNR se tienen instalados siete inclinómetros electrónicos de plataforma nivelante de 2 ejes, provisto de un sensor de temperatura. Cada estación de inclinometría cuenta con un sistema de alimentación, una tarjeta digitalizadora para el registro de los cambios de voltaje asociados a los cambios de inclinación, y un sistema telemétrico. El eje Y de cada sensor se orienta hacia el Norte magnético terrestre, por consiguiente el eje X se orienta hacia el Este magnético. Cada inclinómetro envía datos de inclinación teleméricamente cada 10 minutos, los cuales son transformados a radianes. Para el análisis de los datos de inclinometría electrónica se tiene en cuenta que, el registro de cambios negativos en las componentes Norte y Este está asociado con inclinaciones positivas (Proceso inflacionario) del sensor, y cambios positivos se asocian con inclinaciones negativas (Proceso deflacionario)

1.4.1.1 Inclinómetro electrónico AZUFRADO

El comportamiento de esta estación durante el II semestre de 2011 se caracterizó por continuar presentando grandes fluctuaciones asociadas a los cambios de temperatura del lugar, sin embargo la componente norte muestra una tendencia inflacionaria del orden de $40 \mu\text{rad}$ (Figura 36).

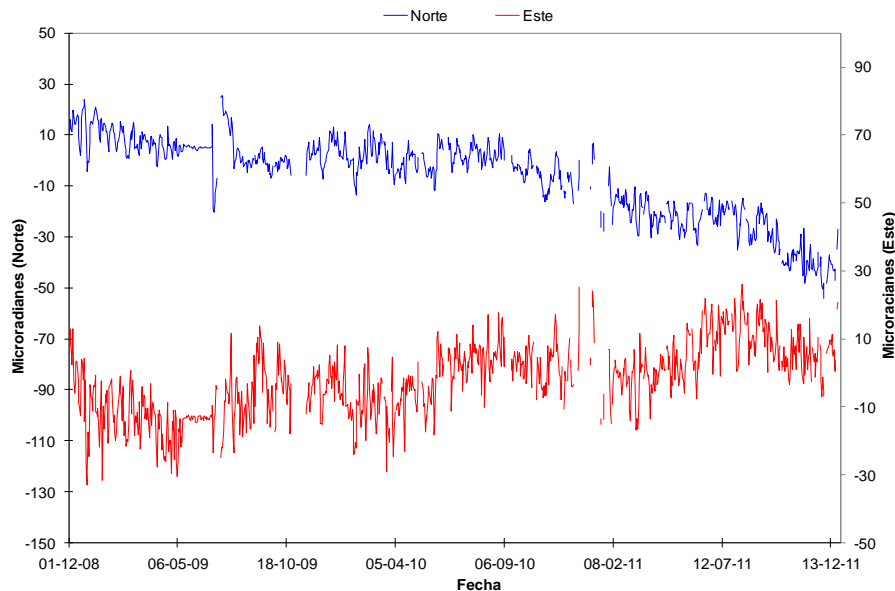


Figura 36. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico AZUFRADO durante el segundo semestre de 2011.

1.4.1.2 Inclinómetro electrónico BIS

El comportamiento del inclinómetro electrónico BIS durante el semestre se caracterizó por mostrar pequeñas fluctuaciones. La componente Norte mantuvo una tendencia estable hasta finales de Octubre de 2009, fecha en la cual se empezó a observar un constante ascenso con registro de un cambio acumulado de $100 \mu\text{rad}$ hasta el 30 de Junio de 2009. A partir de ahí las dos componentes muestran un comportamiento estable (Figura 37).

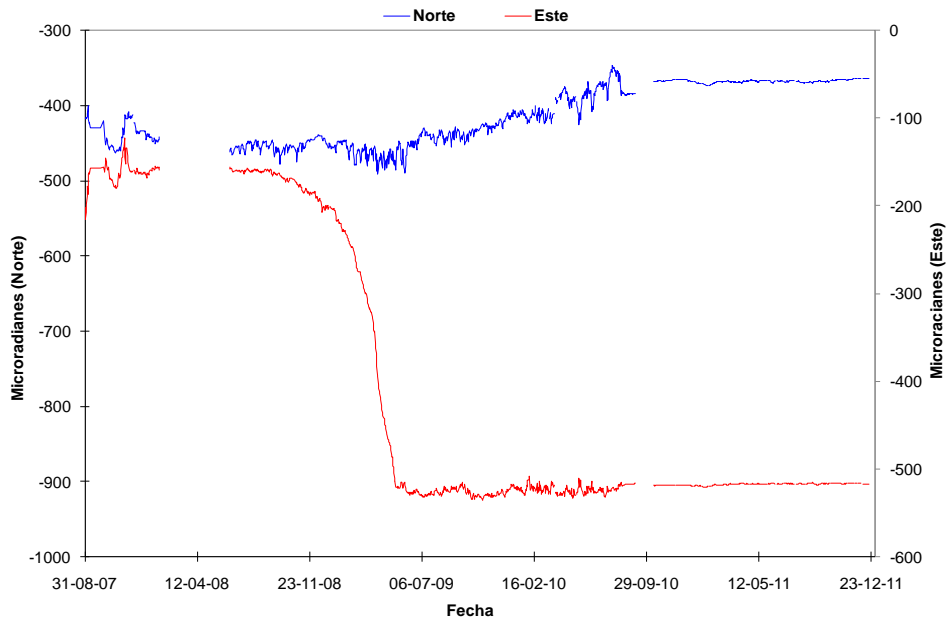


Figura 37. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico BIS hasta el segundo semestre de 2011.

1.4.1.3 Inclinómetro electrónico LISA

El comportamiento del inclinómetro electrónico LISA durante el semestre se caracterizó por no presentar fluctuaciones en sus dos componentes, como respuesta de la implementación del sistema de protección del sensor de inclinometría para reducir el efecto de temperatura. A partir de Octubre de 2010, las dos componentes muestran un comportamiento deflacionario con registro de 14 μrad . Después del comportamiento registrado antes de septiembre de 2009 (Figura 38).

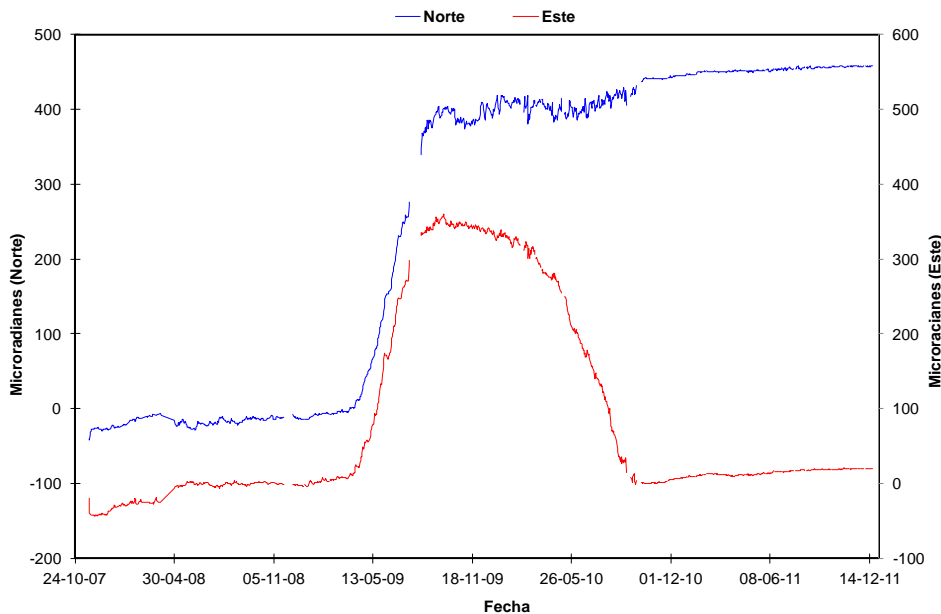


Figura 38. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico LISA hasta el segundo semestre de 2011.

1.4.1.4 Inclinómetro electrónico RECIO

Esta estación continúa mostrando grandes fluctuaciones en sus 2 componentes, siendo más marcadas en la componente Este. Pese a las grandes fluctuaciones, su comportamiento se caracteriza por mantener estabilidad hasta Octubre de 2010, fecha a partir de la cual se empieza a registrar un comportamiento inflacionario con registro de $5 \mu\text{rad}$ y $12 \mu\text{rad}$ en las componentes Norte y Este respectivamente. Después de esto no se han registrado cambios importantes en las componentes (Figura 39).

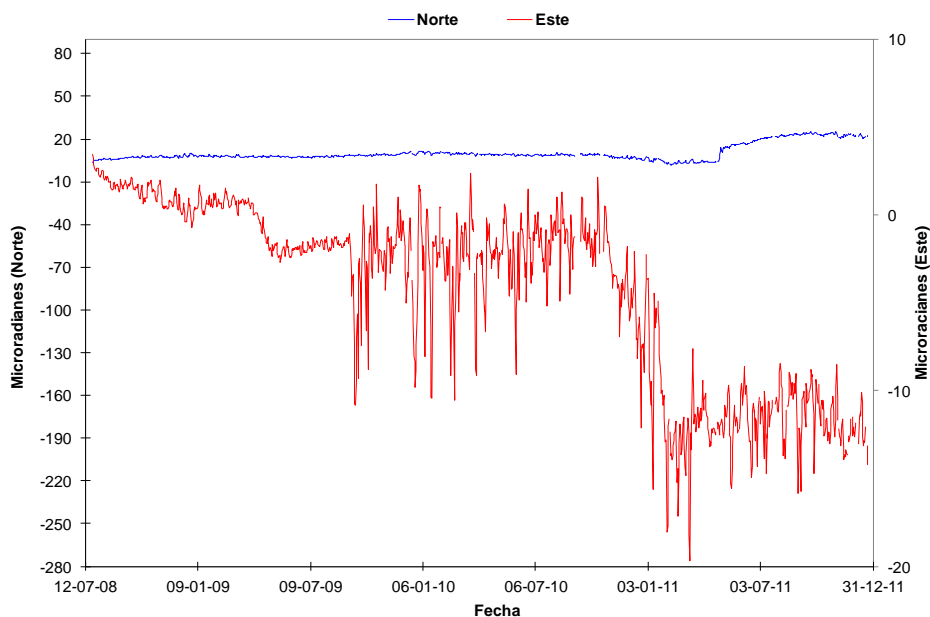


Figura 39. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico RECIO hasta el segundo semestre de 2011.

1.4.1.5 Inclinómetro electrónico REFUGIO

Esta estación continúa mostrando grandes fluctuaciones en sus 2 componentes asociadas a los grandes cambios de temperatura en el lugar, siendo más marcadas en la componente Este. Su comportamiento en los últimos meses muestra estabilidad (Figura 40).

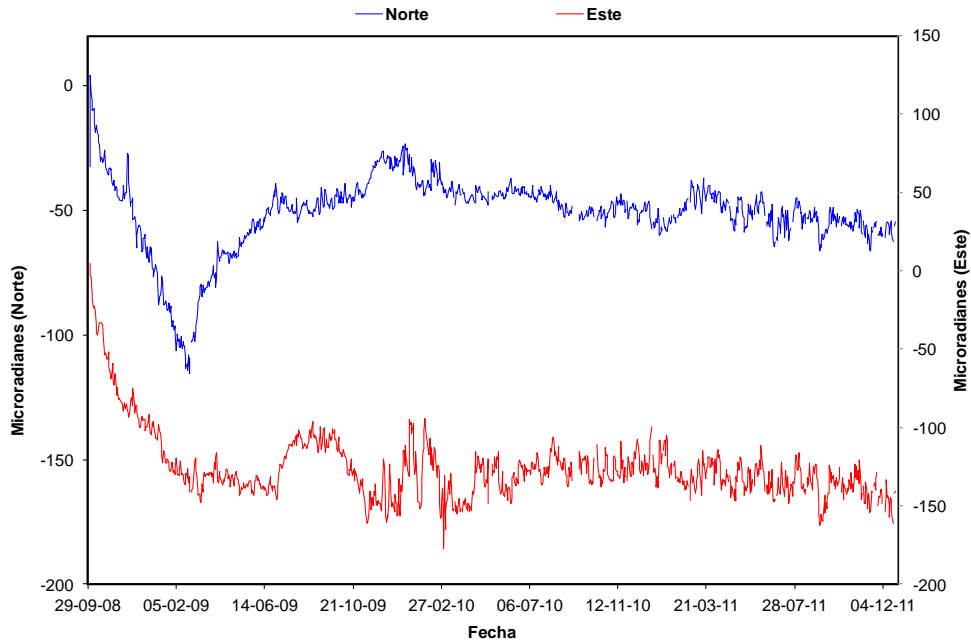


Figura 40. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico REFUGIO hasta el segundo de semestre de 2011.

1.4.1.6 Inclinómetro electrónico NEREIDAS

Las componentes Norte y Este de esta estación muestran pequeñas fluctuaciones, como respuesta a la temperaturas del lugar. Su comportamiento se caracteriza por mantener en general estabilidad. Después de su instalación en el mes de Marzo (Figura 41).

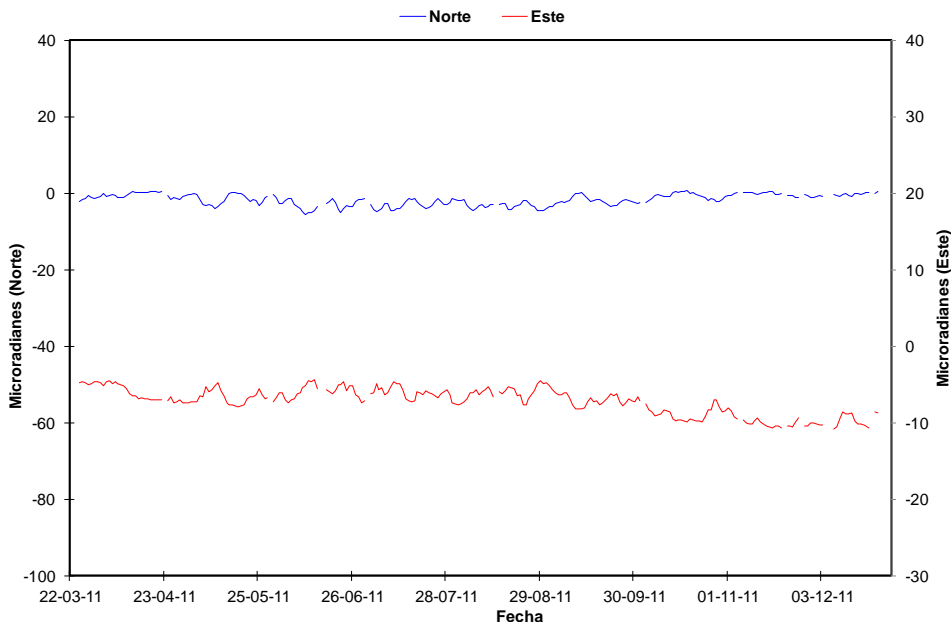


Figura 41. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico NEREIDAS durante el segundo semestre de 2011.

1.4.1.7 Inclinómetro electrónico MOLINOS

Durante el semestre esta estación muestra pequeñas fluctuaciones en sus componentes, asociadas principalmente a cambios térmicos del lugar. La componente norte muestra una tendencia deflacionaria acumulada del orden de $50 \mu\text{rad}$ (Figura 42).

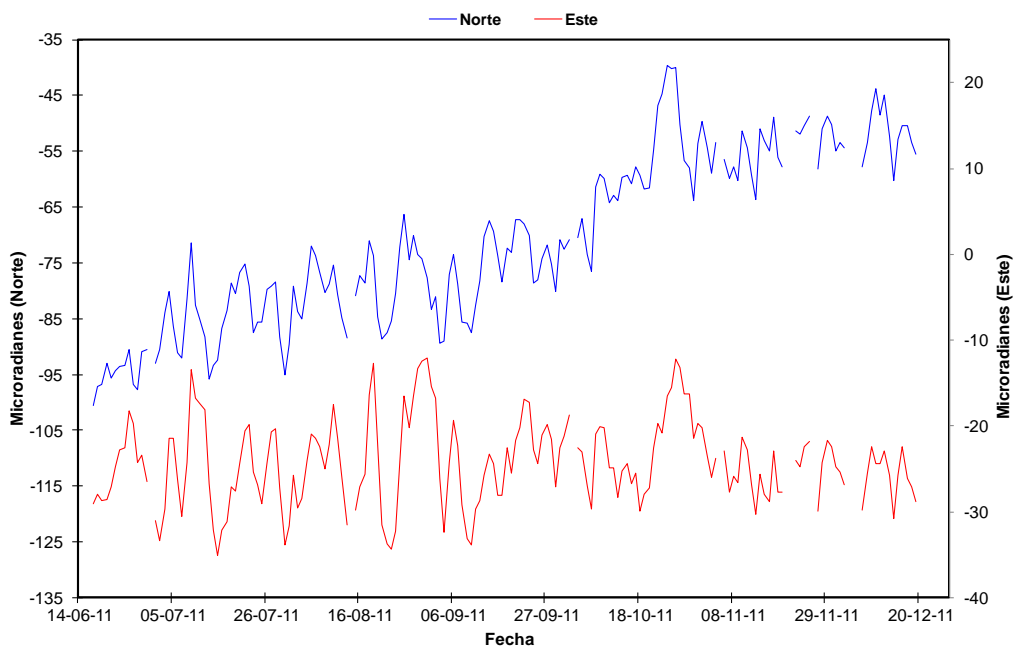


Figura 42. Comportamiento de las componentes Norte, Este del inclinómetro electrónico MOLINOS hasta el segundo semestre de 2011.

1.4.2 Comportamiento líneas EDM

Durante el II semestre del 2011 se realizaron dos mediciones de los reflectores EDM instalados en el VNR a partir de las base EDM REFUGIO y OLLETA. En general, todas las líneas muestran en general estabilidad. Con excepción de pequeños cambios en algunos reflectores desde la base de Olleta. (Figura 43 y Figura 44).

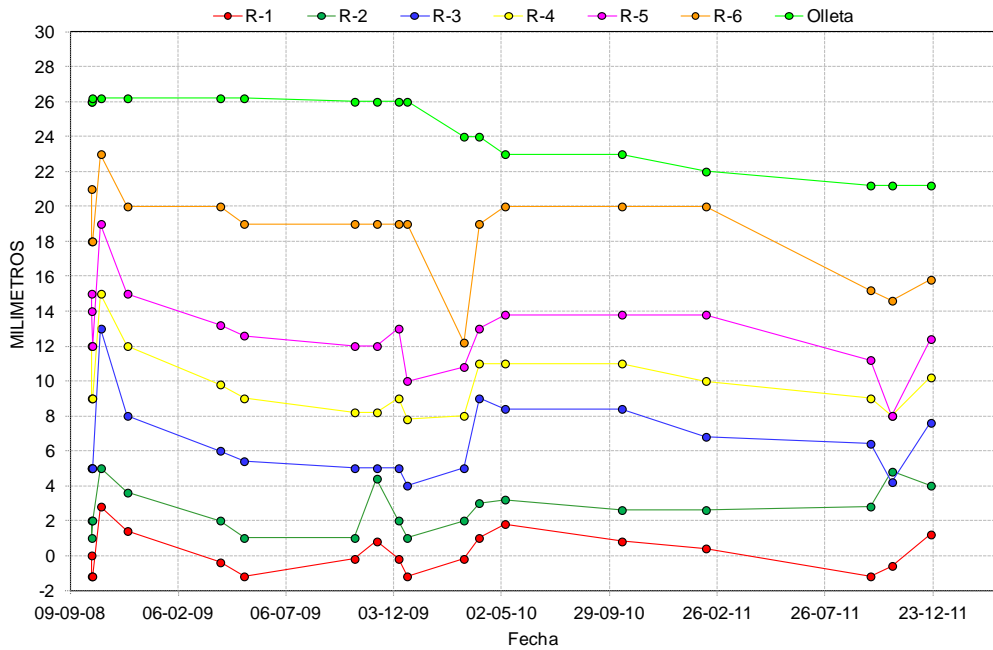


Figura 43. Comportamiento de los reflectores REFUGIO-1, REFUGIO-2, REFUGIO-3, REFUGIO-4, REFUGIO-5, REFUGIO-6 y OLLETA-1 medidos desde la base EDM REFUGIO, desde Septiembre de 2008 hasta Diciembre de 2011.

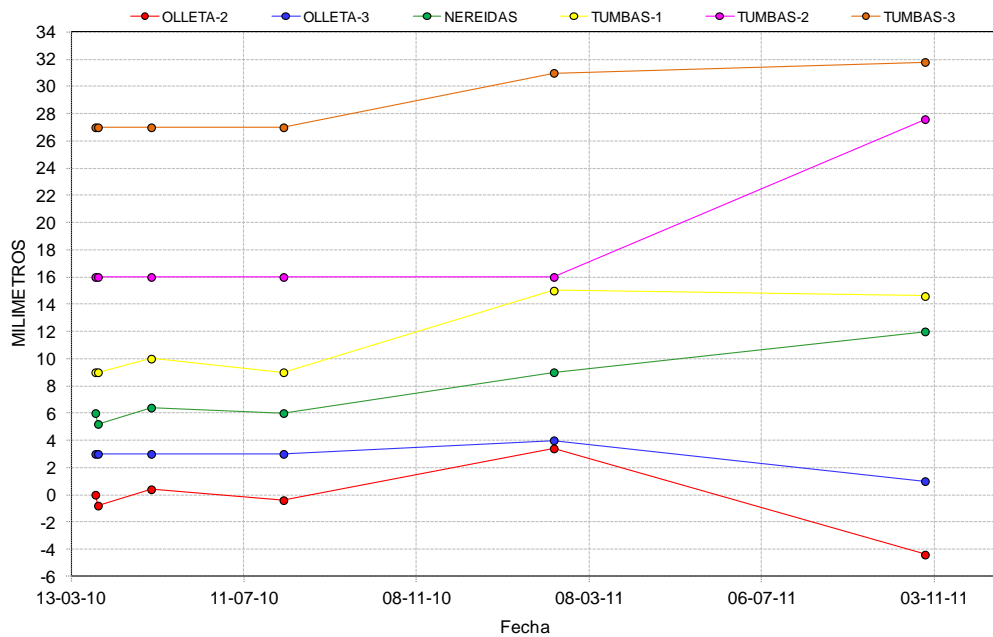


Figura 44. Comportamiento de los reflectores OLLETA-2, OLLETA-3, NEREIDAS, TUMBAS-1, TUMBAS-2 y TUMBAS-3 medidos desde la base EDM OLLETA, desde Marzo de 2010 hasta Diciembre de 2011.

1.4.3 ESTACIONES GNSS

Durante el segundo semestre de 2011 se amplió la red de estaciones de GNSS en el Volcán Nevado del Ruiz con la instalación de dos estaciones de nombre NEREIDAS y OLLETA localizadas al noroccidente y occidente del edificio volcánico y así seguir avanzando en el monitoreo e investigación del fenómeno volcánico. (Figura 45).

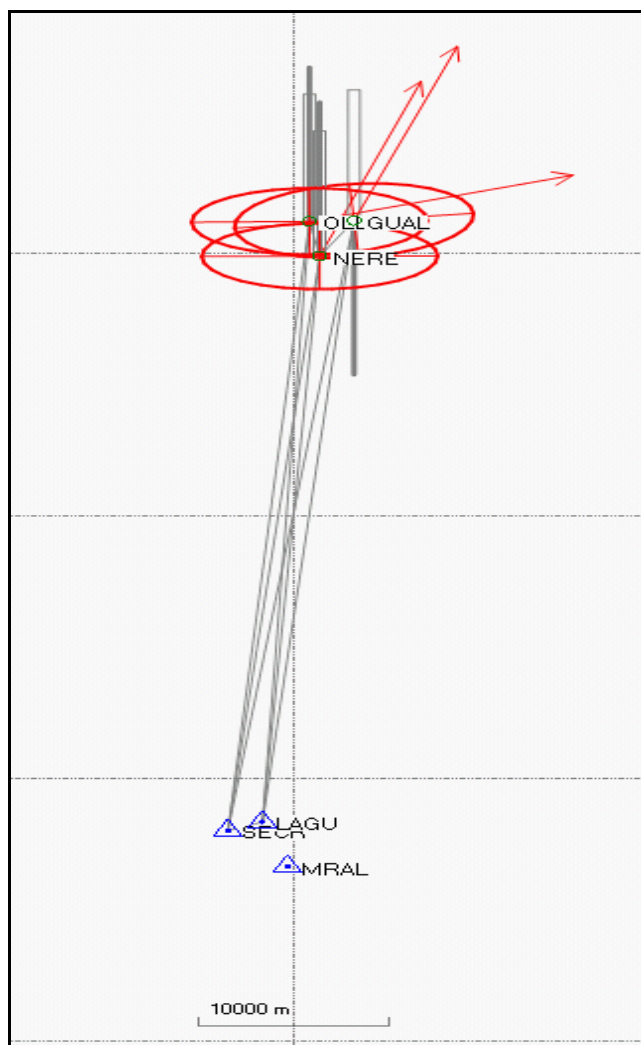


Figura 45. Estaciones GNSS. Volcán Nevado del Ruiz II semestre de 2011.

2. VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT)

2.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia del Volcán Nevado del Tolima, durante el segundo semestre del 2012 fue del 81.66%.

El porcentaje de operación para los sistema de corto periodo fue del 70.03%, para el sistema de Banda Ancha de 64.02% y para la inclinometría del 95.54%.

Las actividades realizadas en este periodo son la digitalización de la señal de ESMERALDA y el retiro el sumador dejando solo las señales de SAN JUAN, SANTA MARTA, LAJAS y SAN LORENZO en el sistema de telemetría análoga. Cambio del sensor de corto periodo por uno de banda ancha en la estación de ESMERALDA (Figura 46).



Figura 46. Instalación del sensor de Banda Ancha en la estación de Esmeralda.

2.2 SISMOLOGÍA

La actividad sísmica del Volcán Nevado del Tolima (VNT) permaneció estable durante el segundo semestre de 2011. Las Figura 47, Figura 48 y Figura 49 muestran la red de vigilancia sísmica del Volcán Nevado del Tolima, los valores de energía y el número de sismos diarios durante este periodo, respectivamente. Se registraron 13 sismos asociados a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Tipo VT), (Figura 50) con una magnitud máxima registrada de 1.58 en la escala de Richter ocurrido el día 04 de Julio a las 13:46 (hora local), además se registraron 10 sismos de largo periodo (Tipo LP), asociados a movimiento de fluidos. La magnitud máxima alcanzada fue de 1.22 en la escala de Richter, correspondiente a un evento registrado el día 23 de Septiembre a las 15:49 (hora local), (Figura 51).

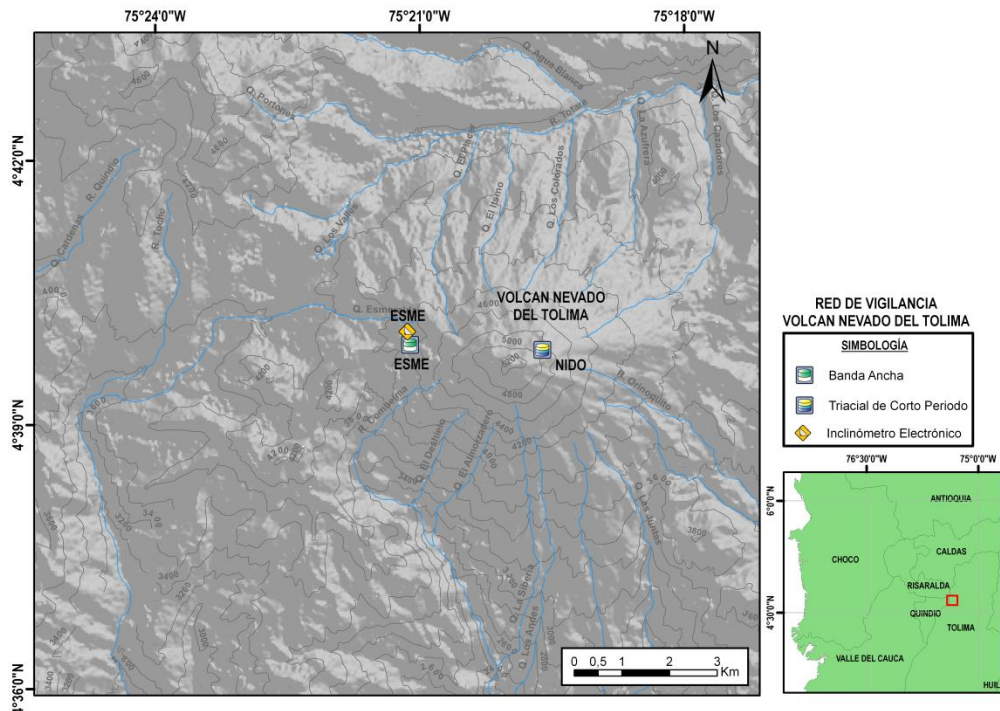


Figura 47. Red de vigilancia sísmica, Volcán Nevado del Tolima, segundo semestre de 2011.

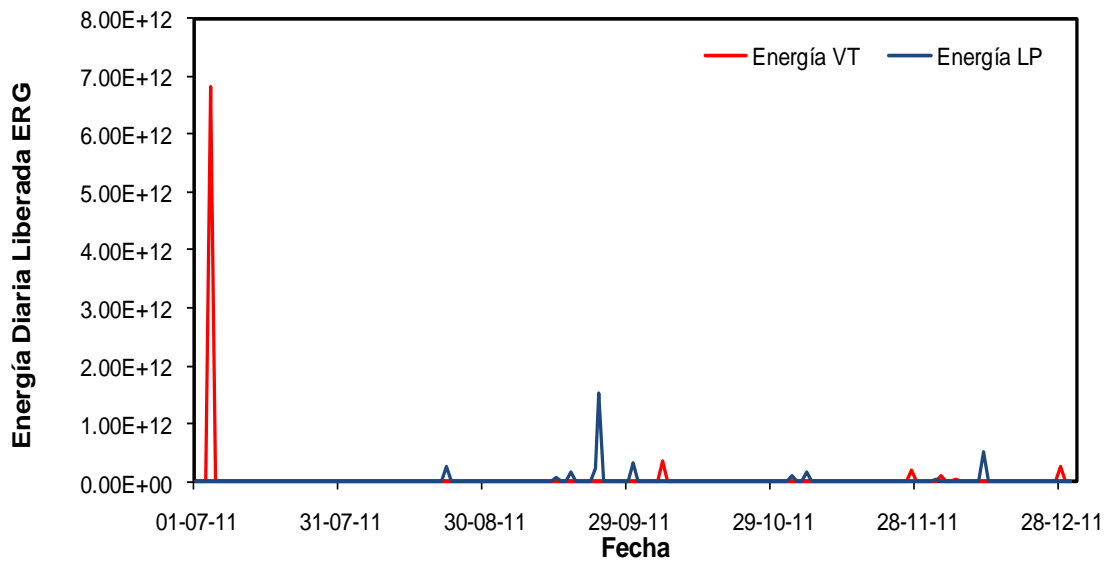


Figura 48. Energía sísmica diaria, VNT. Registrado durante el segundo semestre de 2011.

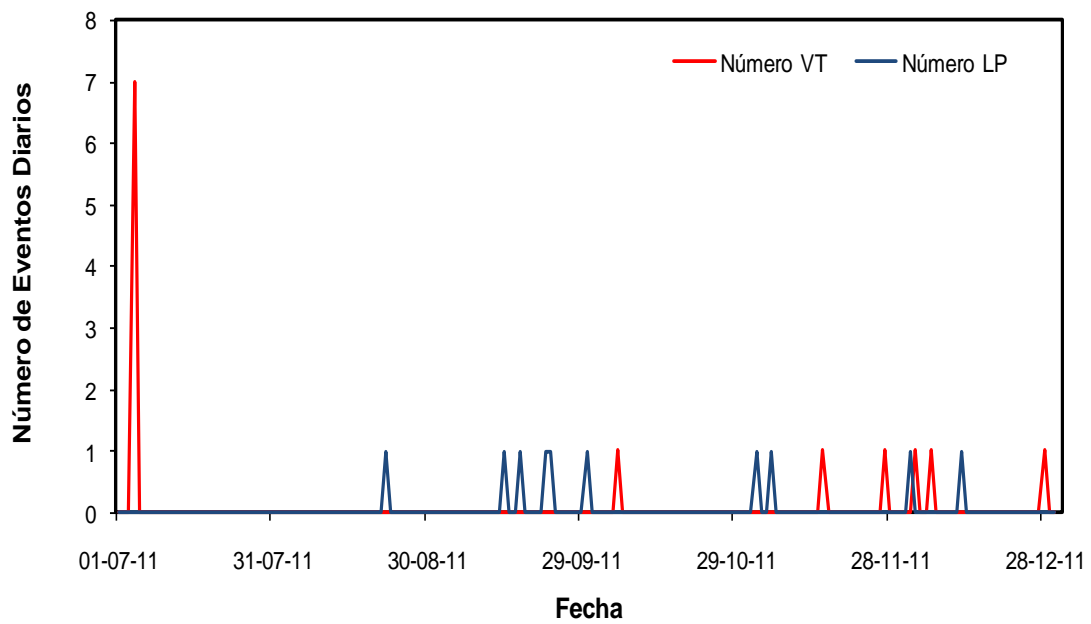


Figura 49. Número de sismos diarios, VNT. Registrado durante el segundo semestre de 2011

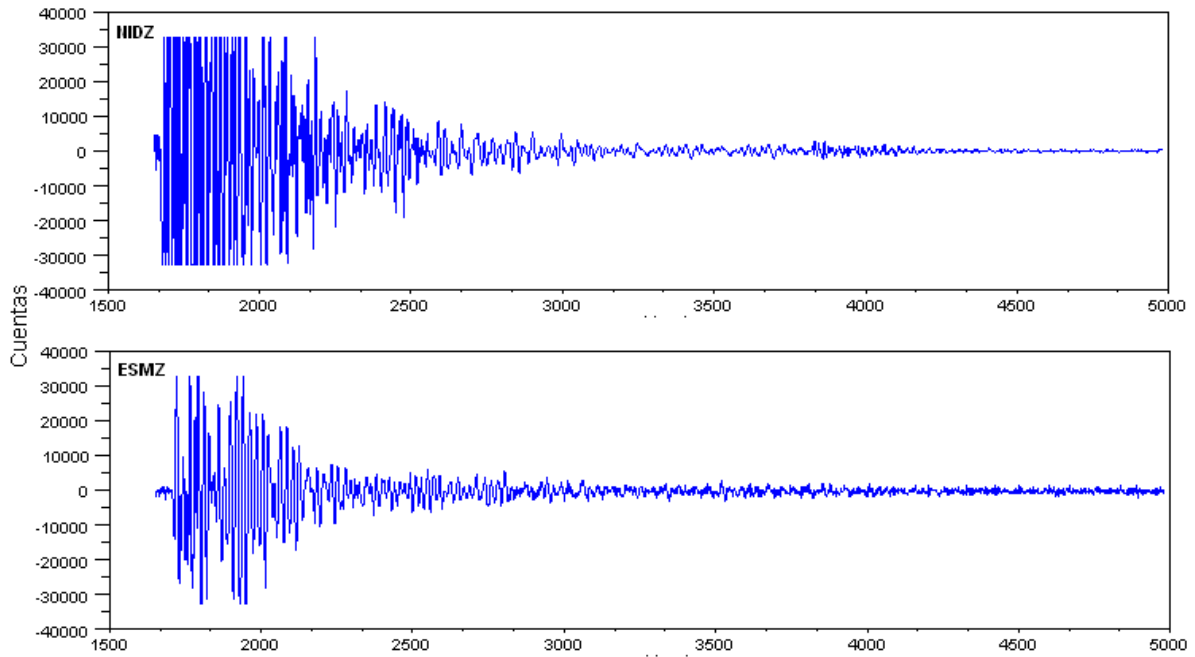


Figura 50. Forma de onda del sismo de tipo VT de mayor magnitud registrado durante el segundo semestre en el Volcán Nevado del Tolima.

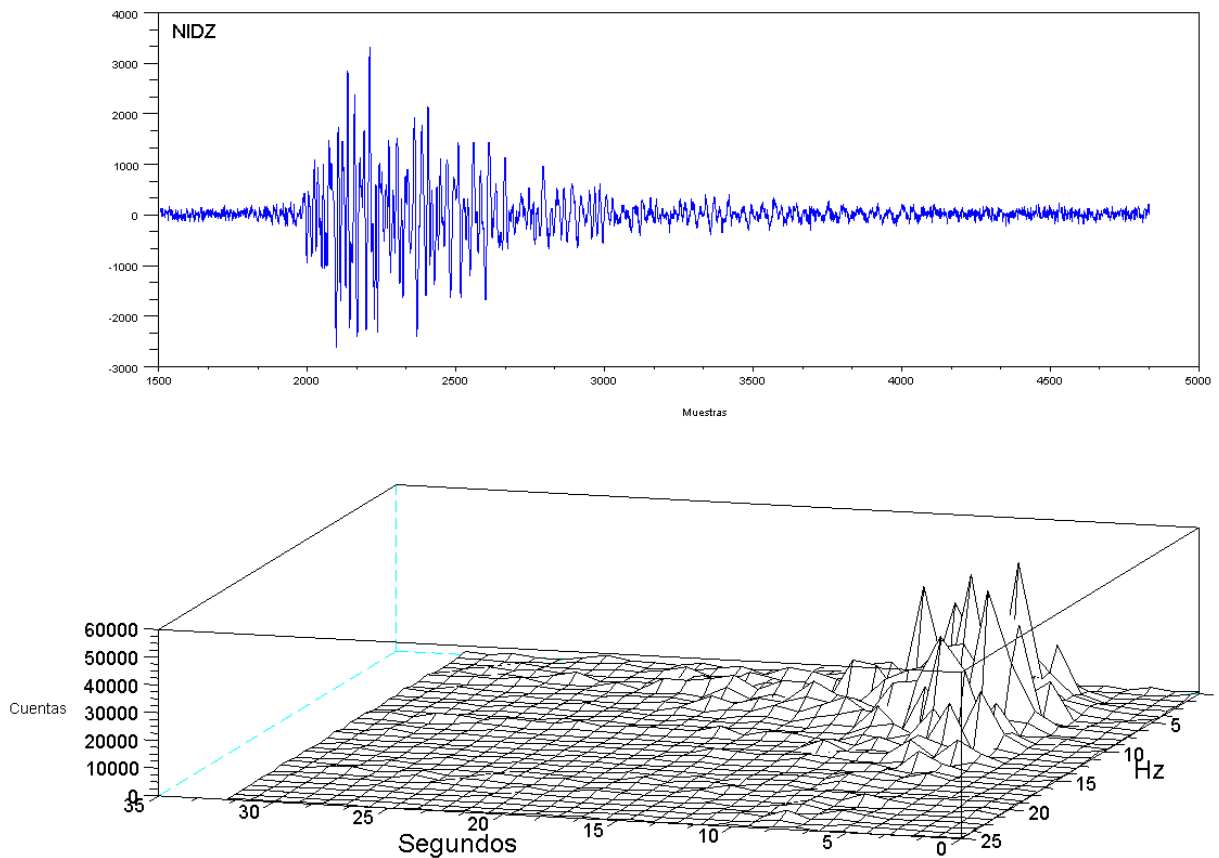


Figura 51. Forma de onda de un evento de largo periodo, ocurrido en el Volcán Nevado del Tolima durante el segundo semestre de 2011. A) Forma de onda, B) Espectro de la señal.

Señales asociadas a la actividad glacial

Durante el segundo semestre de 2011 se registraron un total de 19798 señales asociadas a pequeñas avalanchas de roca y/o hielo-nieve (Figura 52), producidas por el fenómeno de deshielo en la parte alta del volcán. La señal sísmica de mayor magnitud asociada a estas señales corresponde al día 29 de Septiembre a las 15:02 (hora local), con duración de 187s (Figura 53).

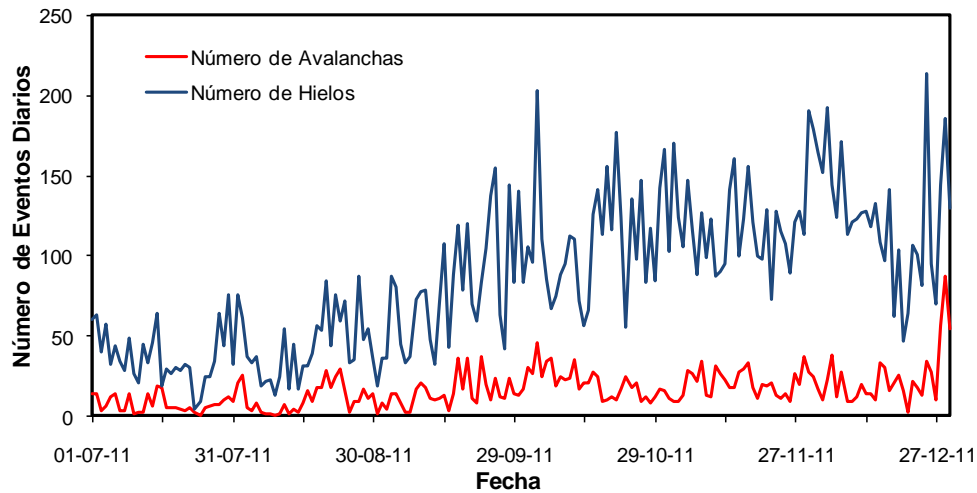


Figura 52. Número de hielos y avalanchas diarias en el VNT. Segundo semestre de 2011

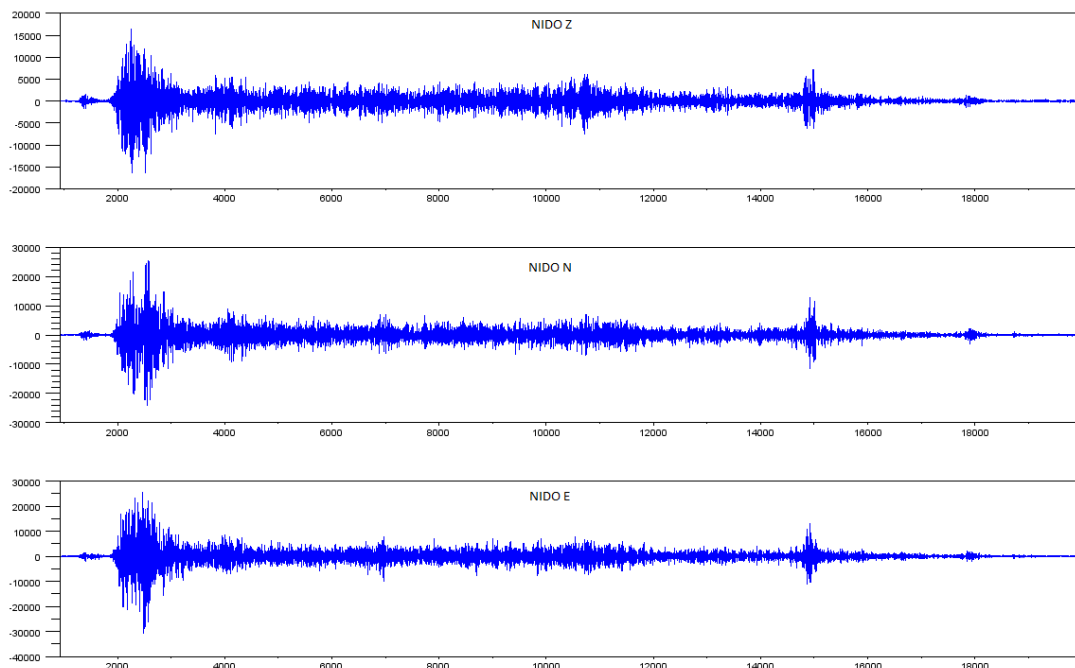
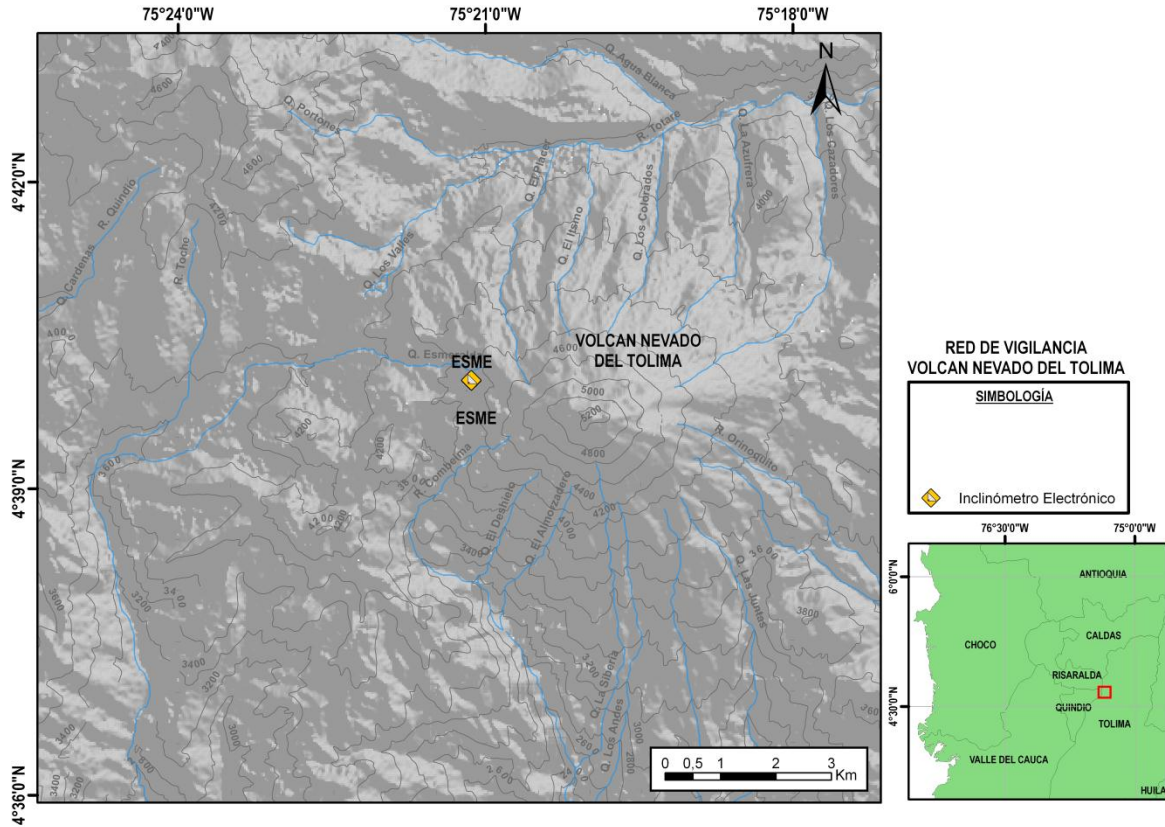


Figura 53. Forma de onda de una señal asociada a la avalancha de mayor duración, ocurrida durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Nevado del Tolima.

2.3 DEFORMACION

2.3.1 Inclínometría Electrónica

Durante el segundo semestre de 2011 se contó con el funcionamiento permanente del inclinómetro electrónico ESMERALDA instalado durante el primer semestre de 2011 el cual en términos generales operó normalmente. (Figura 54).



2.3.1.1 Inclinómetro ESMERALDA

Desde su instalación, el comportamiento de este inclinómetro se ha caracterizado por presentar fluctuaciones en las componentes Norte y Este, manteniendo tendencias ascendentes y descendentes en las componente Este y Norte del orden de 120 y 60 μ rad respectivamente, estos cambios son asociados principalmente a cambios de temperatura en el lugar (Figura 55).

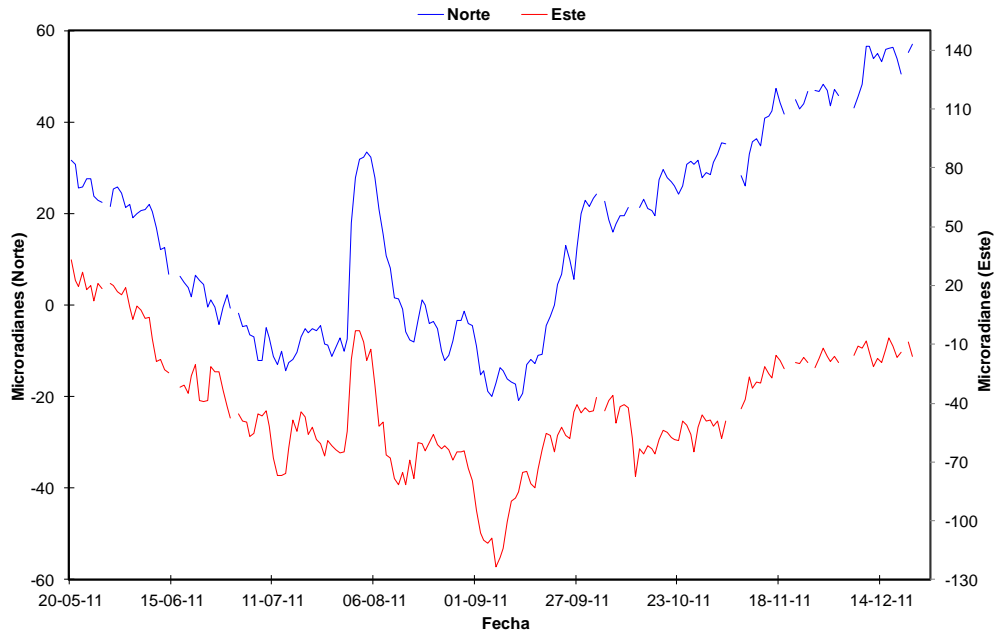


Figura 55. Comportamiento de las componentes Norte y Este, registrado por el inclinómetro electrónico ESMERALDA hasta el segundo semestre de 2011.

3. VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM)

3.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia del Volcán Cerro Machín, durante el segundo semestre del 2012 fue del 91.42%.

El porcentaje de operación para los sistemas sismológicos de Corto Periodo fue del 74.63%, de Banda Ancha fue del 82.41%, del sistema de Inclinometría fue del 95.64%, del Magnetómetro fue del 91.66%, del sistema Acústico fue del 82.4%, de las termocuplas fue del 96.32%, de la estación de potencial eléctrico fue del 98.57%, de los GPS's 96.67% y de la cámara del 98%

Las actividades de relevancia en este periodo fueron el reemplazó de todos los radios digitales de los inclinómetros, magnetómetros y de medición de temperatura ya que los que tenían estaban presentando constantes bloqueos y con los nuevos radios se mejora la transmisión de los datos de una manera notable. Se realiza enlaces para la red de respaldo de la troncal, instalando un nuevo repetidor. Se retira equipo de computo en Ibagué, el cual recibía la estación de banda ancha TAPIAS y se manda directamente a Manizales. La instalación de la estación de medición de temperatura ESTATUAS (Figura 56), instalación de la telemetría de la estación de GNSS de LA SECRETA, instalación de la telemetría de la estación de GNSS de MORAL, instalación de la telemetría de la estación de GNSS de LAGUNA, cambio del sensor de la estación de banda ancha TAPIAS, reinstalación de la estación de inclinometría de AGUAS CALIENTES la cual había sido retirada por vandalismo y la instalación de dos gabinetes en el punto de concentración CIELO ROTO con el objetivo de empezar a preparar la infraestructura que soportara las nuevas instalaciones (Figura 57).



Figura 56. Instalación de la estación de temperatura ESTATUAS.



Figura 57. Instalación de los gabinetes en CIELO ROTO.

3.2 SISMOLOGÍA

3.2.1 Sismos volcano-tectónicos (VT)

El Volcán Cerro Machín mostró un nivel medio de actividad sísmica. La red de estaciones sismológicas

(

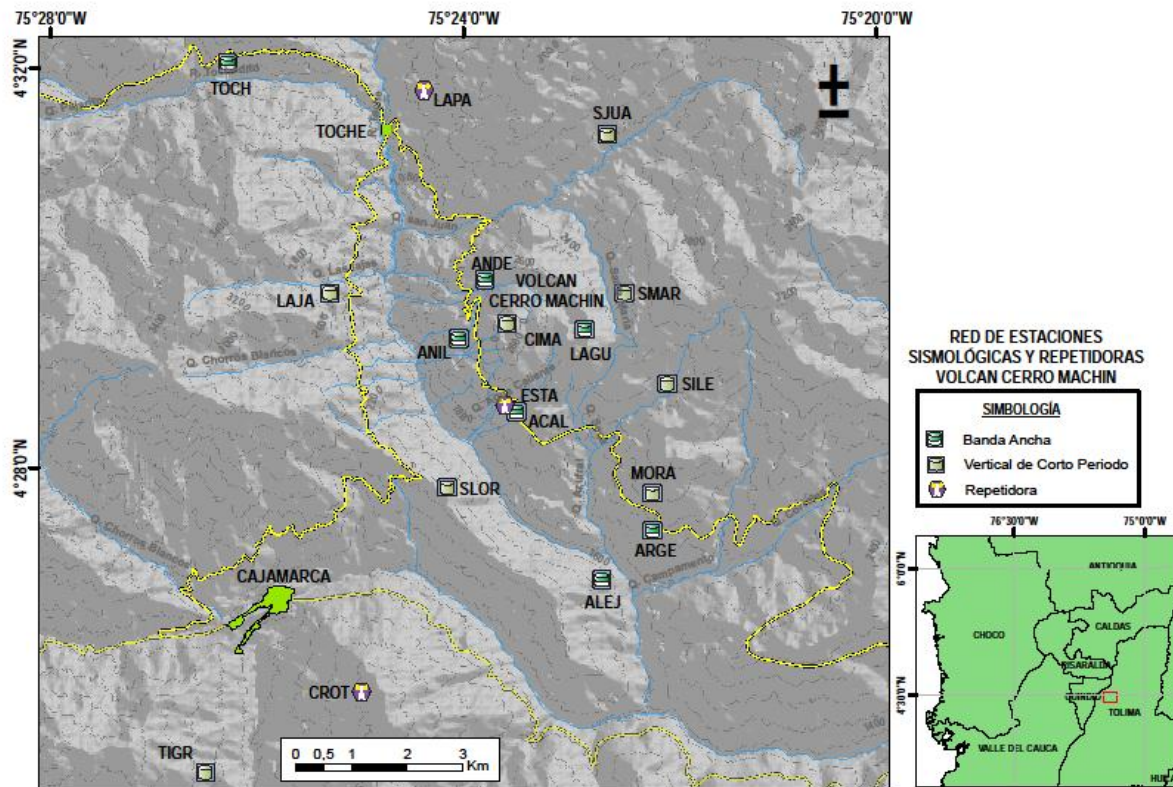


Figura 58) durante el segundo semestre, registró un total de 2576 eventos de carácter volcano-tectónico (Tipo VT), asociados a ruptura de roca dentro del edificio volcánico (Figura 59, Figura 60 y Figura 61), 6 de los cuales tuvieron una de magnitud mayor a 2.5 en la escala de Richter, produciendo la mayor liberación de energía sísmica diaria, en lo relacionado al segundo semestre del año.

Los eventos sísmicos fueron localizados en el domo principal, al sur y al suroriente del mismo en el sector conocido como Moral, a profundidades que oscilaron entre 1 y 15 km, sin embargo la profundidad promedio de los eventos fue de 4.5 km (Figura 62). Igualmente se presentaron sismos localizados en el sector de Moralito a profundidades entre 7 y 18km. La magnitud máxima registrada durante el segundo semestre fue de 3.51 en la escala de Richter, correspondiente a un evento registrado a las 20:11 (hora local) el día 12 de Septiembre.

Durante el segundo semestre de 2011 se destaca la ocurrencia de varios incrementos de sismicidad; los más significativos fueron: el primero, registrado entre el 7 y el 8 de Septiembre, con una magnitud máxima local de 2.5 correspondiente a un evento registrado a las 20:55 el día 8 de Septiembre. El otro incremento se presentó entre el 12 y 13 de Septiembre, el cual alcanzó una magnitud máxima local de 3.51 correspondiente al evento registrado a las 20:11 del día 12 de Septiembre (Figura 63) y reportado como sentido por las personas en las inmediaciones del Volcán y en el municipio de Cajamarca (Tolima).

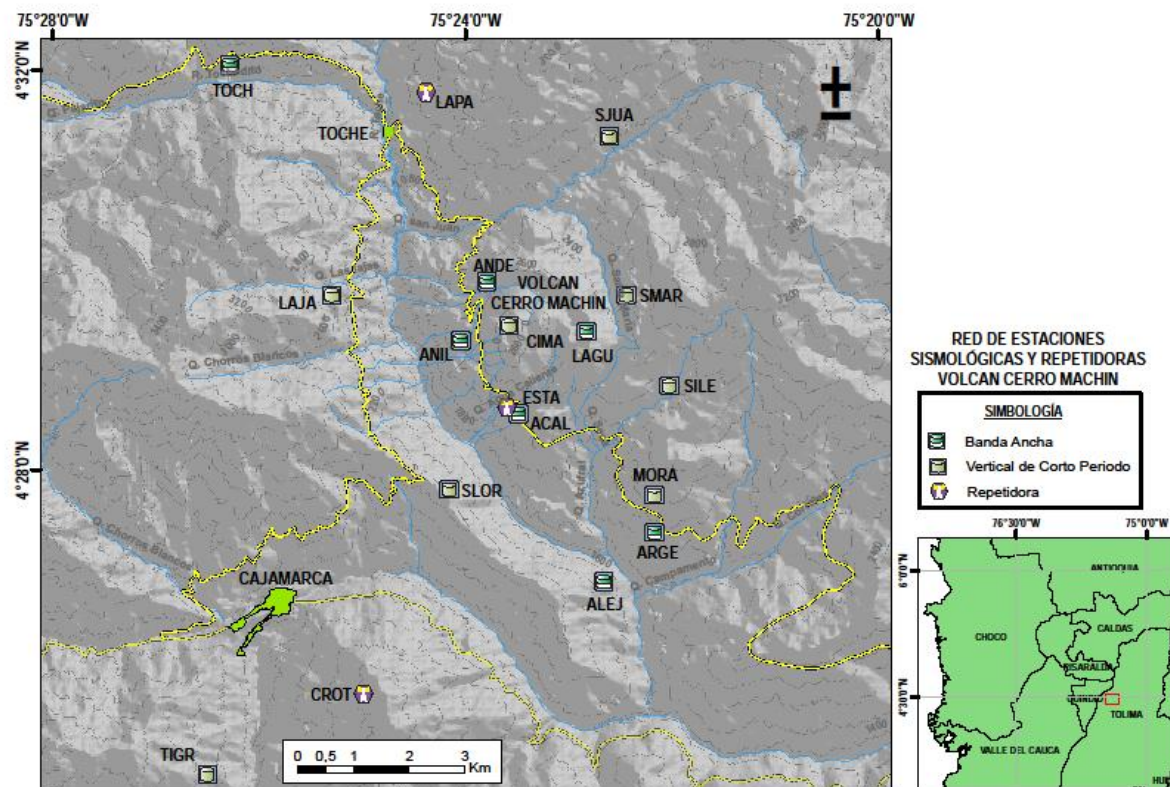


Figura 58. Red de vigilancia Geofísica, Volcán Cerro Machín.

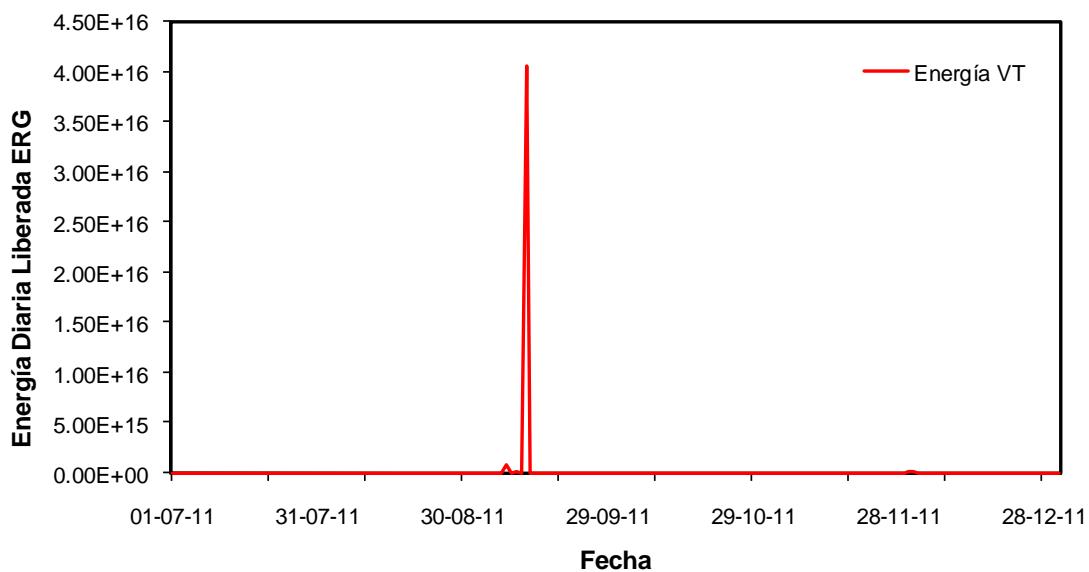


Figura 59. Energía sísmica diaria liberada por el Volcán Cerro Machín, segundo semestre de 2011.

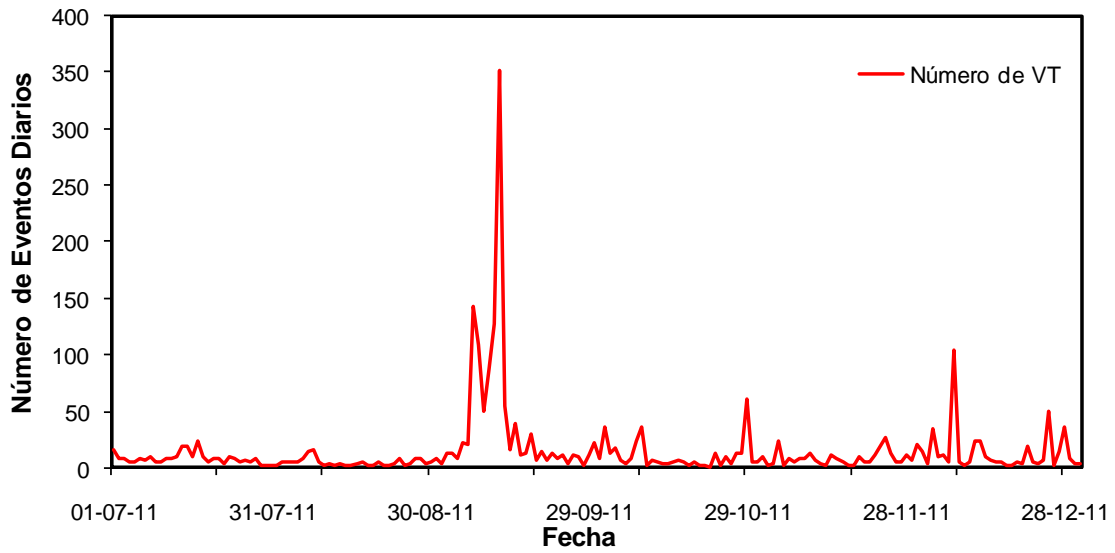


Figura 60. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Cerro Machín, segundo semestre de 2011.

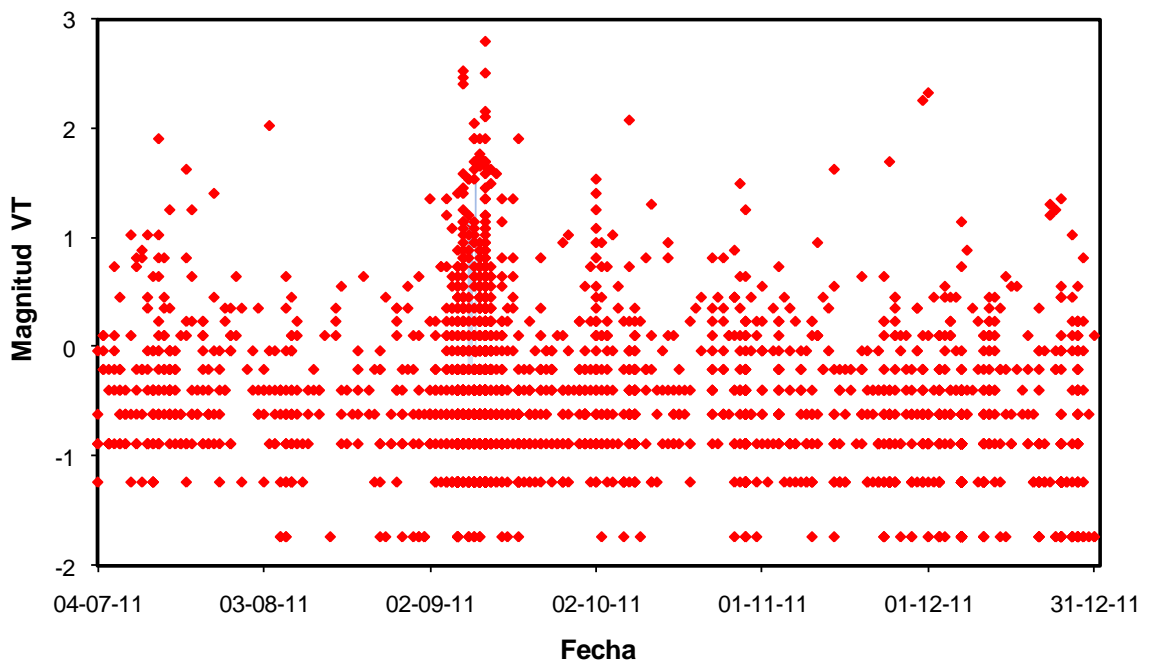


Figura 61. Magnitud coda sismos volcano-tectónicos, Volcán Cerro Machín, segundo semestre de 2011.

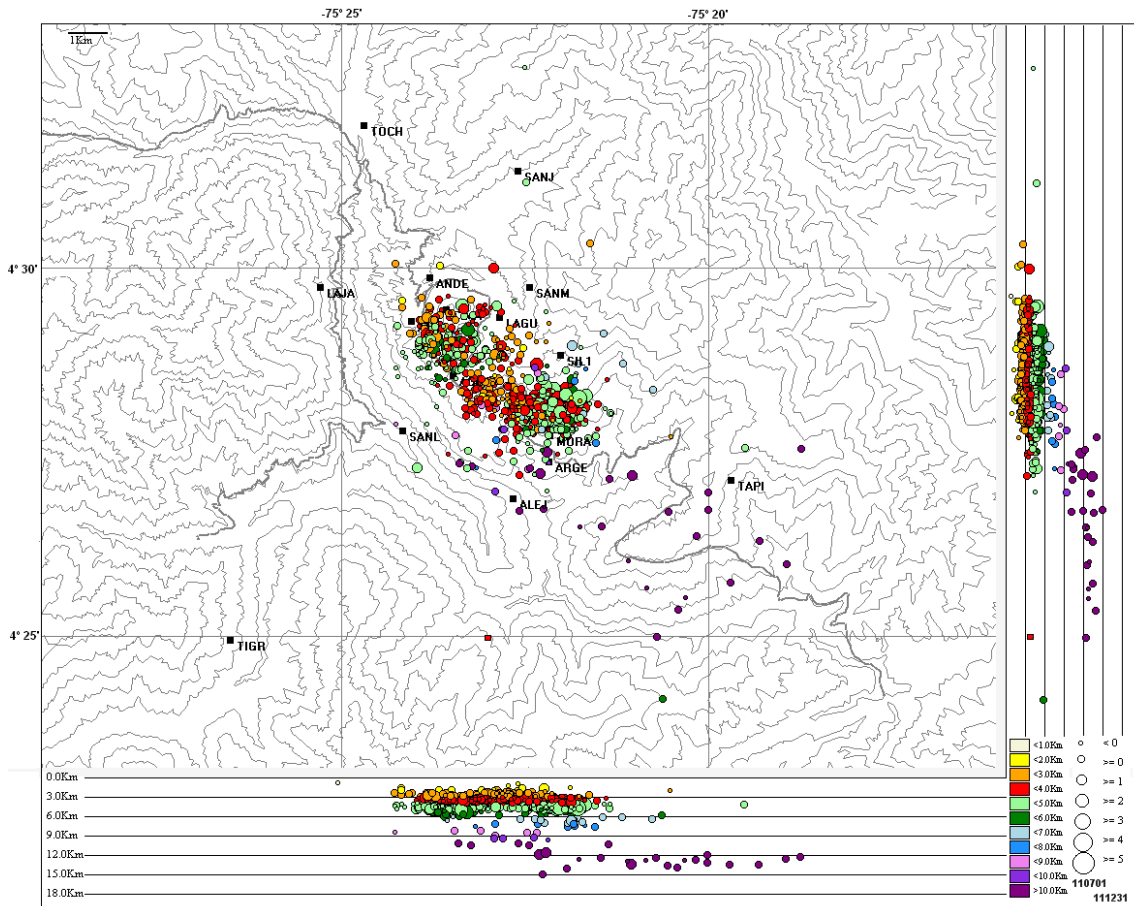


Figura 62. Localización hipocentral de sismos volcano-tectónicos en el Volcán Cerro Machín, segundo semestre de 2011. Los rectángulos negros representan las estaciones sismológicas.

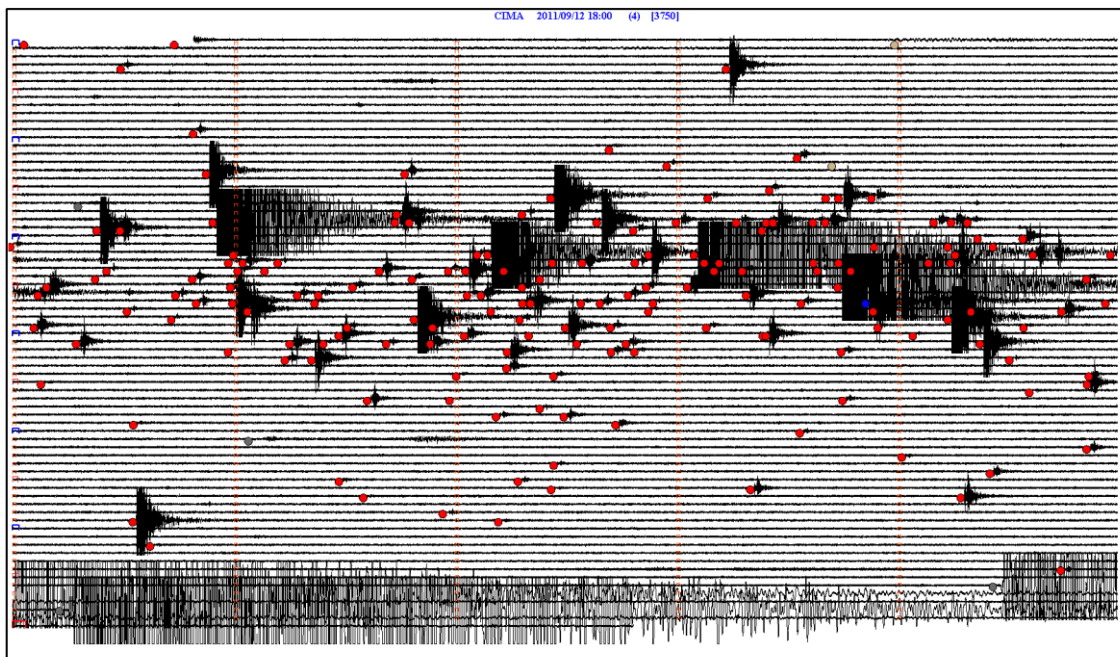


Figura 63. Sismograma digital de la estación CIMA. Nótese el incremento de actividad registrado el 12 de Septiembre de 2011, en el Volcán Cerro Machín. Los círculos rojos representan los eventos sísmicos VT, los azules representan sismos tectónicos locales y las grises telesismos.

Se estimaron los mecanismos focales de los sismos de mayor magnitud durante el segundo semestre, los resultados obtenidos muestran una variedad en los mecanismos de falla (Figura 64 y Figura 65), sin embargo se nota una tendencia de fallamiento rumbo deslizante con una marcada componente en rumbo, y en algunos casos con leve componente normal. Las bajas magnitudes de los sismos dificultan el cálculo de los mecanismos focales con la técnica de primeros arribos.

Adicionalmente se registraron 89 señales asociadas a pequeñas avalanchas de roca, destacándose la ocurrida el 19 de Diciembre a las 20:16 (hora local), la cual alcanzó una duración de 36 s.

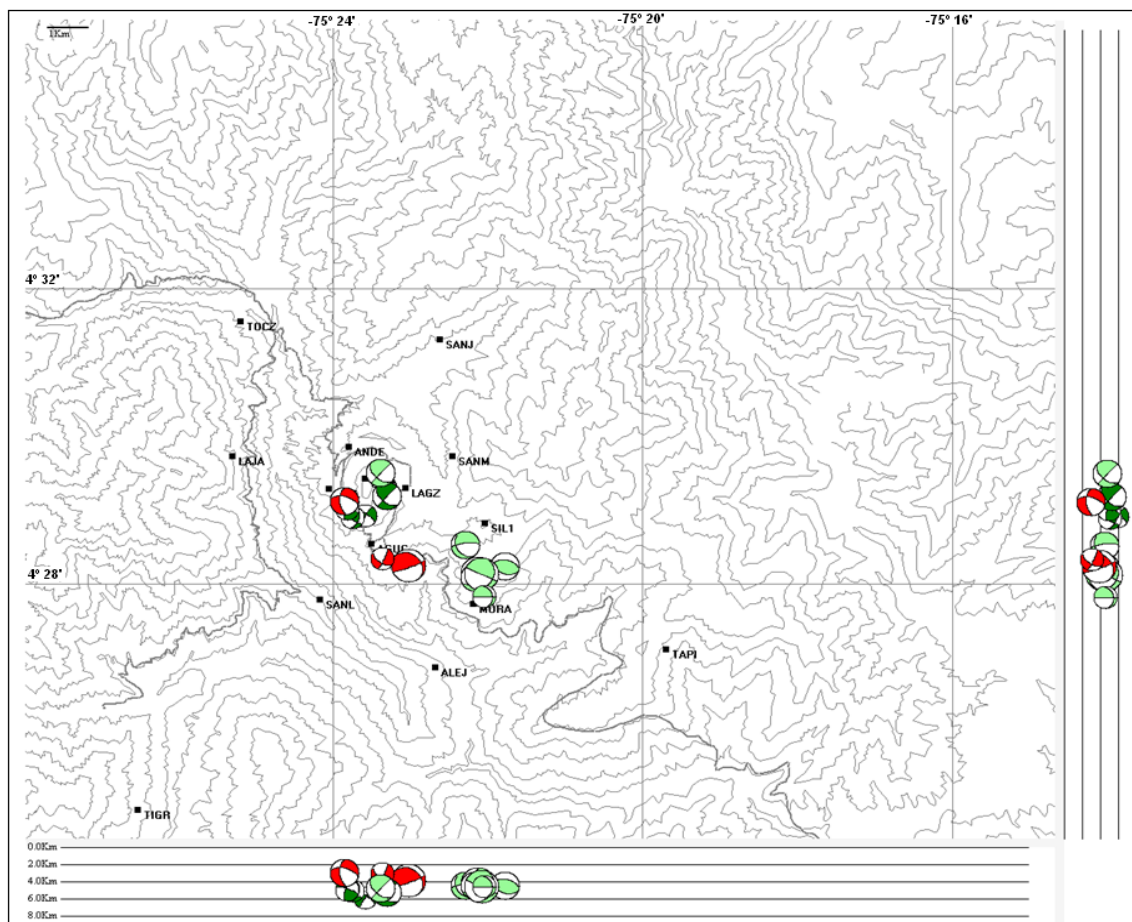


Figura 64. Mapa de mecanismos focales sismos volcánico-tectónicos, Volcán Cerro Machín, segundo semestre de 2011. Los rectángulos negros representan las estaciones sismológicas.

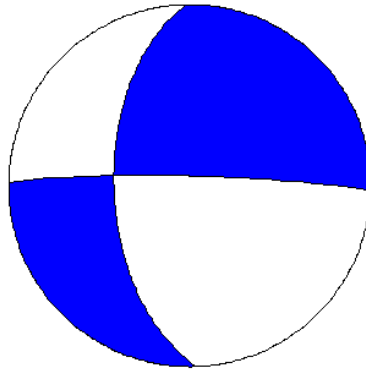


Figura 65. Mecanismo focal asociado al sismo del 12 de Septiembre a las 20:11 (hora local) en el Volcán Cerro Machín, magnitud 3.5 en la escala de Richter. Azimut: 178.8°, Buzamiento: 55.6°, Rake: -- -6.9°; score: 95.2, calidad: 71.1.

3.3 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS

3.3.1 Magnetometría

El magnetómetro de la estación AGUAS CALIENTES en el Volcán Cerro Machín, continuó presentando una tendencia hacia valores más bajos y cambios periódicos en sus componentes (

Figura 66). Esto podría estar indicando una posible estabilización del sistema momentáneamente, en cuanto a ascenso de magma u otros materiales densos. El magnetómetro de DOMO siguió mostrando, una tendencia estable con tendencias a cambios temporales y periódicos durante el segundo semestre de 2011 (Figura 67).

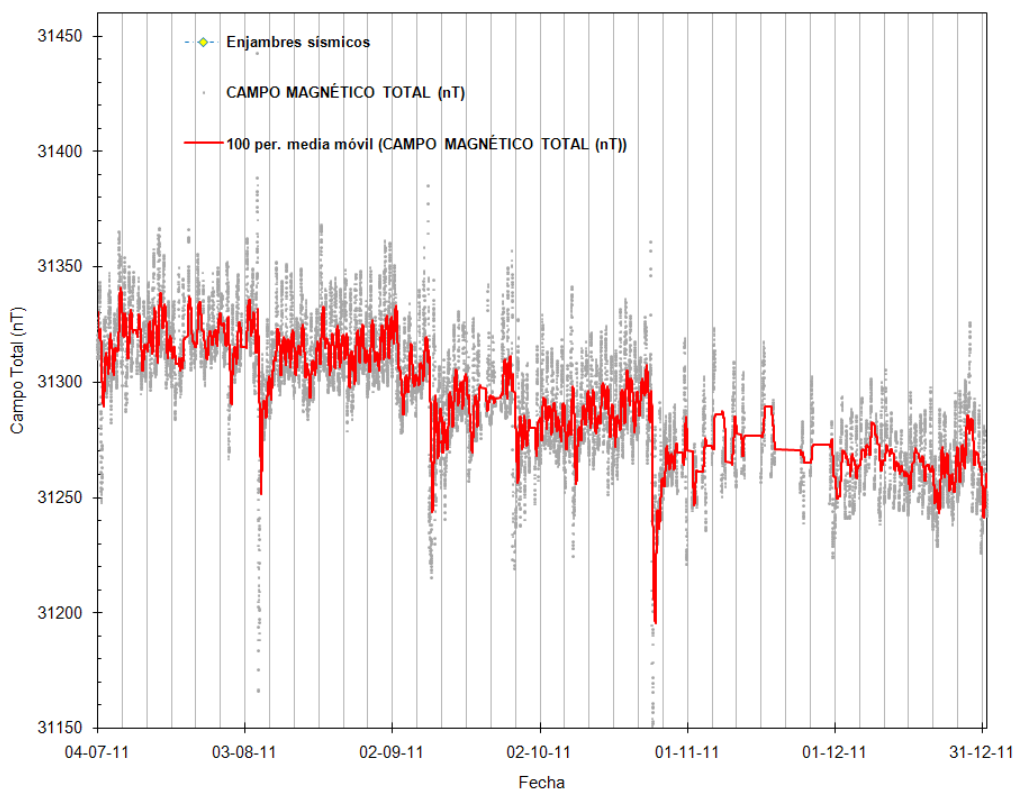


Figura 66. Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín. Estación DOMO, Julio - Diciembre de 2011.

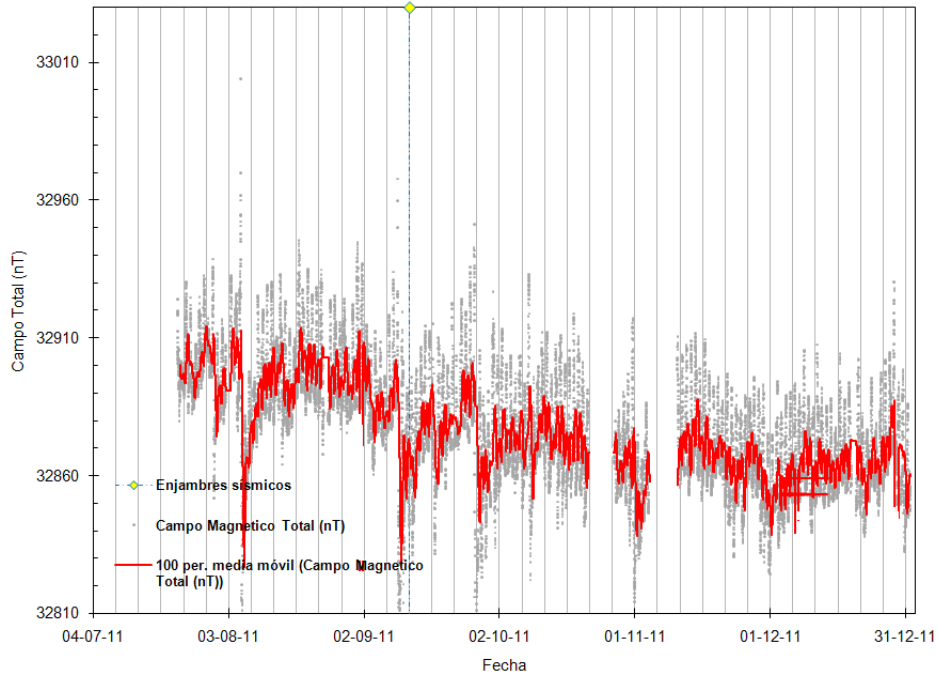


Figura 67. Variaciones del campo magnético en el Volcán Cerro Machín. Estación AGUAS CALIENTES, Julio - Diciembre de 2011.

3.3.2 Potencial Espontáneo

La Figura 68 muestra los cambios en el potencial espontáneo en la estación DOMO durante el segundo semestre de 2011, y su relación con la actividad sísmica en el volcán, como se aprecia en la figura, la curva muestra un leve cambio en la componente Norte.

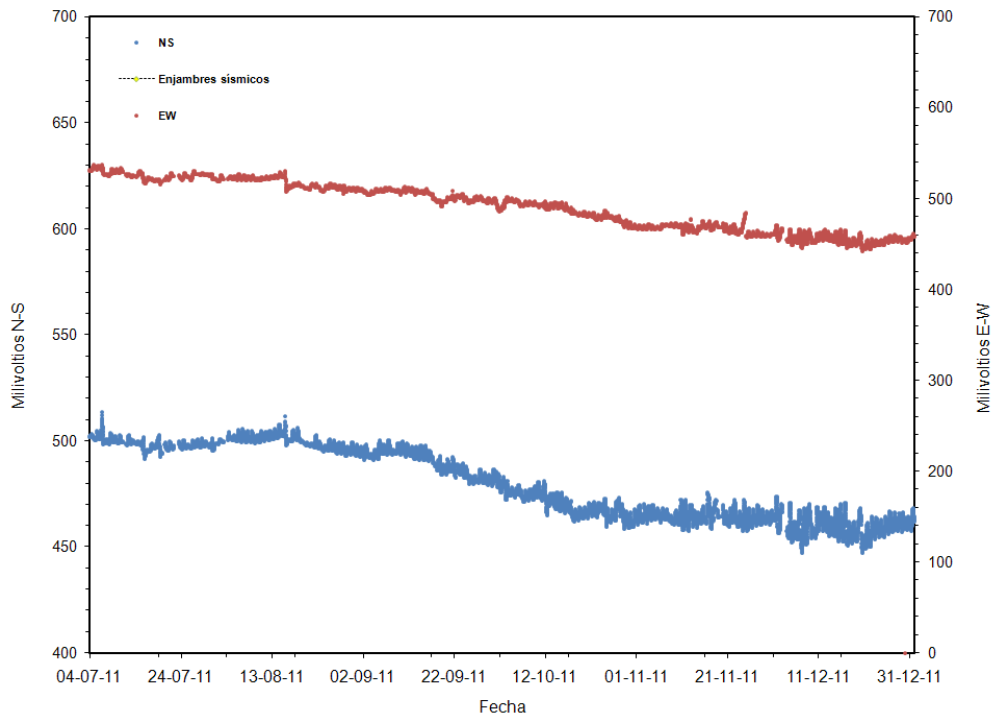


Figura 68. Valores registrados de potencial espontáneo entre Julio y Diciembre de 2011, en la estación de DOMO en el Volcán Cerro Machín.

3.4 GEOQUÍMICA

Durante el segundo semestre del 2011 el grupo de Geoquímica del OVSM realizó muestreos, análisis in situ y en el laboratorio de las Fuentes Termales y realizó monitoreo permanente de las estaciones de Gas Radón ubicadas en el VCM. También se realizó muestreo directo en la Fumarola La Macha utilizando Botellas de Giggenbach. En la Figura 69 se aprecia el mapa con las estaciones geoquímicas en el VCM.

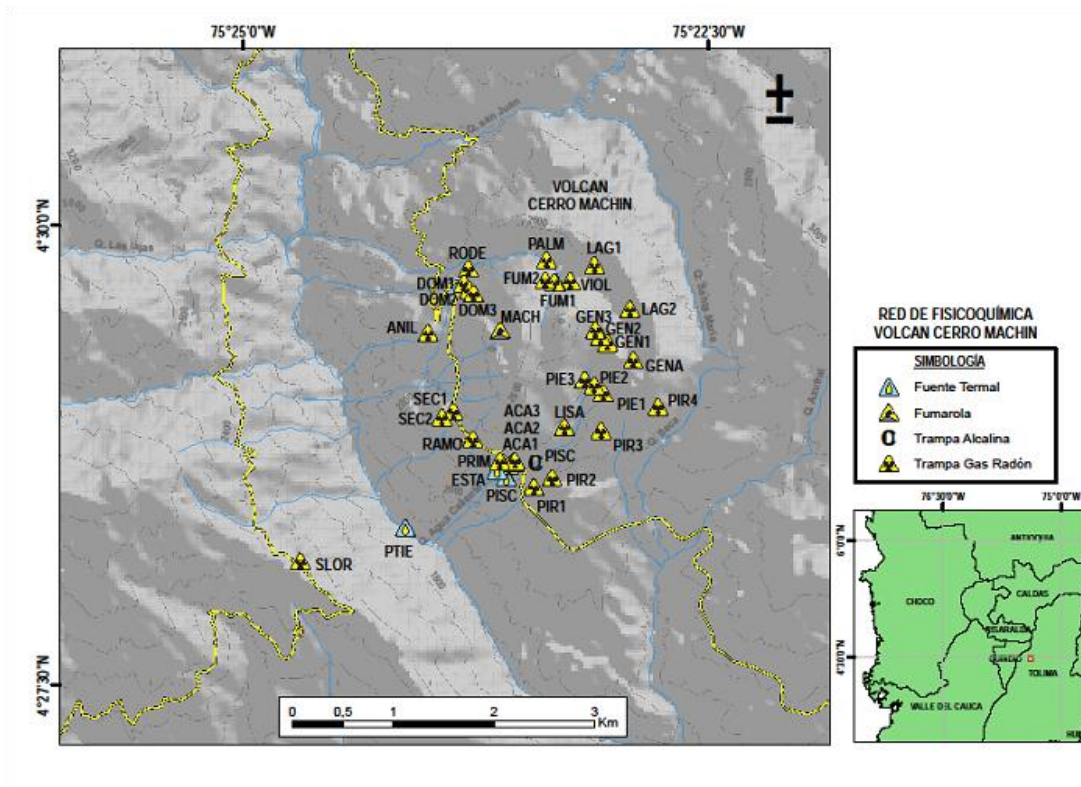


Figura 69. Mapa de vigilancia Geoquímica Volcán Cerro Machín.

3.4.1 Emisiones de Gas Radón

Durante el segundo semestre del 2011 se realizó monitoreo de 15 estaciones de Gas radón, para su estudio se dividieron en cuatro grupos. En el primer grupo se encuentran las estaciones ANILLO, PRIMAVERA y SAN LORENZO. En la Figura 70 se aprecia que durante los meses de Julio a Noviembre no se presentaron cambios importantes en los valores de Radón Difuso, mientras que en Diciembre las estaciones SAN LORENZO y ANILLO mostraron picos de 1988 y 890 pCi/L respectivamente.

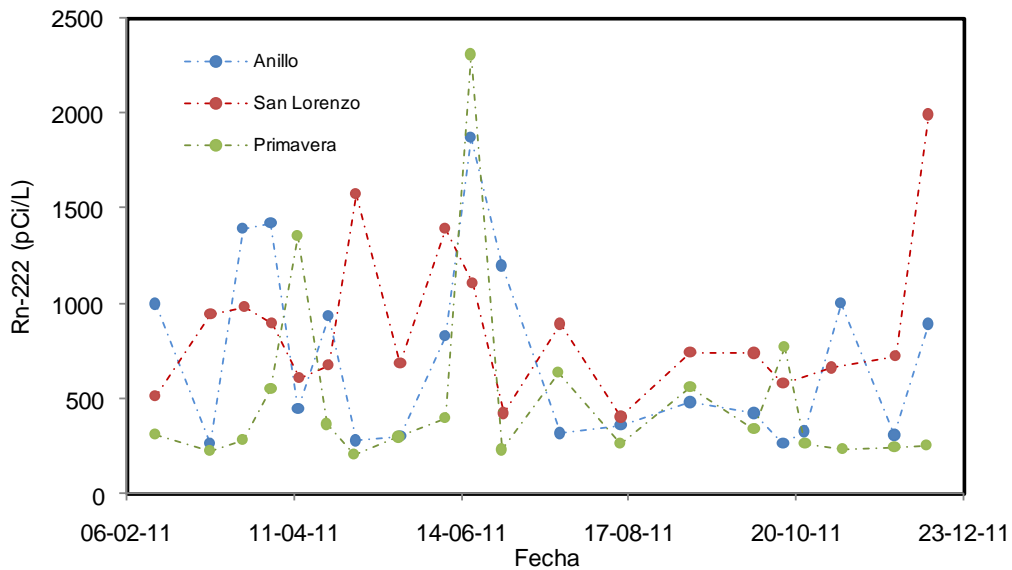


Figura 70. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: ANILLO, SAN LORENZO y PRIMAVERA. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.

El segundo grupo conformado por las estaciones RODEO, LAS PALMAS, LAS VIOLETAS y FUMA 1 presentaron fluctuaciones en los valores de difusión de gas Radón, en los meses de Octubre y Diciembre se presentaron las mayores variaciones, especialmente en las estaciones LAS PALMAS y FUMA 1 con valores muy superiores a sus líneas base. La Estación RODEO fue la que mayor estabilidad presentó en los valores de concentración de Gas Radón. En la Figura 71 se aprecia el comportamiento con el tiempo para cada una de las estaciones mencionadas.

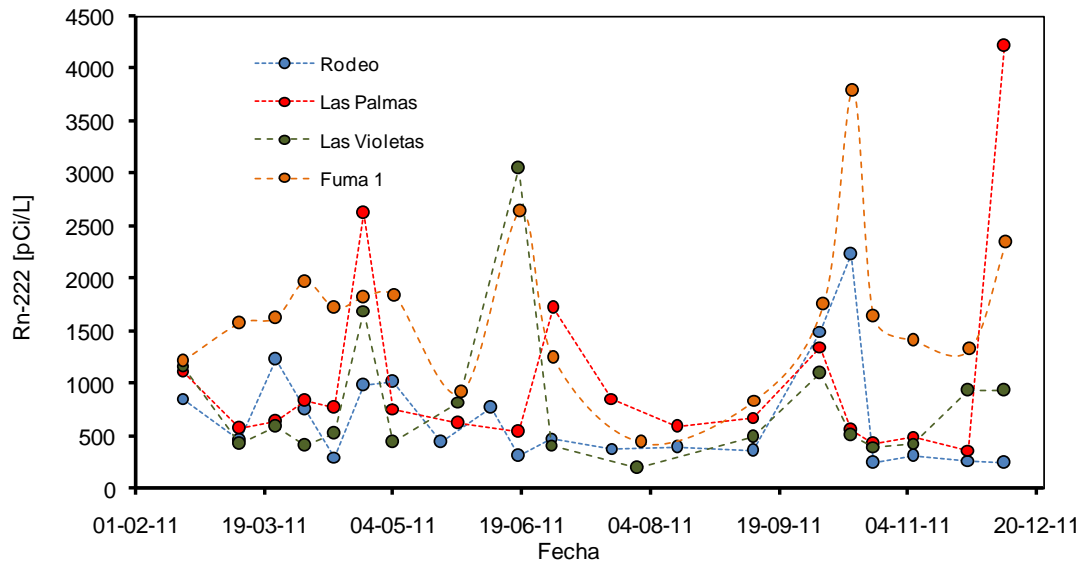


Figura 71. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: RODEO, LAS PALMAS, LAS VIOLETAS y FUMA 1. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.

Las estaciones LAGUNA 1, GENA, LISANDRO y PIEDRAS 1 conforman el tercer grupo. En la Figura 72 se aprecia que en el mes de Octubre todas las estaciones registraron incrementos significativos en la concentración de gas Radón. Las estaciones LAGUNA 1 y PIEDRAS 1 fueron quienes presentaron los mayores valores de gas Radón en los meses de Octubre y Diciembre respectivamente.

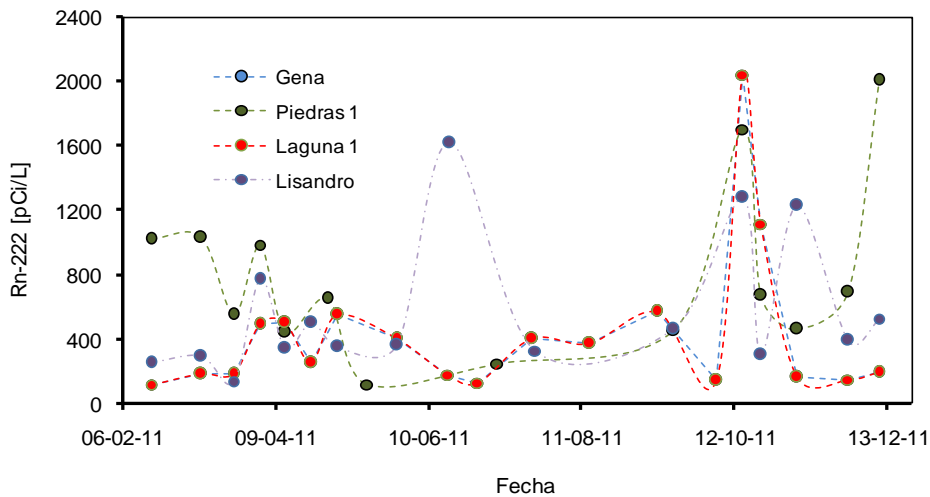


Figura 72. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: LAGUNA 1, GENA, LISANDRO y PIEDRAS 1. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.

El comportamiento con el tiempo del cuarto grupo de monitoreo de gas radón conformado por las estaciones SECRETA 1, SECRETA 2, AGUAS CALIENTES 1 y PIRO 1 se presenta en la Figura 73. En general durante el segundo semestre de 2011 las estaciones mantuvieron sus niveles base, no obstante, las estaciones PIRO 1 en Septiembre y SECRETA 1 en Octubre mostraron incrementos en los valores de concentración de gas Radón.

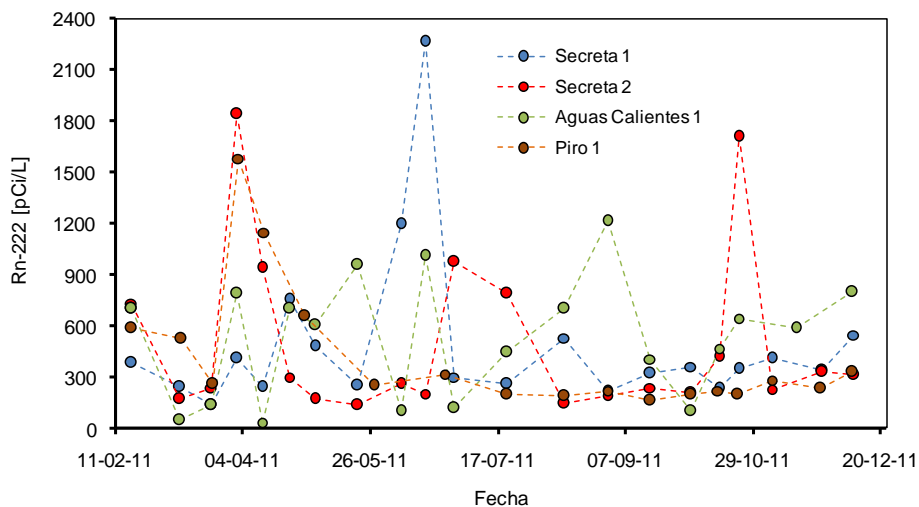


Figura 73. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: SECRETA 1, SECRETA 2, AGUAS CALIENTES 1 y PIRO 1. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.

3.4.2 Fuentes Termales (FT)

En el segundo semestre del 2011 se realizó monitoreo periódico en dos fuentes termales: PISCINA y ESTATUAS. Los valores en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales durante el primer semestre del año presentaron algunos cambios. En la Figura 74 se aprecia el comportamiento de la temperatura con el tiempo para las dos fuentes termales, de acuerdo a los datos registrados en la figura no se presentaron variaciones importantes, el valor promedio en PISCINA fue de 82,5 °C y para ESTATUAS de 90.8 °C.

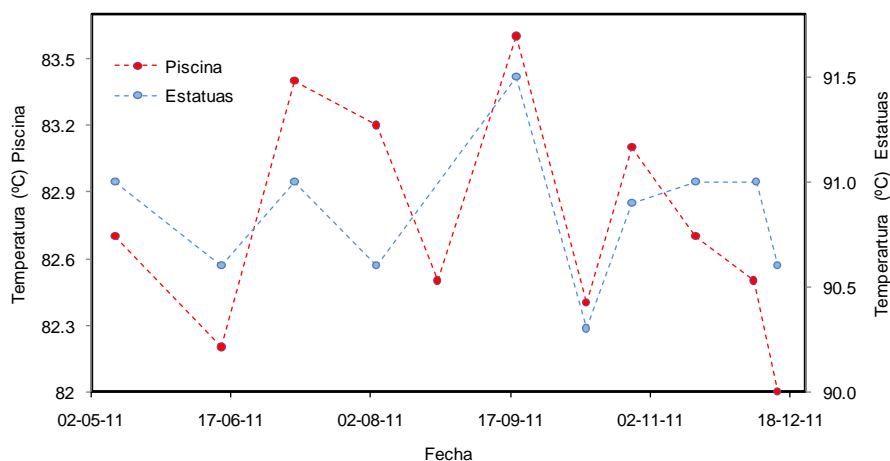


Figura 74. Variación de temperatura Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.

El pH de los nacimientos termales presentó algunas variaciones en sus valores, se aprecia que los valores para PISCINA oscilaron entre 7,0 y 8,2 y para ESTATUAS entre 7,0 y 8,6. Las variaciones en el pH pueden ser atribuidas a disolución de iones metálicos o efectos de la evaporación por los cambios de temperatura. La variación del parámetro pH se aprecia en la Figura 75.

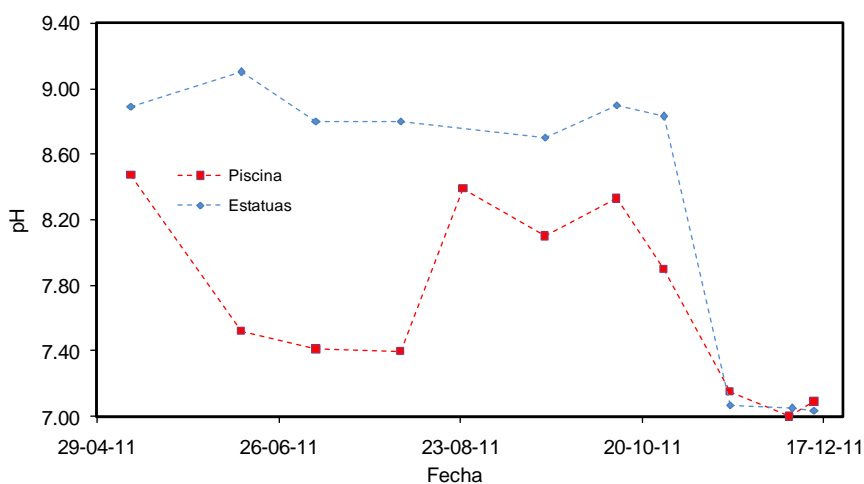


Figura 75. Variación de pH Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.

El comportamiento con el tiempo del parámetro fisicoquímico Conductividad Eléctrica puede apreciarse en la Figura 76, los valores registrados fueron estables para el nacimiento termal ESTATUAS, mientras que en PISCINA se incrementó su valor en las medidas de los meses Octubre, Noviembre y Diciembre, esta variación puede atribuirse a proceso de disolución de rocas circundantes ya que al variar el pH este fenómeno puede ocurrir.

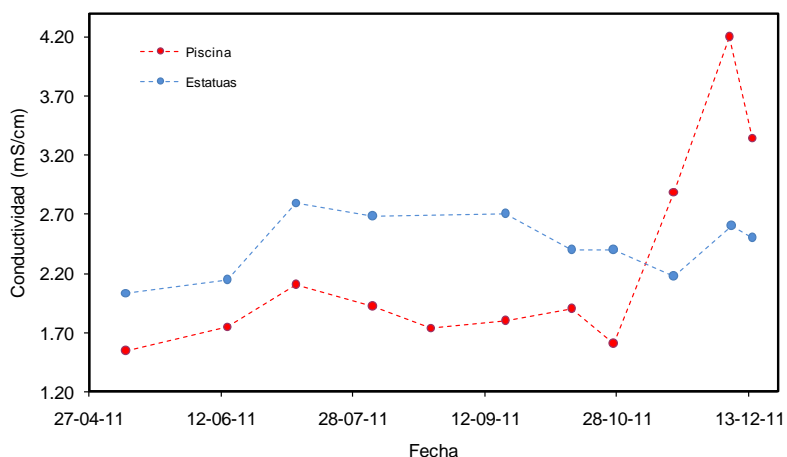


Figura 76. Variación de Conductividad Eléctrica en Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.

El contenido de aniones mayoritarios para las fuentes termales se presenta en la Figura 77, los análisis de Sulfatos y Cloruros mostraron variaciones en casi todas las medidas realizadas, al igual que en el cambio de pH y conductividad nuevamente se evidencia que se presentó algún tipo de interacción agua/roca (procesos de mineralización) que afectaron el contenido en SO_4 , igualmente ocurrió con el contenido de Cloruros, en los análisis realizados se comprobó un incremento significativo en su concentración, el cual puede estar asociado a posibles procesos de evaporación.

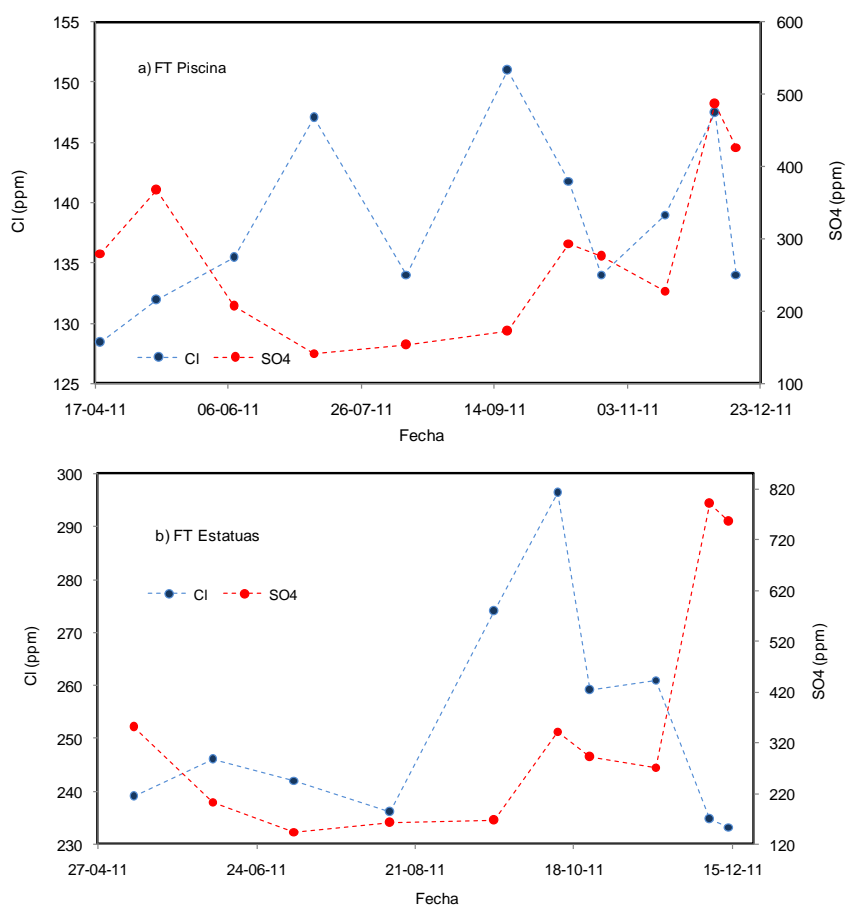


Figura 77. Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuentes Termales: a) PISCINA, b) ESTATUAS, Volcán Cerro Machín. Segundo Semestre de 2011.

3.3.3 Gases en Botellas de Giggenbach

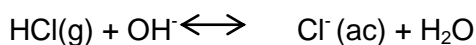
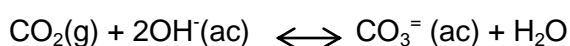
En el mes de Noviembre de 2011 se realizó muestreo de gases en la Fumarola La Macha, la temperatura promedio en el campo fumarólico fue de 87°C y el pH de los condensados de 6,12.

El muestreo directo utiliza Botellas Alcalinas o de Giggenbach (BG), que contienen una solución de NaOH 6N, esta solución permite al momento del muestreo separar la fase condensable de la reactiva (HCl, CO₂, SO₂, H₂S, S, H₂O) que permanece en la solución, las especies sulfuradas coexisten y es indispensable su determinación en el estudio de gases volcánicos (Figura 78).



Figura 78. Modo de muestreo Directo con Botellas de Giggenbach en la Fumarola La Macha. Volcán Cerro Machín.

Algunas de las reacciones que se involucran entre la fase condensable y la solución alcalina de recolección de la muestra son:



Las muestras se analizaron en el Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología de Palermo (INGVP) en Italia. La concentración molar de las especies gaseosas analizadas se presenta a continuación

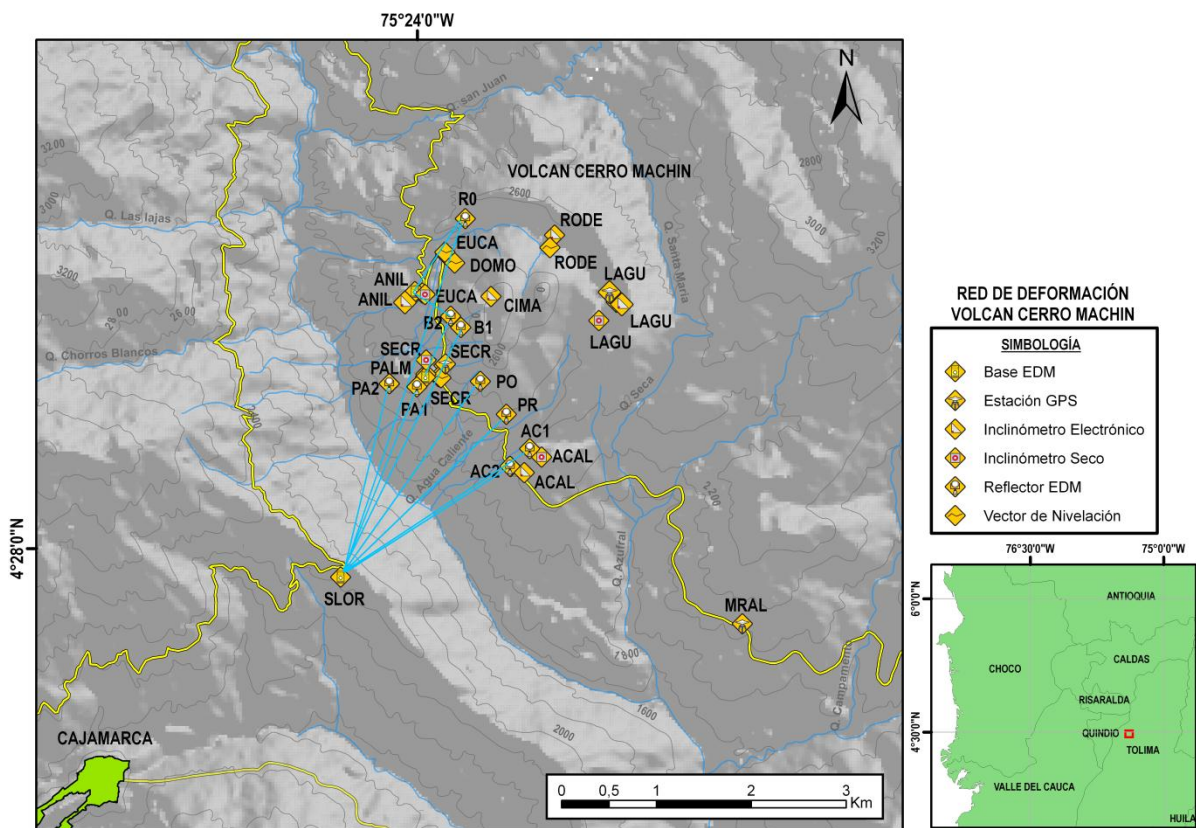
	He	H2	O2 %Vol	N2 %Vol	CO ppmVol	CH4 ppmVol	CO2 %Vol	R/Ra
La Macha	2.2	111	1.1	5.0	2.8	34	93.1	4.15

Los resultados preliminares mostraron que los isotopos de He de la fumarola tiene un valor de 4.60 R/Ra lo cual indica que es un sistema volcánico profundo y activo. El CO₂ sigue presentando valores por encima del 90% tal como se han registrado en las medidas del primer semestre el 2011.

3.5 DEFORMACIÓN

Durante el II semestre de 2011 se contó con el funcionamiento permanente de cinco inclinómetros electrónicos, tres bases para la medición electrónica de distancias, así como de tres estaciones de GNSS permanente. Es importante resaltar la ampliación de la red geodésica durante el semestre en el volcán, con la instalación y puesta en funcionamiento de una nueva estación de GNSS permanente de nombre LA SECRETA localizada al suroccidente del domo principal (Figura 79).

En cuanto a las ocupaciones de campo, se realizaron, campañas de GPS, así como mediciones EDM con el fin de complementar los datos obtenidos por la red telemétrica. Durante el semestre no se realizaron mediciones de control topográfico.



3.5.1 Comportamiento inclinómetros electrónicos

En el VCM se tienen instalados cinco inclinómetros electrónicos de plataforma nivelante de 2 ejes, provisto de un sensor de temperatura. Cada estación de inclinometría cuenta con un sistema de alimentación, una tarjeta digitalizadora para el registro de los cambios de voltaje asociados a los cambios de inclinación, y un sistema telemétrico. El eje Y de cada sensor se orienta hacia el Norte magnético terrestre, por consiguiente el eje X se orienta hacia el Este magnético. Cada inclinómetro envía datos de inclinación teleméricamente cada 10 minutos, los cuales son transformados a radianes. Para el análisis de los datos de inclinometría electrónica se tiene en cuenta que, el registro de cambios negativos en las componentes Norte y Este está asociado con inclinaciones positivas (Proceso inflacionario) del sensor, y cambios positivos se asocian con inclinaciones negativas. (Proceso deflacionario)

3.5.1.1 Inclinómetro electrónico RODEO

Después de su restablecimiento en el mes de Febrero, fecha en la cual se realizó reinstalación del equipo e instalación del sistema de protección térmica, su comportamiento se caracteriza por ser óptimo sin presentar fluctuaciones y por registrar gran estabilidad en las dos componentes (Figura 80).

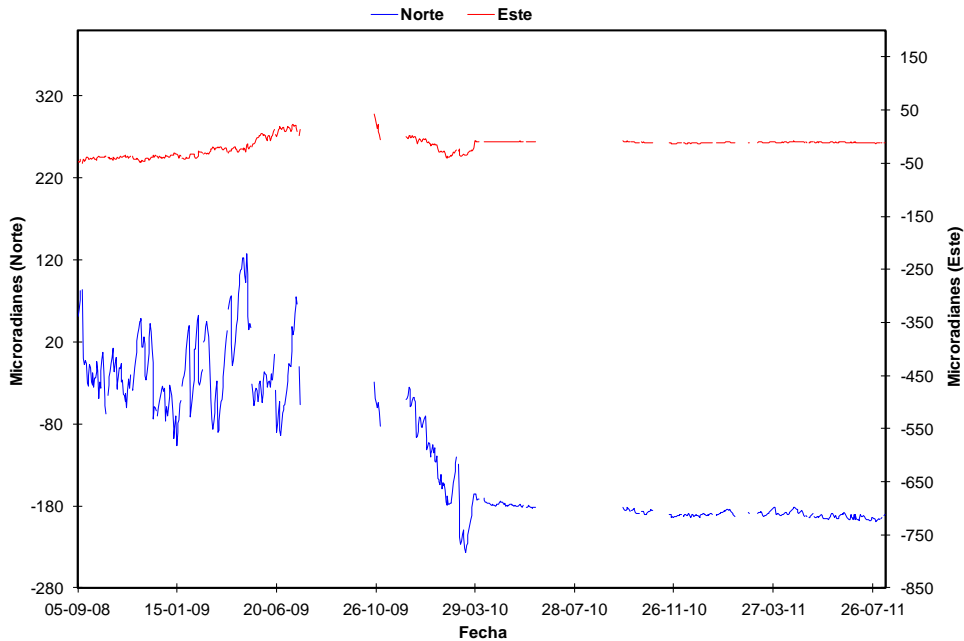


Figura 80. Comportamiento de las componentes Norte y Este, del inclinómetro electrónico El RODEO hasta el segundo semestre del 2011.

3.5.1.2 Inclinómetro CIMA

Esta estación fue instalada durante el mes de Marzo de 2011, fecha a partir de la cual muestra un comportamiento óptimo y estable en sus componentes, manteniendo un proceso deflacionario en la componente norte del orden de 35 μrad (Figura 81).

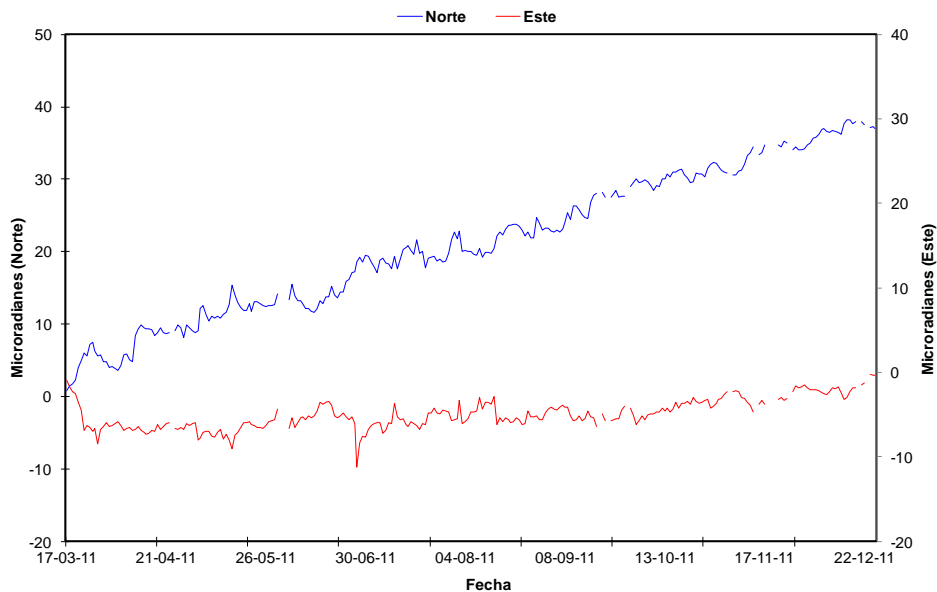


Figura 81. Comportamiento de las componentes Norte y Este, del inclinómetro electrónico CIMA hasta el segundo semestre del 2011.

3.5.2 Comportamiento de las líneas EDM

El comportamiento de las líneas EDM observadas desde la base SAN LORENZO hacia los reflectores AGUACALIENTE-ALTO, AGUACALIENTE-BAJO, BRISAS, CIELO ROTO, LA PALMA, PORVENIR, PRIMAVERA y RODEO, presentan un comportamiento muy estable con cambios en algunas mediciones, como respuesta a recuperaciones elásticas del sistema en correlación con algunos eventos volcánico-tectónicos en el volcán. (Figura 82).

Las demás líneas EDM observadas desde las bases ANILLO ALTO y LA PALMA muestran un comportamiento en proceso de estabilización, con cambios hasta de 8 mm con respecto a las últimas mediciones para la base ANILLO y de 1mm para la base LA PALMA. (Figura 83 y Figura 84).

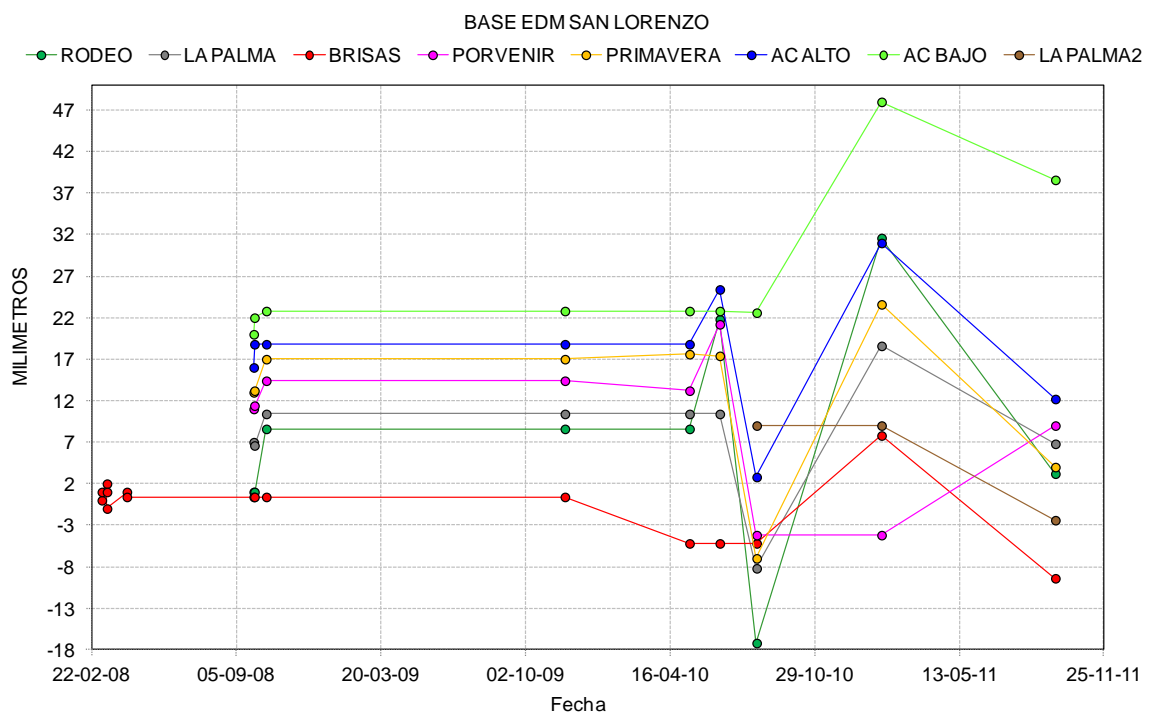


Figura 82. Comportamiento de la base EDM SAN LORENZO hasta Diciembre de 2011.

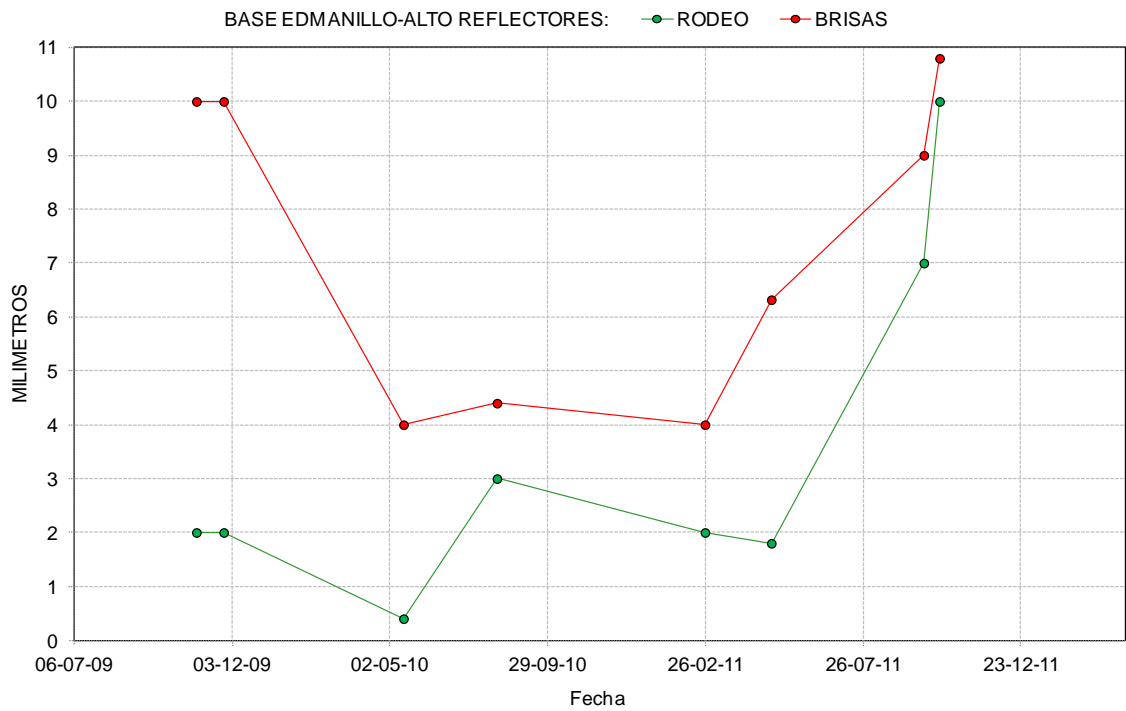


Figura 83. Comportamiento de la base EDM ANILLO-ALTO hasta Diciembre de 2011.

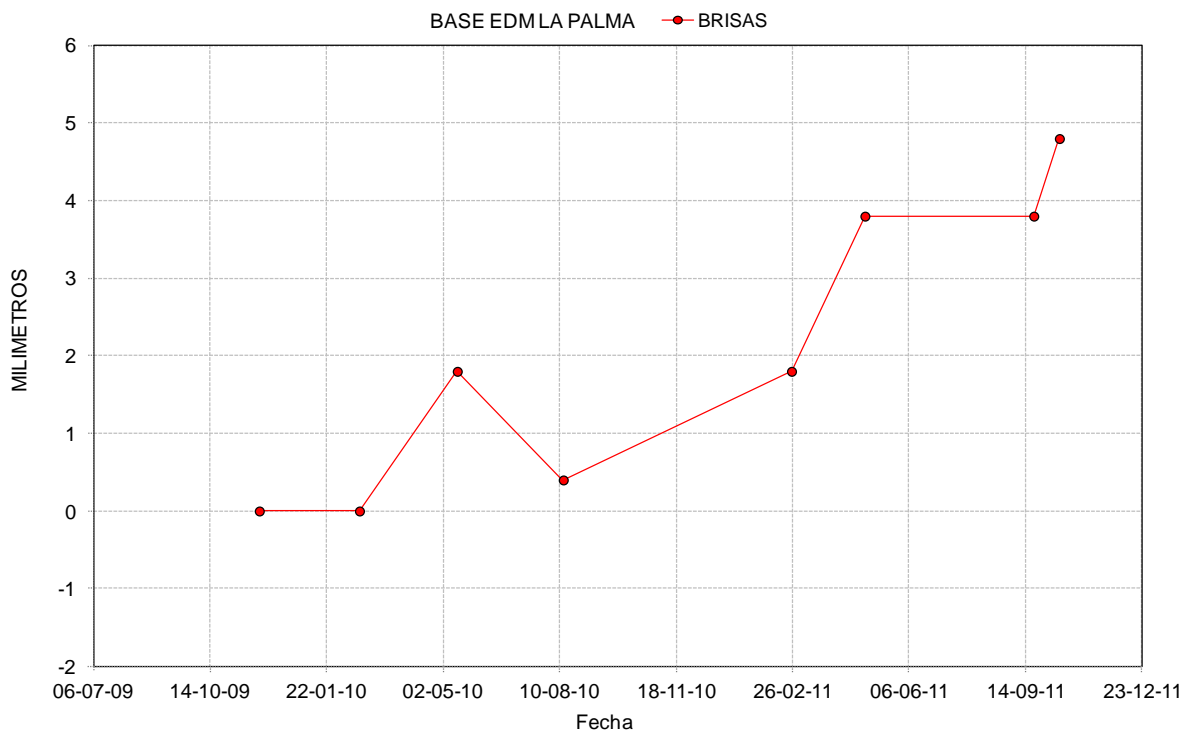


Figura 84. Comportamiento de la base EDM LA PALMA hasta Diciembre de 2011.

3.5.3 ESTACIONES GNSS

Durante el segundo semestre de 2011 se amplió la red de estaciones GNSS con la instalación y puesta en funcionamiento de la estación de nombre LA SECRETA, localizada al suroccidente del edificio volcánico; con el fin de ampliar la red geodésica y seguir avanzando en el monitoreo e investigación del fenómeno volcánico. (Figura 85).

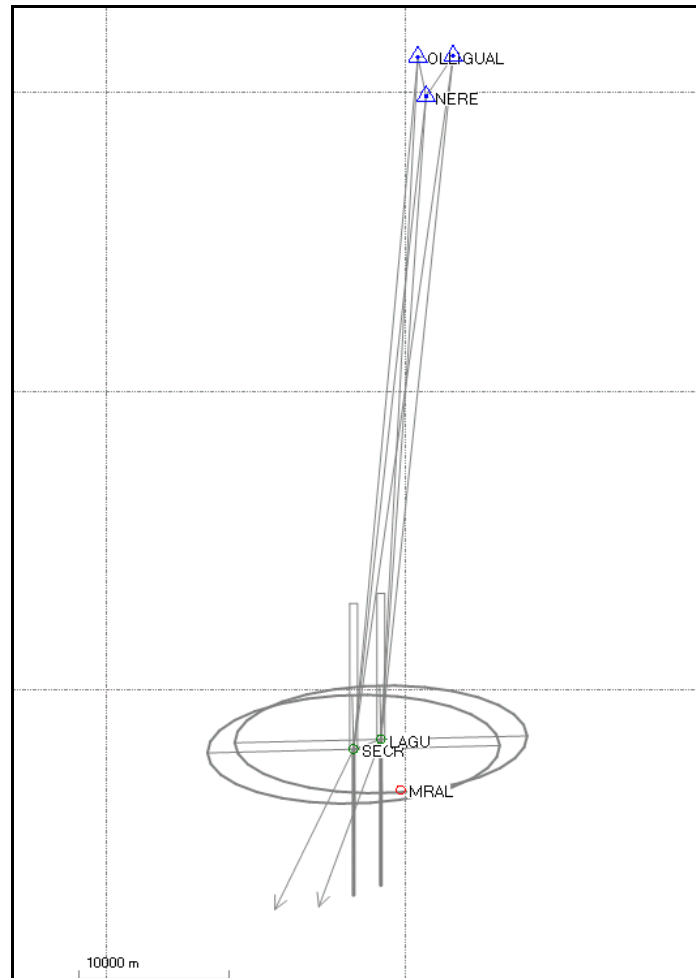


Figura 85. Estaciones GNSS. Volcán Cerro Machín II semestre de 2011.

4 VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)

4.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia del Volcán Cerro Bravo, durante el segundo semestre del 2012 fue del 84.08%.

El porcentaje de operación para los sistemas de corto periodo fue del 81.83% y para la estación de inclinometría fue del 86.33%.

En este periodo se realizaron tareas de mantenimiento correctivo en la estación de corto periodo CERRO BRAVO, en la estación de inclinometría CERRO BRAVO y en la estación repetidora EL DESQUITE.

4.2 SISMOLOGÍA

El Volcán Cerro Bravo durante el segundo semestre de 2011 presentó un nivel bajo de actividad sísmica. La red del VCB (Figura 86) registró seis eventos asociados a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Tipo VT), con una magnitud máxima registrada de 1.62 en la escala de Richter, correspondiente a un sismo ocurrido el día 04 de Noviembre a las 07:05 (Figura 87) y 26 eventos sísmicos asociados al tránsito de gases y fluidos en los conductos volcánicos (Tipo LP), con una magnitud máxima de 2.37 en la escala de Richter, correspondiente a un sismo ocurrido el día 25 de Diciembre a las 23:36 (Hora Local). En las Figura 88Figura 89 se observan la forma de onda y el contenido espectral del sismo de Largo Periodo (LP) de mayor magnitud registrado en el semestre. Se registraron además 79 señales sísmicas superficiales asociadas a pequeñas avalanchas y deslizamientos de tierra en cercanías del edificio volcánico. Las Figura 90Figura 91 muestran la energía liberada y el número de sismos respectivamente.

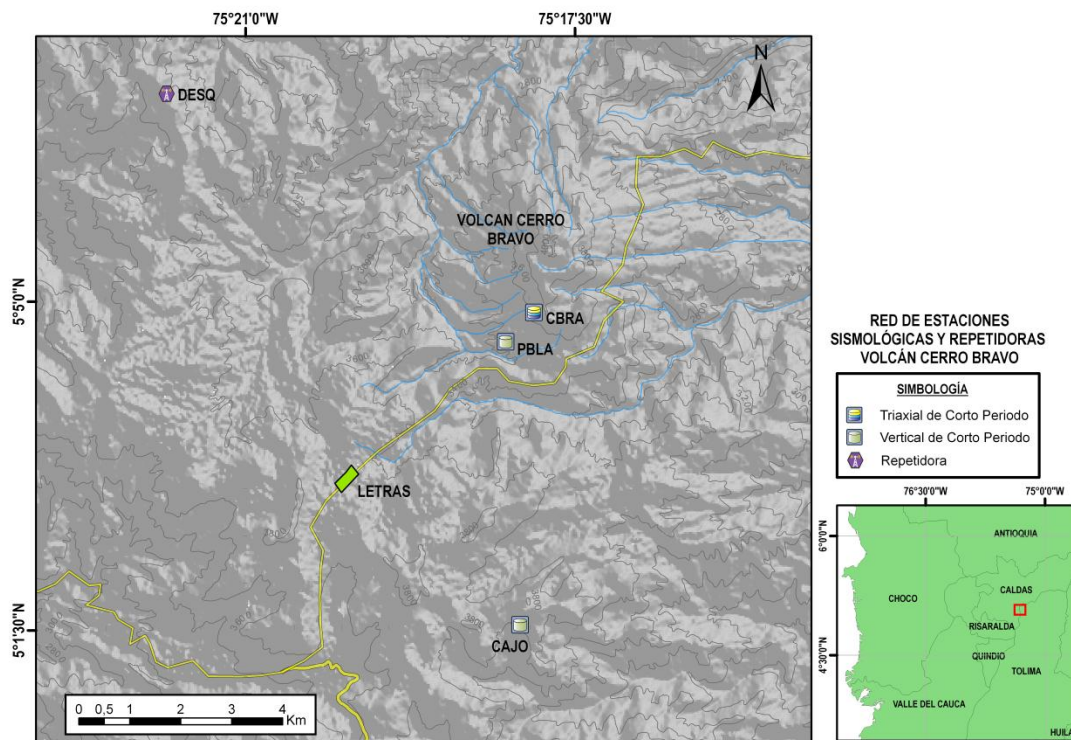


Figura 86. Red vigilancia sísmica, Volcán Cerro Bravo.

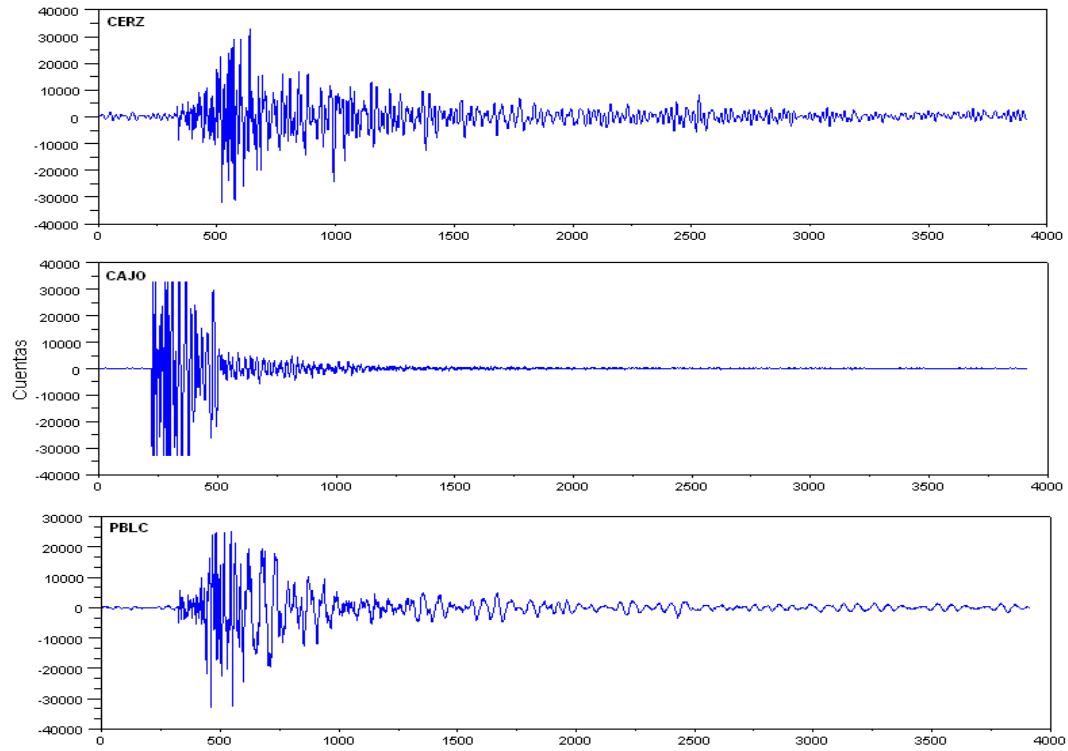


Figura 87. Forma de onda del sismo VT de mayor magnitud registrado durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Cerro Bravo.

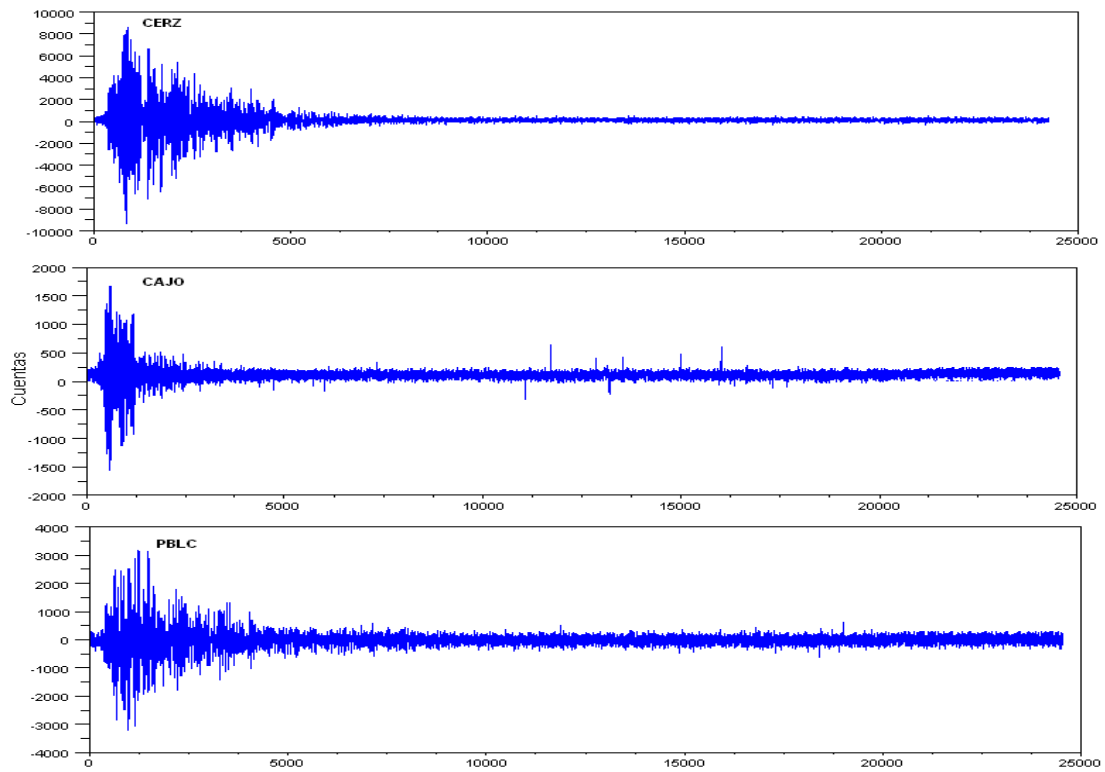


Figura 88. Forma de onda del sismo LP de mayor magnitud registrado durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Cerro Bravo.

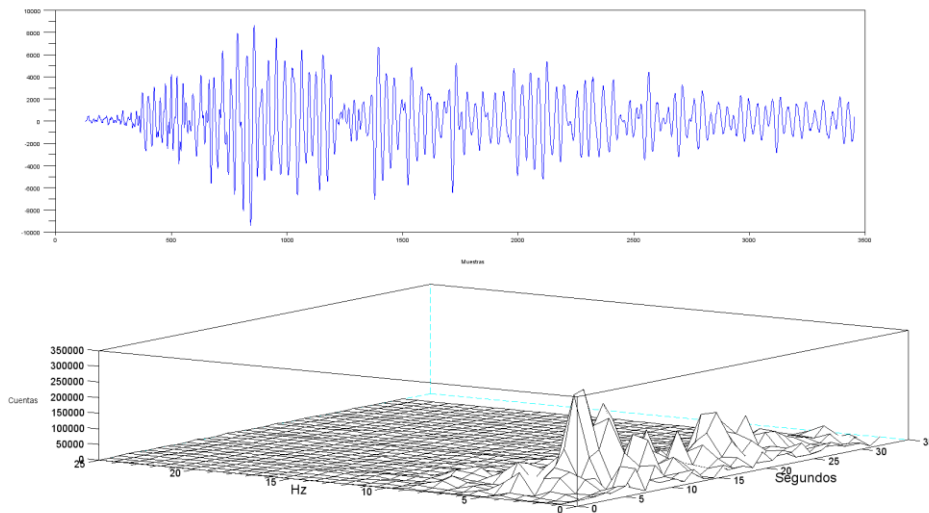


Figura 89. Forma de onda y espectro del evento de largo periodo de mayor magnitud registrado durante el segundo semestre de 2011 en el Volcán Cerro Bravo.

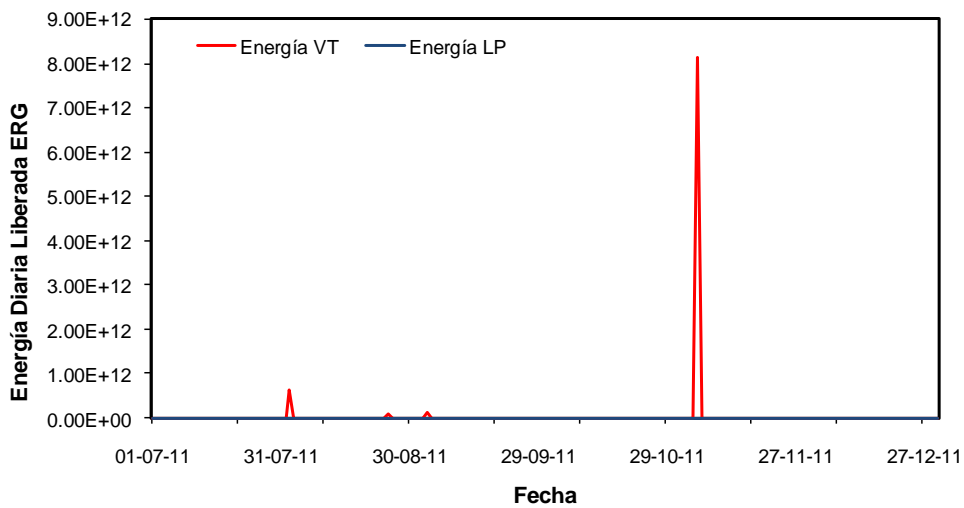


Figura 90. Número de sismos diarios ocurridos en el Volcán Cerro Bravo, segundo semestre de 2011.

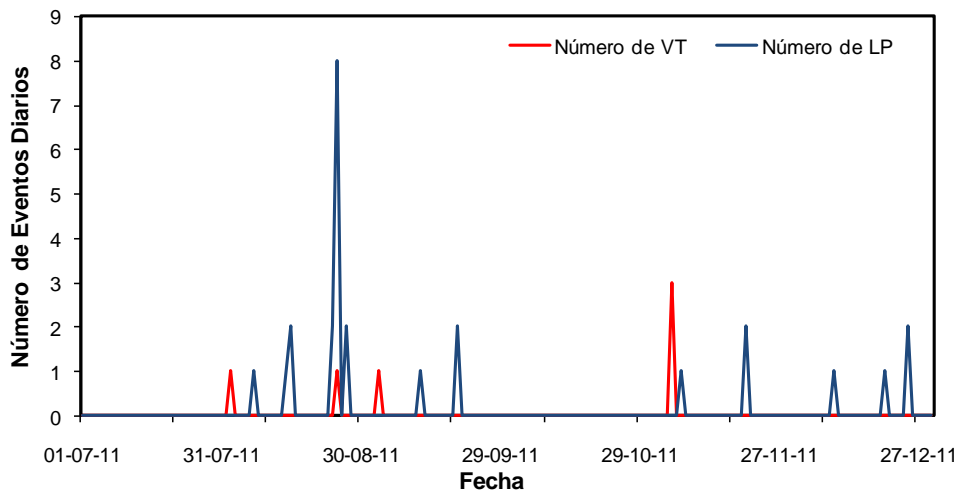
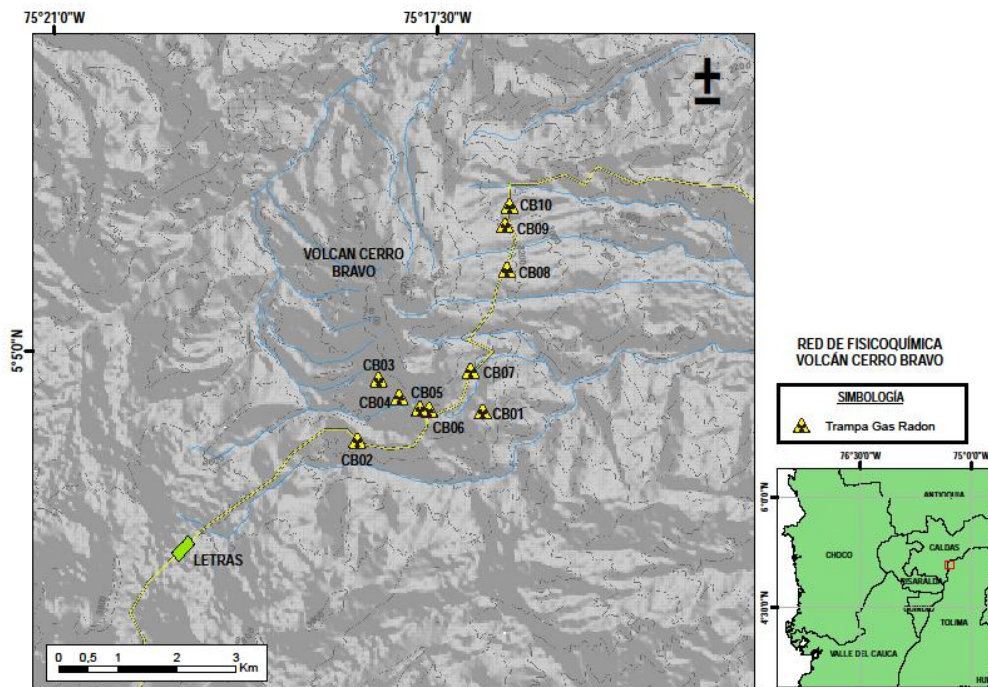


Figura 91. Energía sísmica diaria liberada por el Volcán Cerro Bravo, segundo semestre de 2011.

4.3 GEOQUÍMICA

4.3.1 Medidas de Gas Radón

Durante el segundo semestre de 2011 se realizó monitoreo periódico en las estaciones de gas Radón existentes y se instalaron ocho nuevas estaciones alrededor del Volcán. En la Figura 92 se aprecia el mapa de monitoreo geoquímico del VCB.



Durante el mes de Julio se instalaron 8 estaciones de gas Radón en el VCB. En la Figura 93 se aprecia el modo de instalación y algunos de los sitios seleccionados. Se realizó la perforación del sitio y se procedió a introducir el tubo de PVC con el electret y el tubo de aluminio para el arrastre del CO₂ difuso. Una vez asegurada la estación se procedió a sellar el tubo aplicando silicona en el tapón para evitar la entrada de agua.



Figura 93. Instalación de estaciones de Gas Radón en el Volcán Cerro Bravo. Segundo Semestre de 2011.

A continuación se presentan las coordenadas para las estaciones y su respectiva denominación.

Estación	Coordenadas
Cerro Bravo 3	05°04'33,7" N 075°17'50,8" W 3562 msnm
Cerro Bravo 4	05°04'24,1" N 075°17'39,5" W 3529 msnm
Cerro Bravo 5	05°06'09,2" N 075°16'38,7" W 3092 msnm
Cerro Bravo 6	05°05'58,5" N 075°16'41,3" W 3155 msnm
Cerro Bravo 7	05°05'34" N 075°16'40,2" W 3256 msnm
Cerro Bravo 8	05°04'38,4" N 075°17'00,3" W 3415 msnm
Cerro Bravo 9	05°04'16,9" N 075°17'23,1" W 3530 msnm
Cerro Bravo 10	05°04'17,6" N 075°17'28,1" W 3574 msnm

Los resultados del análisis de gas difuso mostraron que los valores en la concentración de Radón en CERRO BRAVO 1 y CERRO BRAVO 2 presentaron algunas variaciones durante el segundo semestre del año, CERRO BRAVO 2 mostró picos de difusión los meses de Noviembre y Diciembre con valores de 1862 y 4575 pCi/L, este último es el registro más alto que se tiene para esta estación desde su instalación. En CERRO BRAVO 1 también se registraron incrementos los meses de Julio, Octubre y Noviembre (Figura 94).

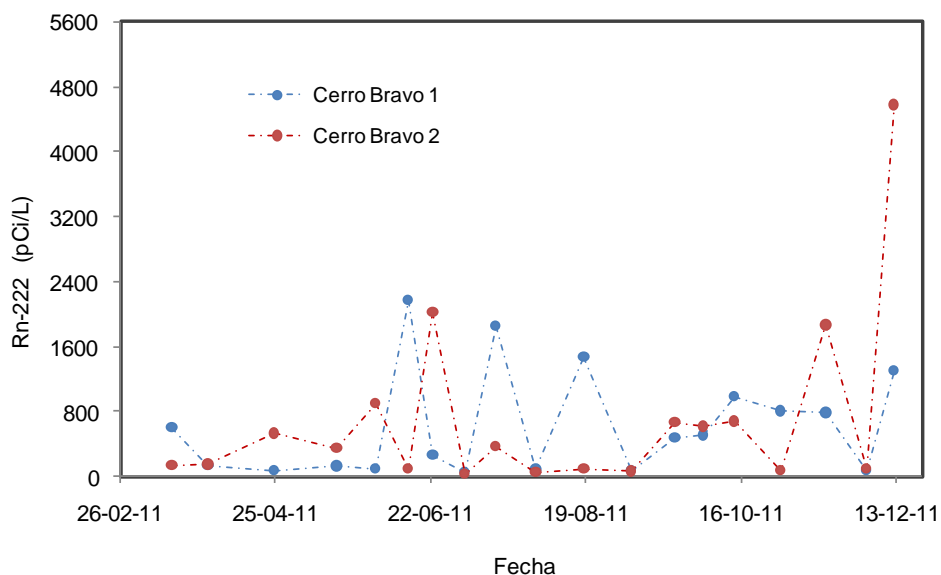


Figura 94. Variación de los Niveles de Radón en suelo. Estaciones a) CERRO BRAVO 1, CERRO BRAVO 2. Volcán Cerro Bravo. Segundo Semestre de 2011.

Las nuevas estaciones instaladas presentaron variaciones durante todo el semestre, no obstante también se presentaron picos de desgasificación los meses de Julio, Noviembre y Diciembre coincidiendo con las estaciones CERRO BRAVO 1 y CERRO BRAVO 2. Los mayores registros se presentaron en las estaciones CERRO BRAVO 4, 6,7 y 9 (Figura 95).

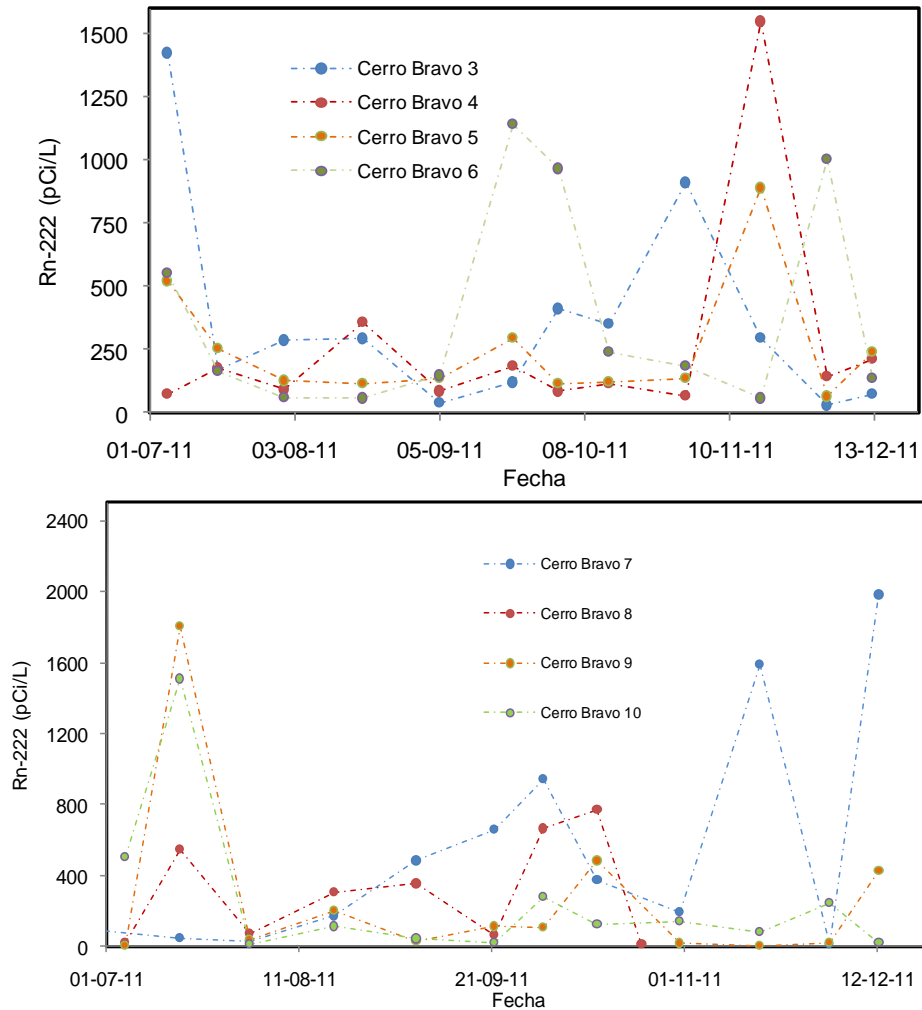


Figura 95. Variación de los Niveles de Radón en suelo. Estaciones a) CERRO BRAVO 4,5,6,7,8,9 y 10. Volcán Cerro Bravo. Segundo Semestre de 2011.

4.4 DEFORMACIÓN

Durante el segundo semestre de 2011 se conto, con el funcionamiento del inclinometro electrónico Cerro Bravo, localizado al occidente del edificio volcánico. Además se realizaron mediciones electrónicas de distancias a partir de las bases EDM del DOCE Y el PORTÓN. Durante el semestre no se realizaron mediciones de vectores de nivelación. (Figura 96).

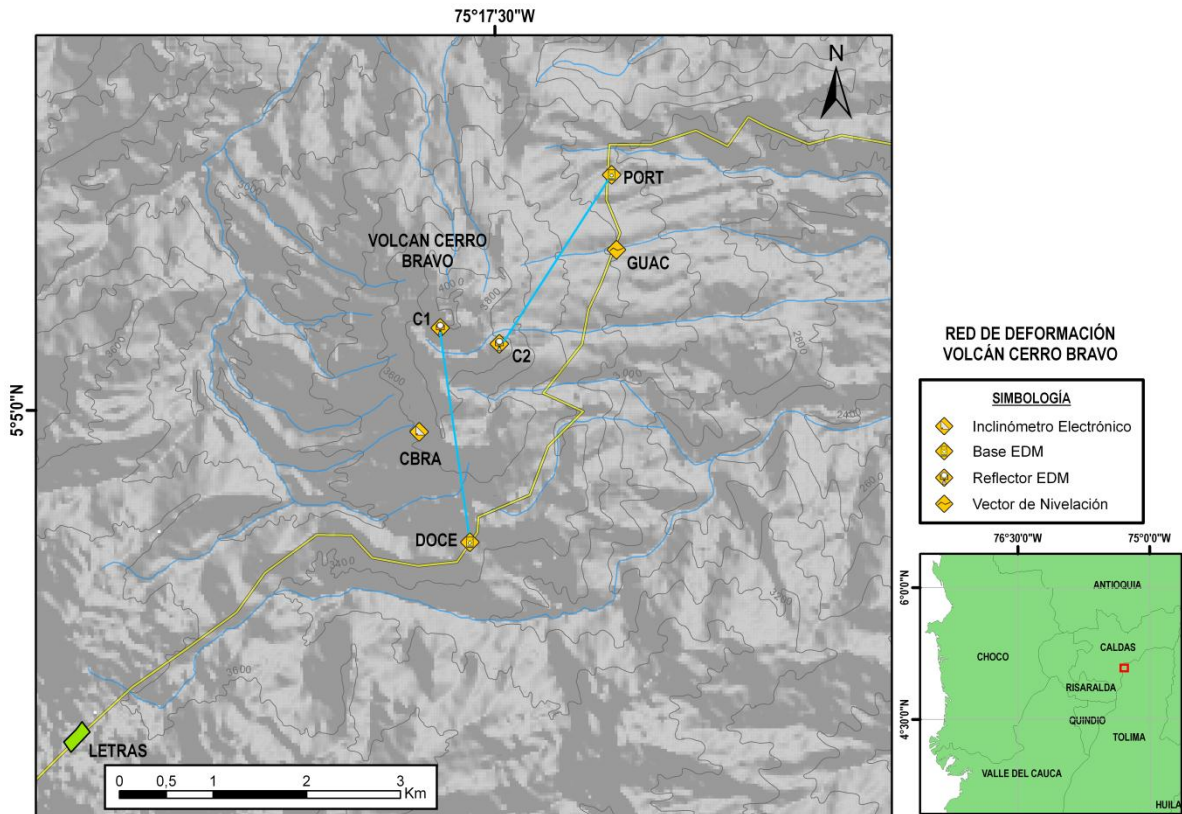


Figura 96. Red Geodésica VCB II semestre de 2011.

4.4.1 Inclinometría Electrónica

Durante el segundo semestre de 2011 se contó con la operación del inclinómetro electrónico de nombre CERRO BRAVO. El cual en términos generales opero de manera optima.

4.4.1.1 Inclinómetro CERRO BRAVO

Su comportamiento se caracteriza por ser óptimo y no presentar fluctuaciones, registrando equilibrio en las dos componentes (Figura 97).

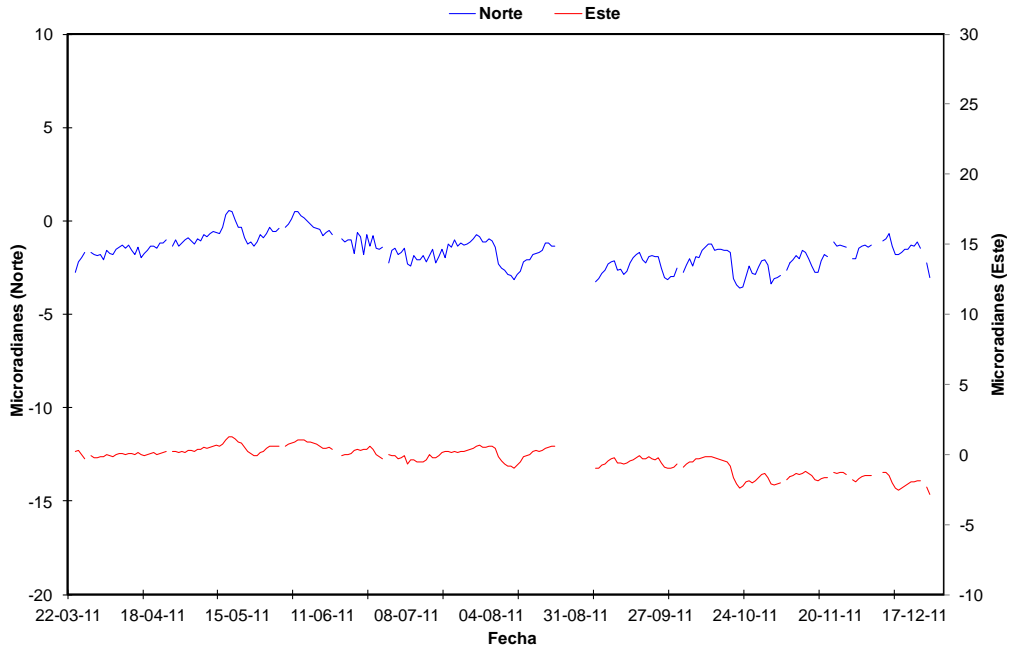


Figura 97. Comportamiento de las componentes Norte y Este, registrado por el inclinómetro electrónico CERRO BRAVO, hasta el segundo semestre de 2011.

4.4.2 MEDICIONES EDM

Durante el semestre se ocupó la base EDM del EL DOCE y EL PORTÓN, las mediciones realizadas a diferentes reflectores mostraron leves cambios en el reflector CB-2, asociados probablemente a una inestabilidad en la roca en donde reposa el prisma reflector, mientras que la base del PORTÓN muestran un cambio descendente del orden de 6mm con respecto a las últimas mediciones. (Figura 98 y Figura 99).

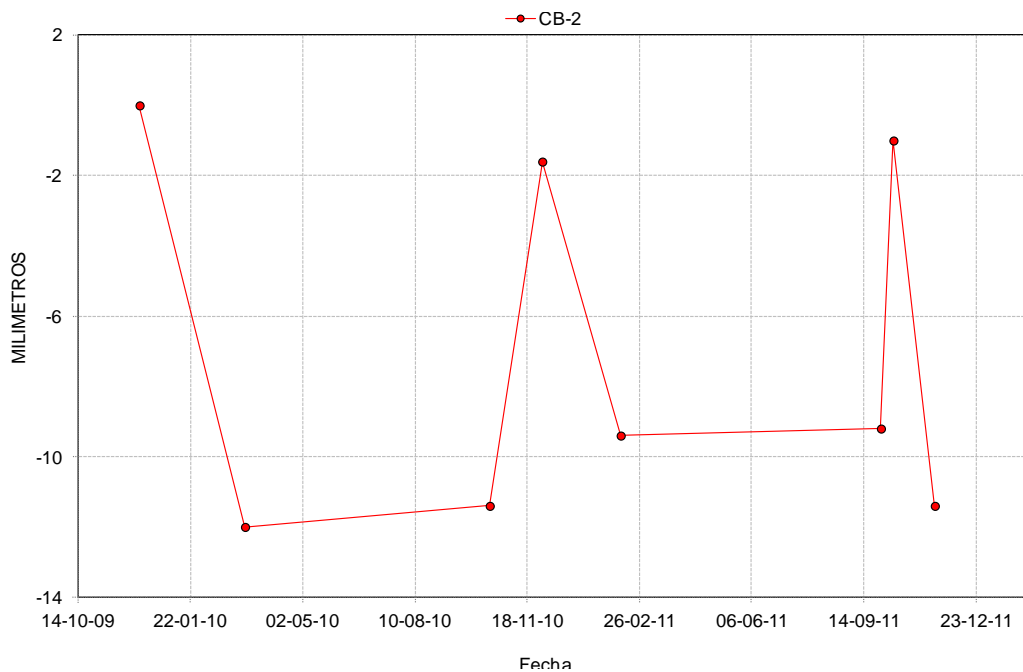


Figura 98. Mediciones EDM base el Doce. Volcán Cerro Bravo hasta diciembre de 2011.

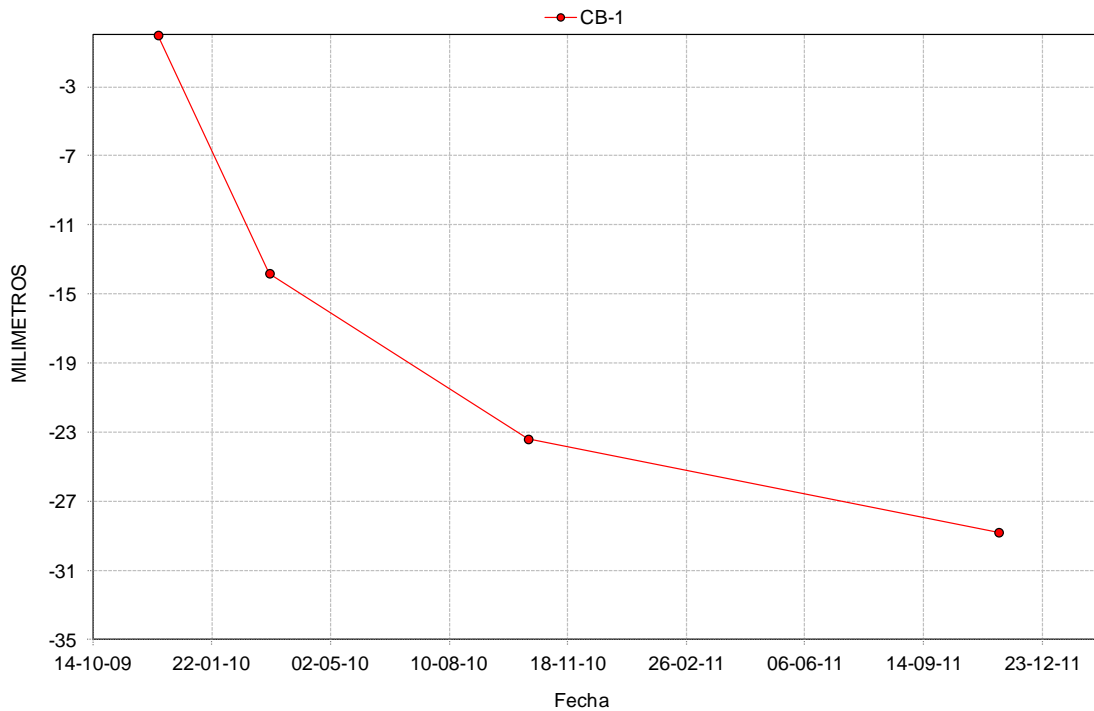


Figura 99. Mediciones EDM base el Portón. Volcán Cerro Bravo hasta diciembre de 2011.

5 VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VPSR)

5.1 RED DE VIGILANCIA

A mediados de mayo en la visita a la estación Paramillo se encontró el gabinete forzado y algunos elementos fueron robados como el panel solar, el regulador de voltaje y batería. La reinstalación de la misma no se ha podido realizar por problemas de logística tales como el alquiler de unas mulas para el transporte de los materiales y equipos.

5.2 SISMOLOGÍA

El Paramillo de Santa Rosa no mostró actividad sísmica durante el segundo semestre de 2011.

5.3 GEOQUÍMICA

Durante el segundo semestre de 2011 se realizó monitoreo a los nacimientos aledaños a los Balnearios San Vicente, Santa Elena y Santa Rosa. Se presentaron pequeñas variaciones en los parámetros fisicoquímicos de los nacimientos. La temperatura presentó estabilidad para los nacimientos de San Vicente, en Santa Elena y Santa Rosa, las variaciones estuvieron entre 1 y 3 °C (Figura 100).

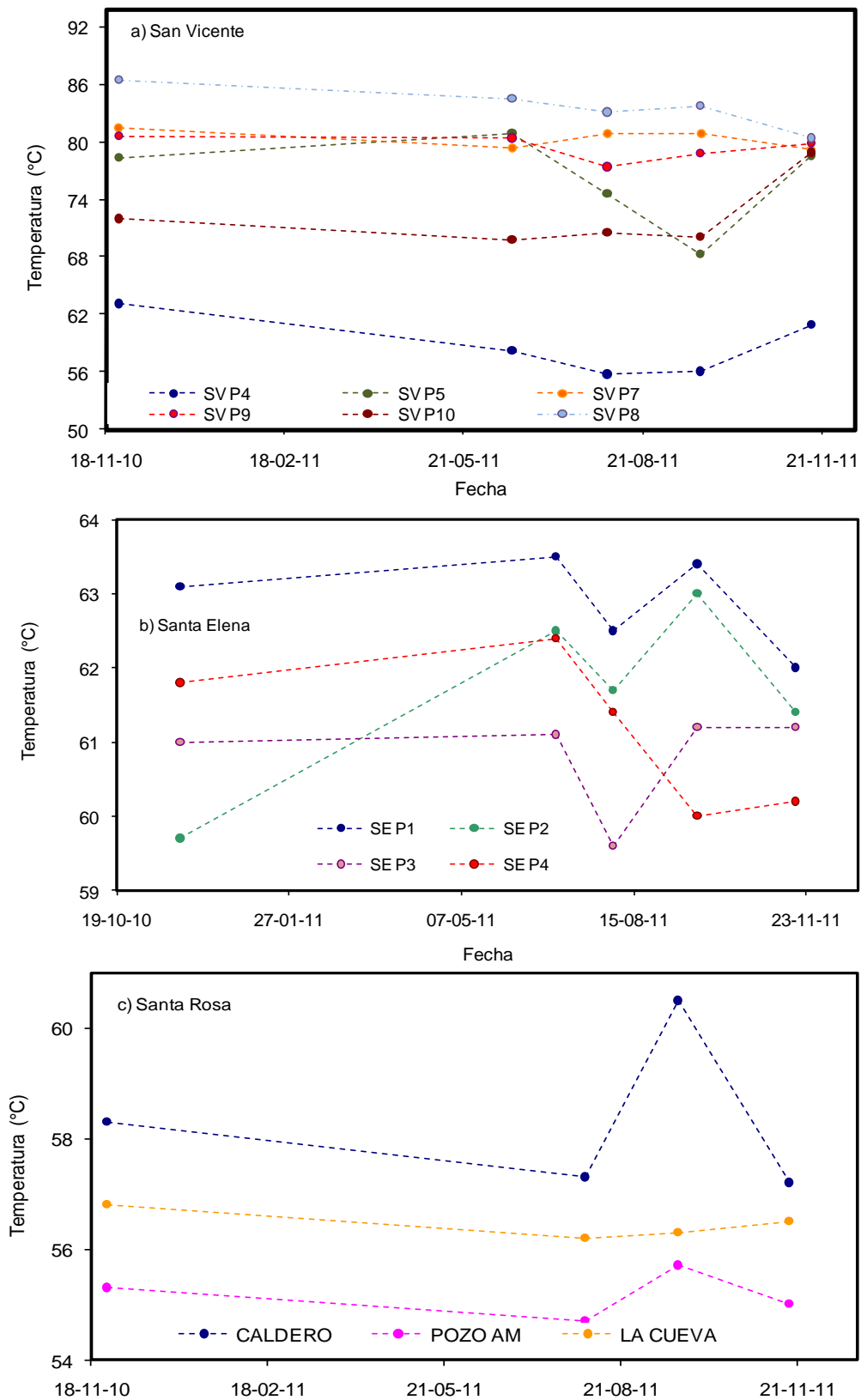


Figura 100. Variación de la Temperatura en los nacimientos termales de San Vicente, Santa Elena y Santa Rosa. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2011.

El pH también presentó variaciones durante las medidas del segundo semestre en todos los nacimientos termales. Los valores de acidez se mantuvieron en niveles neutros y alcalinos (Figura 101). Los nacimientos de san Vicente fueron los que presentaron las mayores variaciones, especialmente los puntos SVP9 y SVP5.

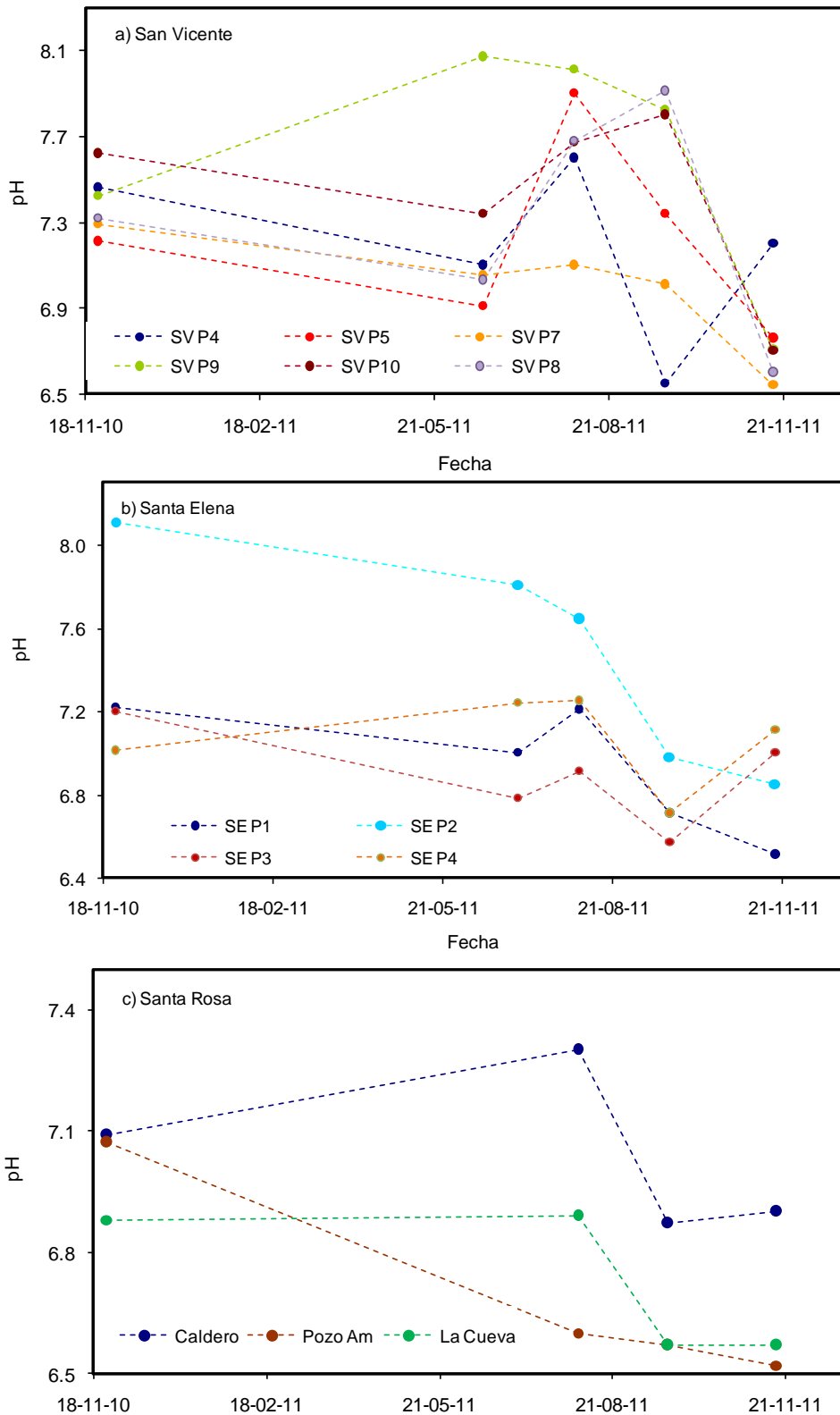


Figura 101. Variación del pH en los nacimientos termales de San Vicente, Santa Elena y Santa Rosa. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2011.

En las Figura 102 y Figura 103 se aprecia el comportamiento con el tiempo para la composición de cloruros y sulfatos, no se presentaron variaciones importantes en su concentración para los nacimientos del balneario San Vicente. En Santa Elena y San Vicente al parecer se presentaron procesos de mineralización y evaporación que hicieron que se presentaran variaciones en la concentración de aniones.

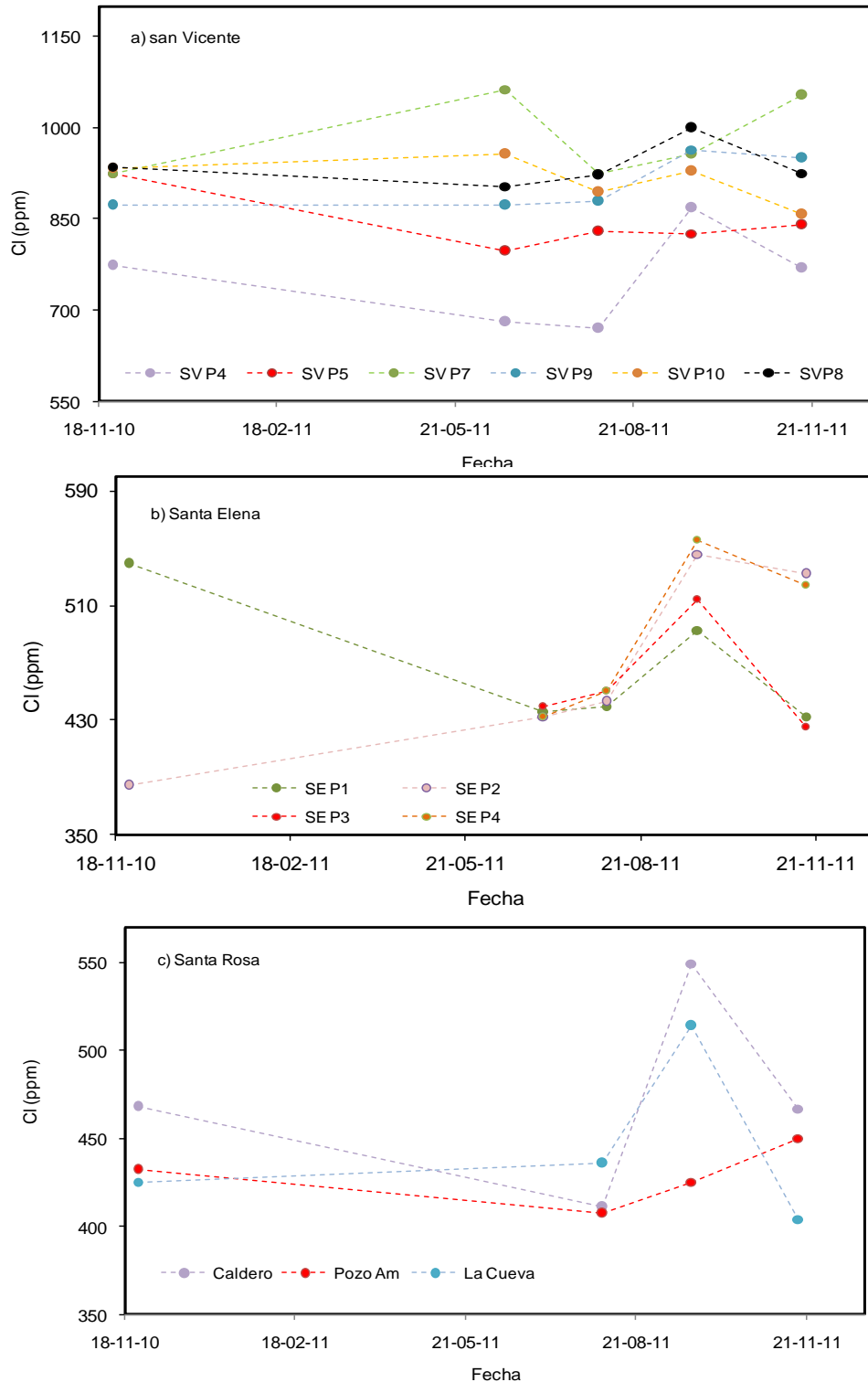


Figura 102. Variación de la concentración de Cloruros de los nacimientos termales San Vicente, Santa Elena y Santa Rosa. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2011

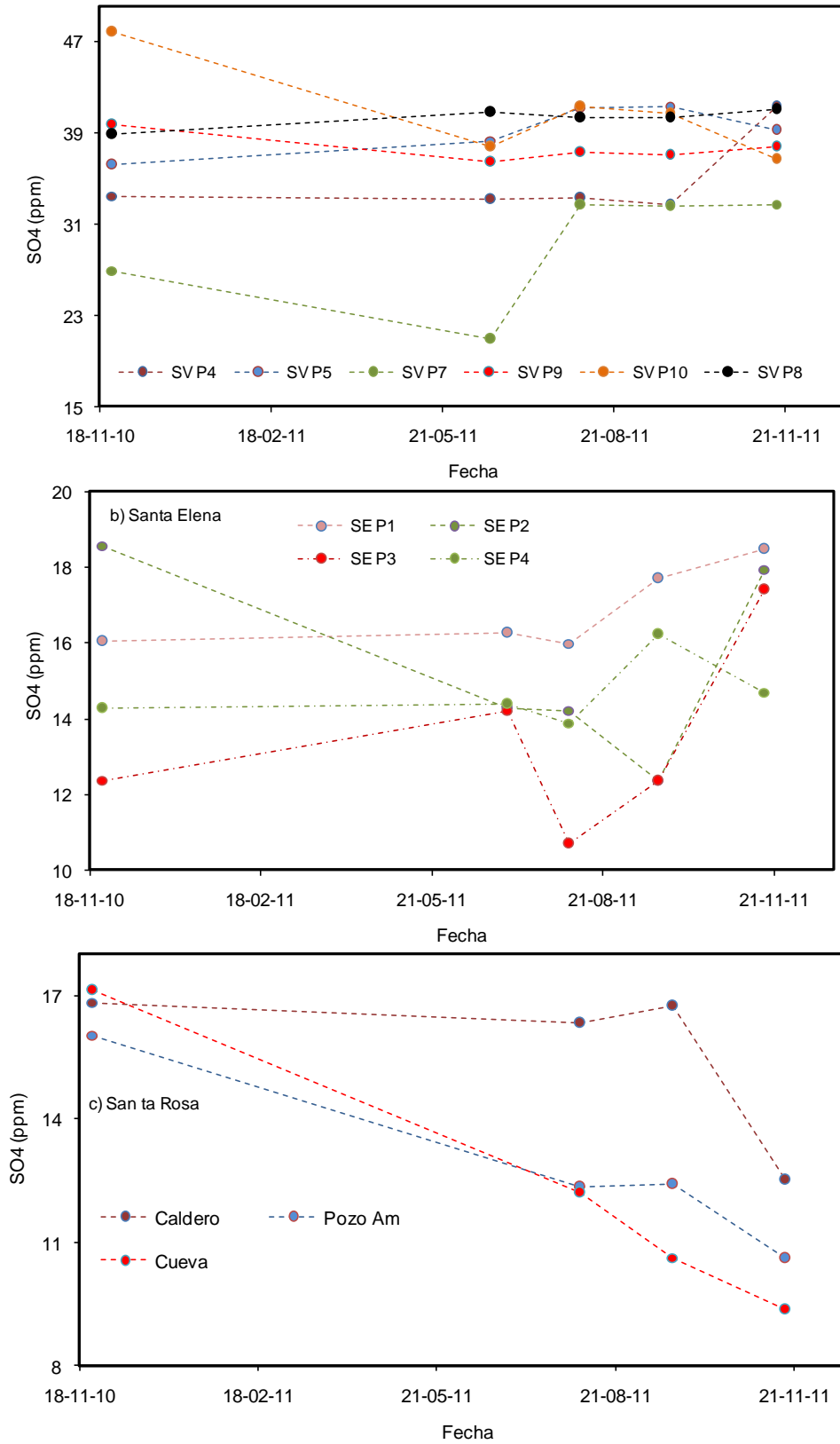


Figura 103. Variación de la concentración de Sulfatos de los nacimientos termales San Vicente, Santa Elena y Santa Rosa. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2011

6 VOLCÁN NEVADO DE SANTA ISABEL (VNSI)

6.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de operación para la red de vigilancia del Volcán Nevado Santa Isabel, durante el segundo semestre del 2012 fue del 66.7%.

Debido a una pérdida de señal de la estación de inclinometría SANTA ISABEL se instaló una repetidora en la OLLETA con el fin de mejorar el sistema de transmisión.

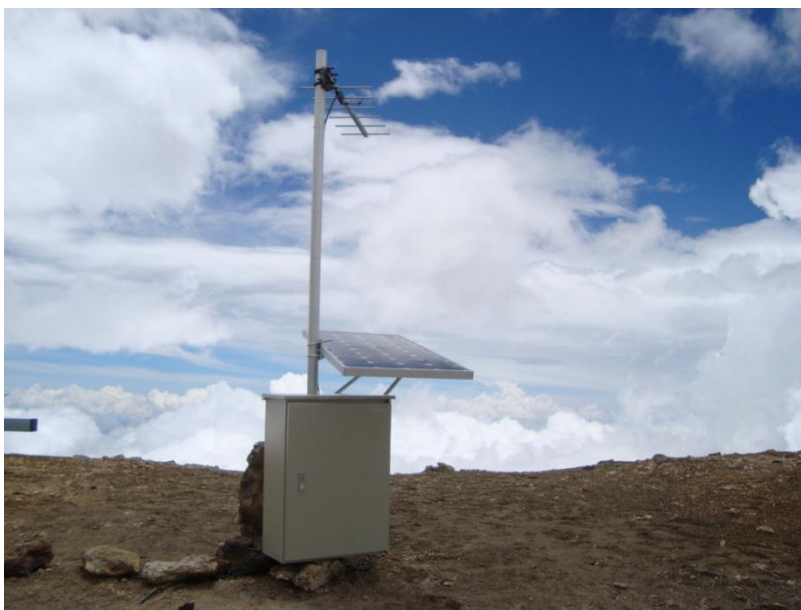


Figura 104. Instalación de la repetidora de la inclinometría de SANTA ISABEL en la OLLETA.

6.2 SISMOLOGÍA

En el Volcán Nevado de Santa Isabel no se registraron señales sísmicas durante el segundo semestre de 2011.

6.3 DEFORMACIÓN

Durante el segundo semestre de 2011 se contó con el funcionamiento del inclinómetro electrónico CHAVA localizado al noroccidente del edificio volcánico. Durante el semestre no se realizaron mediciones de control topográfico. (Figura 105).

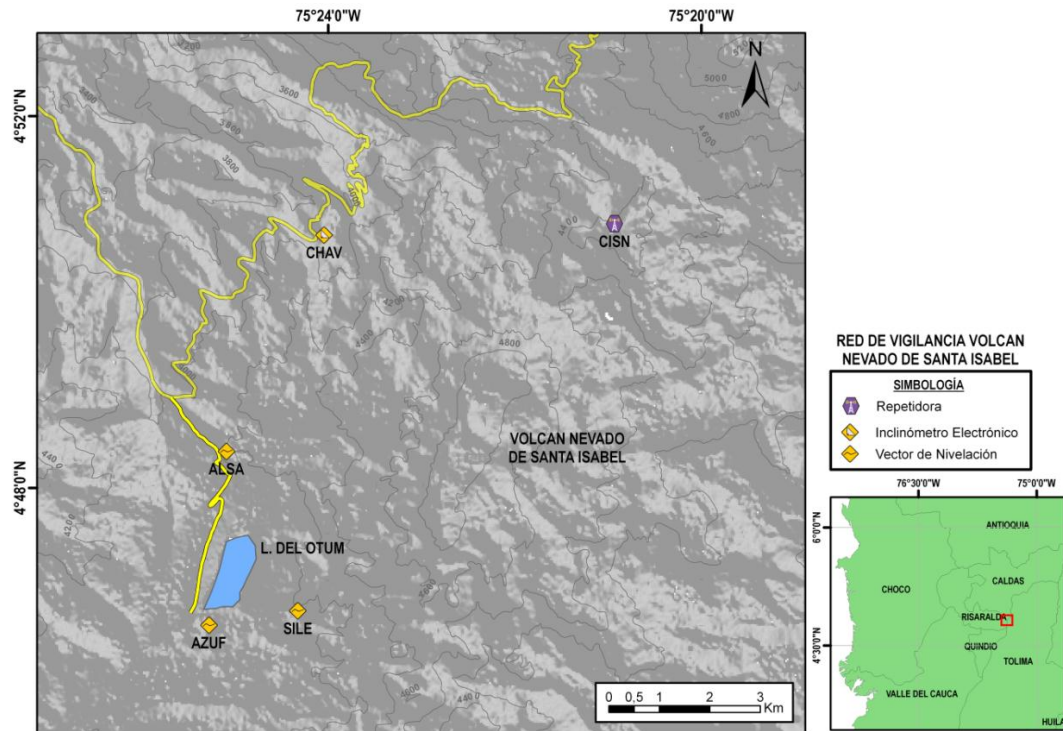


Figura 105. Red Geodésica VSI II semestre de 2011.

6.3.1 Inclinometría Electrónica

Durante el segundo semestre de 2011 se contó con la operación del inclinómetro electrónico CHAVA, el cual en términos generales opero correctamente.

6.3.1.1 Inclinómetro CHAVA

Desde su instalación en el mes de abril el comportamiento de este inclinómetro es óptimo y se caracteriza por no presentar grandes fluctuaciones en las componentes Norte y Este, manteniendo estabilidad en sus componentes. (Figura 106).

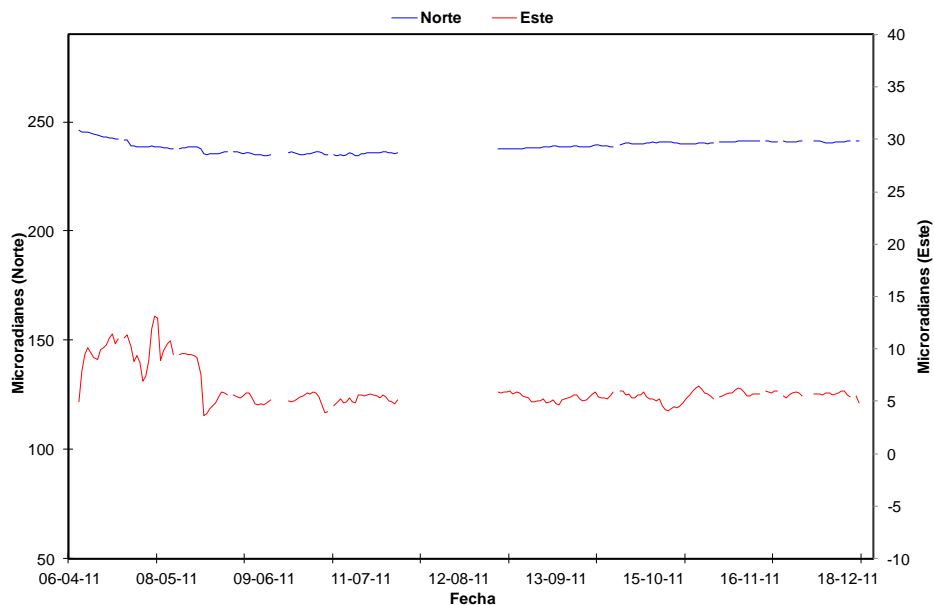


Figura 106. Comportamiento de las componentes Norte y Este, registrado por el inclinómetro electrónico CHAVA hasta el segundo semestre de 2011.

7 VOLCÁN PARAMILLO DEL CISNE (VPC)

7.1 SISMOLOGÍA

El Paramillo del Cisne no mostró actividad sísmica durante el segundo semestre de 2011.

8 PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ)

8.1 SISMOLOGÍA

A lo largo de este período de tiempo no se registraron señales sísmicas en el interior del Volcán Paramillo del Quindío.

9 ACTIVIDAD TECTÓNICA

9.1 RED DE VIGILANCIA

El porcentaje de funcionamiento de las estaciones regionales SAN JULIÁN, GUYANA, AGUADAS y MARSELLA fue del 85%.

En este periodo se realizaron actividades de mantenimiento preventivo en la estación GUYANA la cual había dejado de transmitir. También se realizó un mejoramiento del emplazamiento del sensor en la estación regional MARSELLA (Figura 107).



Figura 107. Mejoramiento del emplazamiento del sensor estación MARSELLA.

9.2 SISMOLOGÍA

En cuanto a la actividad sísmica asociada con fracturas y fallas en la región central de Colombia, durante el segundo semestre de 2011 estuvo caracterizada por la ocurrencia de 3176 eventos sísmicos de carácter local, con una magnitud máxima registrada en la escala de Richter de 4.57, registrado el día 05 de Julio a las 23:16 y localizado en Bagado (Chocó). Los demás eventos se localizaron en las siguientes zonas: Cordillera Occidental, Armenia, Romeral, Ibagué, Anzoategui - Alvarado y sector Honda – Pulí. La Figura 108 muestra la localización epicentral de los sismos de carácter tectónico, registrados por las estaciones del CVCBCM durante el segundo semestre de 2011.

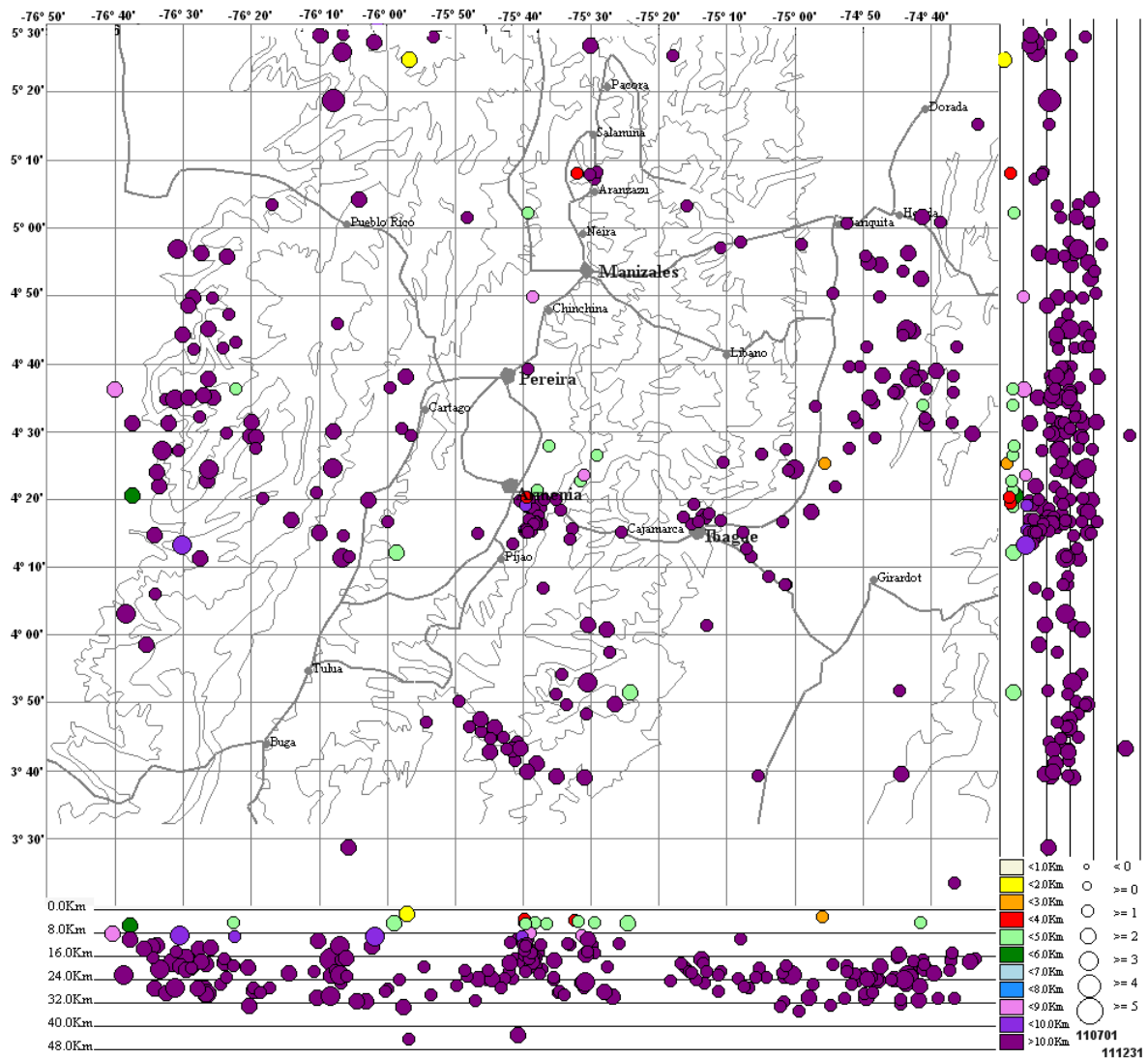


Figura 108. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el segundo semestre de 2011.

CONCLUSIONES

- ✓ La actividad sísmica de los volcanes del CVCMCB durante el segundo semestre de 2011, se mantuvo, en términos generales, estable, sin cambiar sus respectivos niveles de actividad.
- ✓ La actividad sísmica del Volcán Nevado del Ruíz durante el segundo semestre de 2011 presentó un comportamiento estable. La red sismológica del VNR registró eventos sísmicos asociados a fracturamiento de roca y a actividad de gases y de fluidos al interior del edificio volcánico. Así mismo se siguieron registrando explosiones y algunas señales sísmicas tipo multieventos.
- ✓ La actividad del volcán Nevado del Tolima durante el segundo semestre de 2011 se caracterizó por una sismicidad baja, se registraron eventos sísmicos asociados a fracturamiento de roca y a actividad de gases y de fluidos al interior del edificio volcánico.
- ✓ El comportamiento de la actividad sísmica del Volcán Cerro Machín continuó mostrando incrementos esporádicos de actividad asociada a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico, se destacan 6 de ellos los cuales tuvieron magnitudes mayores a 2.5 en la escala de Richter produciendo la mayor liberación de energía sísmica en lo relacionado al segundo semestre del año y reportados como sentidos por las personas en las inmediaciones del Volcán y el municipio de Cajamarca (Tolima).
- ✓ La magnetometría y Potencial Espontaneo pertenecientes al Volcán Cerro Machín mostraron tendencias estables con tendencias a cambios temporales y periódicos durante el segundo semestre de 2011.
- ✓ Los demás volcanes pertenecientes al CVCBM como: el Paramillo de Santa Rosa, Nevado de Santa Isabel, Paramillo del Cisne y Paramillo del Quindío no mostraron actividad sísmica durante el segundo semestre de 2011. A lo largo de este período de tiempo no se registraron señales sísmicas en el interior de estos Volcanes.
- ✓ La sismicidad regional de la parte central de Colombia, permaneció en términos generales estable en cuanto a las magnitudes registradas; aunque es importante resaltar que la zona del Eje Cafetero, como muchas zonas del país, está sometida a la amenaza de ocurrencia de sismos importantes en magnitud tanto de carácter profundo, asociados al proceso de subducción de la placa oceánica en el continente, así como superficiales, asociados a los sistemas de fallas que cruzan la región, por lo cual es necesario mantener activos, de manera permanente, tanto los planes de emergencia como las acciones comunitarias pertinentes, de tal manera que se pueda asumir el riesgo que dicha amenaza implica.
- ✓ El monitoreo geoquímico que se realizó en el segundo semestre de 2011 en el CVCMCB muestra que los parámetros fisicoquímicos y la composición química de los nacimientos termales del VNR presentaron estabilidad. Los nacimientos termales aledaños al VCM mostraron cambios en sus parámetros fisicoquímicos y composición, lo cual puede ser consecuencia de interacciones agua-roca que conllevan a procesos de mineralización y/o evaporación.

- ✓ El contenido de gases de las trampas alcalinas instaladas en el VNR fue variable durante el semestre ya que la capacidad de absorción de la solución depende de la dirección y velocidad del viento. El contenido molar de CO₂ osciló entre el 64 y 94%.
- ✓ La estación SCAN DOAS Bruma en el VNR, funcionó de manera correcta durante todo el segundo Semestre del 2011, se logró obtener un buen número de escaneos con pluma lo cual permitió la cuantificación y análisis de flujo de SO₂. Los promedios de SO₂ estuvieron por encima de 1100 Ton/día.
- ✓ Las estaciones para el monitoreo de gas Radón en el CVCBCM funcionaron de manera correcta, se realizaron mediciones periódicas que permitieron determinar las variaciones presentadas en algunas estaciones, y se pudo establecer su relación con la sismicidad volcano-tectónica presentada en el segundo semestre.
- ✓ Los inclinómetros electrónicos de la red de deformación así como las líneas EDM del VNR mantienen en general estabilidad, con fluctuaciones en las componentes de algunos de los inclinómetros electrónicos asociados principalmente a cambios de temperatura en el lugar.
- ✓ Los inclinómetros electrónicos de la red de deformación del VCM mantienen en general estabilidad, con pequeños cambios deflacionarios principalmente en el inclinómetro electrónico de CIMA ubicado en el domo principal.
- ✓ En general todas las estaciones de la red de deformación de los volcanes de Cerro Bravo, Volcán Nevado del Tolima y el Volcán Santa Isabel mantienen estabilidad sin registrar cambios importantes en la inclinación de la superficie volcánica.
- ✓ Es importante resaltar la instalación de dos estaciones GNSS en el Volcán Nevado del Ruiz y una en el Volcán Cerro Machín ya que este tipo de acciones contribuye para que el SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO se afiance en Suramérica como un instituto moderno y líder en la gestión de aplicaciones GNSS para el monitoreo y estudio de los volcanes activos de Colombia y mejorará significativamente los acercamientos a la predicción de posibles eventos eruptivos.