



Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLÓGICAS Y ENTORNO
AMBIENTAL**

**OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO
DE MANIZALES**

**BOLETÍN SEMESTRAL DE ACTIVIDAD REGISTRADA POR LOS
VOLCANES ACTIVOS DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CERRO BRAVO –
CERRO MACHÍN**

**ELABORADO POR:
GRUPO TÉCNICO DEL OVSM CON EL APOYO DE ESTUDIANTES
MONITORES**

I SEMESTRE DE 2010

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	9
INTRODUCCION	11
1 VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR)	12
1.1 RED DE VIGILANCIA	12
1.1.1 Corto Período	12
1.1.2 banda ancha	13
1.1.3 Monitores de flujos de lodo	14
1.1.4 Inclínometría electrónica	15
1.2 SISMOLOGIA	15
1.2.1 Sismos volcano-tectónicos	17
1.2.2 Sismos de largo periodo	20
1.2.3 Señales asociadas a la actividad glacial y columna de gas	23
1.3.GEOQUÍMICA	24
1.3.1 Emisiones de Gas Radón	25
1.3.2 Fuentes Termales (FT)	27
1.3.3 Gases en trampas alcalinas	33
1.3.4 Estaciones SCAN DOAS	35
1.4 DEFORMACION	37
1.4.1 Comportamiento inclinómetros secos	39
1.4.1.1 Inclinómetro Seco Bis	39
1.4.1.2 Inclinómetro seco Nereidas	39
1.4.1.3 Inclinómetro seco Refugio	40
1.4.1.4 Inclinómetro seco Tumbas	41
1.4.2 Comportamiento vectores de nivelación	41
1.4.2.1 Vector de nivelación Bis	41
1.4.2.2 Vector de nivelación Nereidas	42
1.4.2.3 Vector de nivelación Peñas Blancas	43
1.4.3 Comportamiento inclinómetros electrónicos	44
1.4.3.1 Inclinómetro electrónico Azufrado	44
1.4.3.2 Inclinómetro electrónico Bis	44
1.4.3.3 Inclinómetro electrónico Lisa	45
1.4.3.4 Inclinómetro electrónico Recio	46
1.4.3.5 Inclinómetro electrónico Refugio	47
1.4.4 Comportamiento líneas EDM	48
2.VOLCAN NEVADO DEL TOLIMA (VNT)	50
2.1 RED DE VIGILANCIA	50
2.2 SISMOLOGIA	50
2.2.1 Señales asociadas a la actividad glacial	53
3. VOLCAN CERRO MACHIN (VCM)	54
3.1 RED DE VIGILANCIA	54
3.1.1 Corto Periodo	54
3.1.2 Banda ancha	55
3.1.3 Sistema acústico	56

3.1.4	Inclinometría electrónica	56
3.1.5	Magnetometría	57
3.1.6	Autopotencial.	58
3.1.7	Geoquímica	58
3.2	SISMOLOGIA	60
3.3	OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS	64
3.3.1.	Magnetometría	64
3.3.2	Autopotencial	66
3.4	GEOQUÍMICA	66
3.4.1	Emisiones de Gas Radón	67
3.4.2	Fuentes Termales (FT)	70
3.4.3	Gases en Botellas de Giggenbach	72
3.5.	DEFORMACIÓN	76
3.5.1	Comportamiento inclinómetros secos	79
3.5.1.1	Incliseco Aguascalientes	79
3.5.1.2	Incliseco Eucalipto	79
3.5.1.3	Inclinómetro Seco Laguna	80
3.5.1.4	Incliseco La Secreta	81
3.5.2	Comportamiento vectores de nivelación	82
3.5.2.1	Vector de nivelación Domo	82
3.5.2.2	Vector de nivelación El Rodeo	83
3.5.2.3	Vector de nivelación Eucalipto	84
3.5.2.4	Vector de nivelación La Secreta	85
3.5.3	Comportamiento inclinómetros electrónicos	86
3.5.3.1	Inclinómetro electrónico Aguascalientes	86
3.5.3.2	Inclinómetro Electrónico Anillo	87
3.5.3.3	Inclinómetro electrónico Laguna	88
3.5.3.4	Inclinómetro electrónico Rodeo	89
3.5.4	Comportamiento de las líneas EDM	90
4	VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)	92
4.1	RED DE VIGILANCIA	92
4.1.1	Corto periodo	92
4.2	SISMOLOGÍA	93
4.3	GEOQUÍMICA	96
4.3.1	Medidas de gas Radón	96
5.	VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VPSR)	98
5.1	RED DE VIGILANCIA	98
5.2	SISMOLOGÍA	98
6.	PARAMILLO DEL QUINDIO (PQ)	98
6.1	RED DE VIGILANCIA	98
6.2.	SISMOLOGÍA	98
7.	ACTIVIDAD SÍSMICA REGIONAL	98
	CONCLUSIONES	100

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Complejo Volcánico Cerro Bravo- Cerro Machín	10
Figura 2. Estación RUBÍ	12
Figura 3. Estación repetidora RECREO.	12
Figura 4. Estación repetidora OLLETA	13
Figura 5. Estación repetidora BIS 1	13
Figura 6. Repetidora BIS 2	13
Figura 7. Estación Banda Ancha PIRAÑA.	14
Figura 8. Estación MOLINOS1	15
Figura 9. Estación MOLINOS 2	15
Figura 10. Mantenimiento estación LISA	15
Figura 11 Modulo de inclinometria electrónica BIS	15
Figura 12. Red de vigilancia sísmológica Volcán Nevado del Ruiz.	16
Figura 13. Energía sísmica diaria liberada por el VNR, primer semestre 2010	17
Figura 14. Número de sismos diarios ocurridos en el VNR, primer semestre de 2010.	17
Figura 15. Magnitud coda sismos volcano-tectónicos VNR primer semestre de 2010	18
Figura 16. Mapa de localización epicentral e hipocentral sismos volcano-tectónicos VNR primer semestre de 2010.el circulo muestra la localización de el enjambre sísmico del día 15 de Abril	19
Figura 17. Sismograma digital del enjambre registrado en el Volcán Nevado del Ruiz el 15 de Abril de 2010. Registro de la estación OLLETA.	20
Figura 18. Mecanismo focal asociado a los sismos del enjambre de Abril 15 en el Volcán Nevado del Ruiz. AZM: acimut: 50°, DIP: Buzamiento: 5.0°, Rake: deslizamiento: 90.0°. Los parámetros de la solución son: Score=100%, Calidad=100%.	20
Figura 19. Localización epicentral de sismos LP, VNR primer semestre de 2010.	21
Figura 20. Magnitud sismos LP VNR, primer semestre 2010.	22
Figura 21. Período predominante de sismos LP, VNR primer semestre 2010	22
Figura 22 Espectro (LP).Evento registrado el 13 de Abril de 2010 a las 23:57.	23
Figura 23. Máxima columna de gases observada en el VNR el lunes 21 de Junio a las 06:35 am. Altura estimada de la columna 900 m	24
Figura 24. Red de vigilancia geoquímica Volcán Nevado del Ruiz	25
Figura 25. Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones: a) GUALÍ, b) RIO GUALI y c) CAJONES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.	26
Figura 26. Variación de los niveles de Radón en suelo estación HOTEL. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010	27
Figura 27. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010	28
Figura 28. Variación del pH en Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.	28
Figura 29. Variación de la Conductividad Eléctrica en la Fuente Termal: GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010	29
Figura 30. Variación de la Conductividad Eléctrica en la Fuente Termal: AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010	30
Figura 31. Variación de la Conductividad Eléctrica en la Fuente Termal: HOTEL. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010	30
Figura 32. Variación de la Concentración de Cloruros en las Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.	31
Figura 33. Variación de la Concentración de Sulfatos en las Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010	31
Figura 34. $\delta^{18}\text{O}$ Vs δD en Agua	32
Figura 35. Variación de Isótopos Estables $\delta^{18}\text{O}$ Vs δD en Fuentes Termales: HOTEL, GUALI y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.	33
Figura 36. Variación en el contenido de Gases: CO_2 , HCl y SO_2 en Trampas Alcalinas:	

REFUGIO1, REFUGIO2, OLLETA 1, OLLETA 2, GUALÍ y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010	34
Figura 37. Estaciones SCAN DOAS: a) ALFOMBRALES, b) BRUMA. Volcán Nevado del Ruiz	35
Figura 38. Número de Escaneos promedio en estaciones SCAN DOAS: BRUMA y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.	36
Figura 39. Emisión de SO ₂ estaciones SCAN DOAS: BRUMA Y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.	36
Figura 40. Promedio de SO ₂ en estaciones SCAN DOAS: BRUMA y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.	37
Figura 41. Red de deformación del VNR (Junio de 2010), mostrando la distribución de inclinómetros electrónicos.	38
Figura 42. Red EDM del VNR (Junio de 2010), mostrando la distribución de las bases EDM.	38
Figura 43. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Bis desde Enero del 2004 hasta Junio de 2010.	39
Figura 44. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Nereidas desde 2004 hasta Junio de 2010	40
Figura 45. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Refugio desde 2001 hasta Junio de 2010.	40
Figura 46. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Tumbas desde 2001 hasta Junio de 2010.	41
Figura 47. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Bis desde 2001 hasta Junio de 2010	42
Figura 48. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Nereidas desde 2005 hasta Junio de 2010.	43
Figura 49. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Peñas Blancas desde 2007 hasta Junio de 2010.	43
Figura 50. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Azufrado durante el I semestre de 2010.	44
Figura 51. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Bis durante el I semestre de 2010.	45
Figura 52. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Lisa durante el I semestre de 2010.	46
Figura 53. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Recio durante el I semestre del año 2010.	47
Figura 54. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Refugio durante el I semestre de 2010.	48
Figura 55. 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 Junio de 2010	49
Figura 56. 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 Junio de 2010.	49
Figura 57. Red de vigilancia sísmológica Volcán Nevado del Tolima.	51
Figura 58. Mapa de Localización Hipocentral de sismos VT VNT primer semestre de 2010	52
Figura 59. Energía sísmica diaria, VNT primer semestre 2010	52
Figura 60. Número de sismos diarios, VNT primer semestre 2010	53
Figura 61. Número de avalanchas diarias en el VNT. primer semestre de 2010	53
Figura 62 forma de onda de una señal asociada a una avalancha correspondiente a la mayor registrada durante el semestre, ocurrida el día 28 de enero a las 15:12 en el Volcán Nevado del Tolima.	54
Figura 63. Estación repetidora de CIELO ROTO antes de trabajos en la estación	55
Figura 64. Estación repetidora de CIELO ROTO después de trabajos realizados	55
Figura 65. Estación de corto periodo TIGRE	55
Figura 66. Estación de banda ancha de ANILLO	56

Figura 67. Estación de banda ancha de ALEJANDRIA	56
Figura 68. Estación de inclinometría electrónica de RODEO.	56
Figura 69. Estación de inclinometría electrónica de LAGUNA.	56
Figura 70. Estación de inclinometría electrónica de AGUAS CALIENTES (Sistema Reemplazado).	57
Figura 71. Estación de inclinometría electrónica de AGUAS CALIENTES (Sistema Instalado).	57
Figura 72. Sistema electrónico con disipador de calor instalado	57
Figura 73. Adecuación para la instalación de los electrodos del magnetómetro de DOMO	58
Figura 74. Magnetómetro de DOMO	58
Figura 75. Modo de Instalación de Estaciones para el Monitoreo de Gas Radón en suelo. Volcán Cerro Machín.	59
Figura 76. Red de vigilancia sísmológica Volcán Cerro Machín.	61
Figura 77. Energía sísmica diaria liberada por el VCM, primer semestre 2010	61
Figura 78. Número de sismos diarios ocurridos en el VCM, primer semestre de 2010.	62
Figura 79. Magnitud coda sismos volcano-tectónicos VCM primer semestre de 2010.	62
Figura 80 Sismograma digital, incremento de Actividad registrado en el Volcán Cerro Machín El 31 de mayo de 2010. Registro de la estación CIMA. Los círculos rojos rellenos representan la identificación de cada sismo.	63
Figura 81. Mecanismo focal asociado a los sismos del enjambre de Abril 15 en el Volcán Nevado del Ruiz. AZM: acimut: 300°, DIP: Buzamiento: 86°, Rake: deslizamiento: -3°. Los parámetros de la solución son: Score=83.3%, Calidad=99.9%.	63
Figura 82. Localización hipocentral de sismos VT en el VCM, primer semestre de 2010.	64
Figura 83. Variaciones del campo magnético en el VCM. Estación AGUAS CALIENTES, primer semestre de 2010.	65
Figura 84. Variaciones del campo magnético en el VCM. Estación DOMO primer semestre de 2010.	65
Figura 85 Valores registrados durante el semestre por el Autopotencial de DOMO en el Volcán Cerro Machín	66
Figura 86 Red Geoquímica Volcán Cerro Machín	67
Figura 87. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: ANILLO, SAN LORENZO y PRIMAVERA. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.	68
Figura 88. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: RODEO, LAS PALMAS, LAS VIOLETAS y FUMA 1. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010	69
Figura 89. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: LAGUNA 1, GENA, LISANDRO y PIEDRAS 1. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010	69
Figura 90. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: SECRETA 1, SECRETA 2, AGUAS CALIENTES 1 y PIRO 1. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.	70
Figura 91. Variación de temperatura Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010	71
Figura 92. Variación de pH Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010	71
Figura 93. Variación de Conductividad Eléctrica en Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.	72
Figura 94. Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuentes Termales: a) PISCINA, b) ESTATUAS, Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010	73
Figura 95. Modo de muestreo Directo con Botellas de Giggenbach en la Fumarola La Macha. Volcán Cerro Machín.	74
Figura 96. Variación en el contenido de Gases: CO ₂ y HCl en la Fumarola LA MACHA. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.	75
Figura 97. Variación en el contenido de Gases: St y SO ₂ en la Fumarola LA MACHA. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010	76
Figura 98. Red de deformación del VCM (Junio de 2010).	77
Figura 99. Red EDM del VCM (Junio de 2010).	78
Figura 100. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro Aguascalientes desde 2005 hasta Junio de 2010	79

Figura 101. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro Eucalipto desde 2005 hasta Junio de 2010	80
Figura 102. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro La Laguna desde 2005 hasta Junio de 2010.	81
Figura 103. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro La Secreta desde 2005 hasta Junio de 2010.	82
Figura 104. Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Domo desde 2007 hasta Junio de 2010.	83
Figura 105. Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Rodeo desde 2005 hasta Junio de 2010.	84
Figura 106. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Eucalipto desde 2006 hasta Junio de 2010	85
Figura 107. Comportamiento acumulado del vector de nivelación la Secreta desde 2005 hasta Junio de 2010	86
Figura 108. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Aguacaliente durante en el I semestre de 2010.	87
Figura 109. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Anillo durante el I semestre de 2010.	88
Figura 110. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Laguna durante en el I semestre del 2010.	89
Figura 111. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y la Resultante del inclinómetro electrónico El Rodeo durante en el primer semestre del 2010.	90
Figura 112. Comportamiento de los reflectores Aguacaliente-Alto, Aguacaliente-Bajo, Brisas, Cielo Roto, La Palma, Porvenir, Primavera y Rodeo durante el I semestre de 2010	91
Figura 113. a) Radio y VCO.b) Antena. c) Sensor incrustado en la roca. d) sistema eléctrico y electrónico	92
Figura 114. Antigua estación de corto periodo de CAJONES	93
Figura 115. Instalaciones del nuevo sitio para la estación de corto periodo CAJONES	93
Figura 116. Red vigilancia sísmológica Volcán Cerro Bravo.	94
Figura 117. Energía sísmica diaria liberada por el VCB, primer semestre 2010	95
Figura 118. Número de sismos diarios ocurridos en el VCB, primer semestre de 2010	95
Figura 119. Red geoquímica Volcán Cerro Bravo	96
Figura 120. Variación de los Niveles de Radón en suelo. Estaciones a) CERRO BRAVO 1, CERRO BRAVO 2. Volcán Cerro Bravo. Primer Semestre de 2010	97
Figura 121. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el primer semestre de 2010.	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación de estaciones de radón instaladas el primer semestre del 2010	59
--	----

RESUMEN

La actividad de los volcanes del CVCBCM durante el primer semestre de 2010 se caracterizó por presentar en general, estabilidad y valores bajos en la mayoría de los parámetros que se monitorean.

La actividad del Volcán Cerro Machín se mantuvo en niveles bajos a medios, con algunos incrementos de entre los cuales se destacan los ocurridos el día 31 de Marzo, fecha en la que se registraron 110 sismos con una magnitud local máxima registrada de 2.38 correspondiente a un sismo a las 16:10, el cual corresponde a la mayor magnitud del semestre reportado como sentido por las personas de la zona. Adicionalmente, se registraron otros incrementos en la actividad, los meses de Abril, Mayo y Junio.

En cuanto al Volcán Nevado del Ruiz, presentó valores bajos tanto en energía sísmica como en el número de sismos durante todo el semestre, aunque se registró un leve incremento en la ocurrencia de sismos tipo VT, durante el mes de abril localizados al W del cráter adventicio de la OLLETA.

El Volcán Cerro Bravo y el Volcán Nevado del Tolima, igualmente registraron niveles muy bajos de actividad durante el semestre. De manera similar, los demás centros volcánicos tales como Paramillo de Santa Rosa, Paramillo del Quindío y Nevado Santa Isabel no registraron cambios importantes en la actividad.

INTRODUCCIÓN

El Instituto Colombiano de Geología y Minería 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 del Caldas, Risaralda, Quindío y Tolima (figura 1). Cumpliendo con la misión intrínseca que le ha sido encomendada, el OVS-Manizales realiza monitoreo continuo al 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 primer semestre de 2010 a través de las redes de vigilancia instalada en los alrededores de los volcanes Cerro Bravo, Volcán Nevado del Ruiz, Volcán Nevado del Tolima y Volcán Cerro Machín, el OVS Manizales presenta el informe de actividad de los mismos, correspondiente a dicho periodo.

1 VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ

1.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre del 2010 las estaciones de la red de vigilancia del Volcán Nevado del Ruiz presentaron, en general, un buen funcionamiento. Las estaciones sismológicas tuvieron un funcionamiento normal, aunque con algunas interferencias y ruidos que no afectaron de manera importante la vigilancia volcánica

Las acciones preventivas y/o correctivas llevadas a cabo durante este periodo fueron las siguientes

1.1.1 Mantenimiento estaciones Corto Período

El día 31 de Mayo se instaló una nueva estación sismológica triaxial de corto período de nombre RUBÍ (figura 2), para la cual se debió instalar un sistema repetidor, de nombre RECREO (figura 3). También se realizaron pruebas de calibración y pruebas de alta y baja frecuencia en el sensor.



Figura 2. Estación RUBÍ



Figura 3. Estación repetidora RECREO.

Se realizaron además tareas de mantenimiento y calibración en las estaciones de BIS, LISA, TOLDA FRÍA, y OLLETA (figura 4), donde se hicieron también tareas de protección y mantenimiento en las repetidoras de BIS1, BIS2, OLLETA, CISNE y DESQUITE. (Figuras 5 y 6)



Figura 4. Estación repetidora OLLETA



Figura 5. Estación repetidora BIS 1



Figura 6. Repetidora BIS 2

1.1.2 Mantenimiento estaciones banda ancha

El día 23 de abril se llevó a cabo la instalación de un nuevo sistema de banda ancha de nombre PIRAÑA (figura 7) con su respectiva repetidora de nombre el DESQUITE.



Figura 7. Estación Banda Ancha PIRAÑA.

1.1.3 Mantenimiento Monitores de flujos de lodo

Las estaciones de monitoreo de flujos de lodo MOLINOS1 (figura E8) y MOLINOS2 (figura 9) fueron visitadas con el propósito de cambiar las cajas contenedoras de los módulos de ambas estaciones, los cuales después de las visitas quedaron instalados en cajas de fibra de vidrio con soportes en tubos de PVC



Figura 8. Estación MOLINOS1



Figura 9. Estación MOLINOS 2

1.1.4 Mantenimiento estaciones Inclínometría electrónica

En la estación LISA se realizó cambio al radio módem por fallas en el radio anterior, lo que causaba pérdida de datos de la estación (figura 10). Una vez corregido esto, la estación continuó presentando funcionamiento normal. Se realizaron también tareas de revisión y mantenimiento en la estación de inclinometría electrónica BIS (figura 11).



Figura 10. Mantenimiento inclinómetro LISA



Figura 11 Modulo de inclinometria electrónica BIS

1.2 SISMOLOGÍA

La actividad sísmica del Volcán Nevado del Ruiz (VNR) permaneció estable en términos generales durante el primer semestre de 2010; el número de sismos registrados, así como la energía sísmica liberada mostraron niveles bajos. Se registraron durante el semestre 1693 sismos de baja magnitud, localizados principalmente en el cráter, al oeste y sureste de el mismo, con profundidades que oscilaron entre 0.5 y 9.0 km. La mayor magnitud registrada fue

de 2.56 en la escala de Richter, la cual corresponde a un evento tipo volcano-tectónico (VT) registrado el día 19 de abril a las 23:43. Se destaca la ocurrencia de un pequeño enjambre sísmico tipo VT, con 51 eventos registrados el 15 de Abril y localizado al W del cráter de la Olleta con profundidades que oscilaron entre 5 y 7 Km. la figura 12 muestra la red de vigilancia sísmica del Volcán Nevado del Ruiz y las figuras 13 y 14 muestran los valores de energía y el número de sismos diarios registrados durante el semestre.

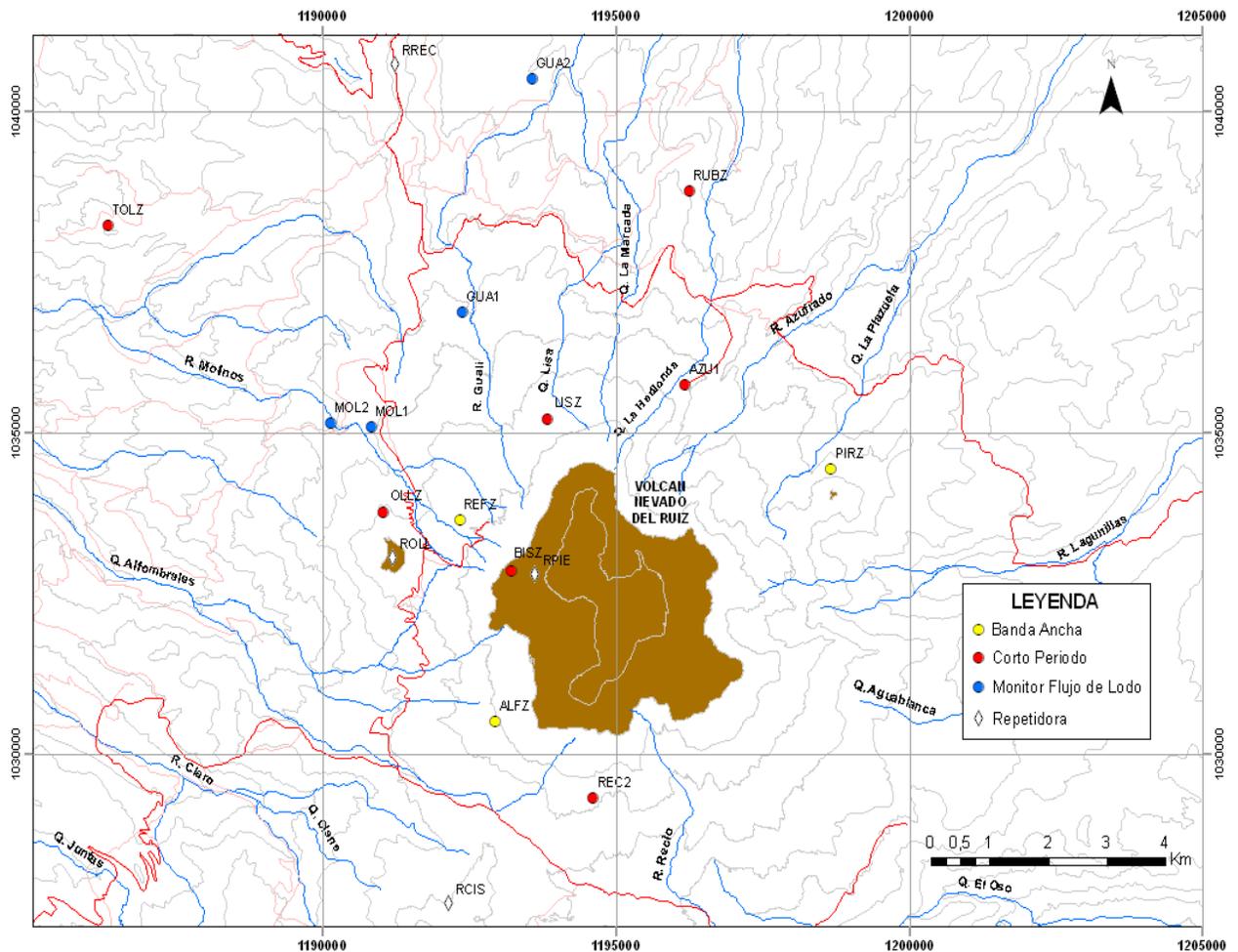


Figura 12. Red sísmica Volcán Nevado del Ruiz.

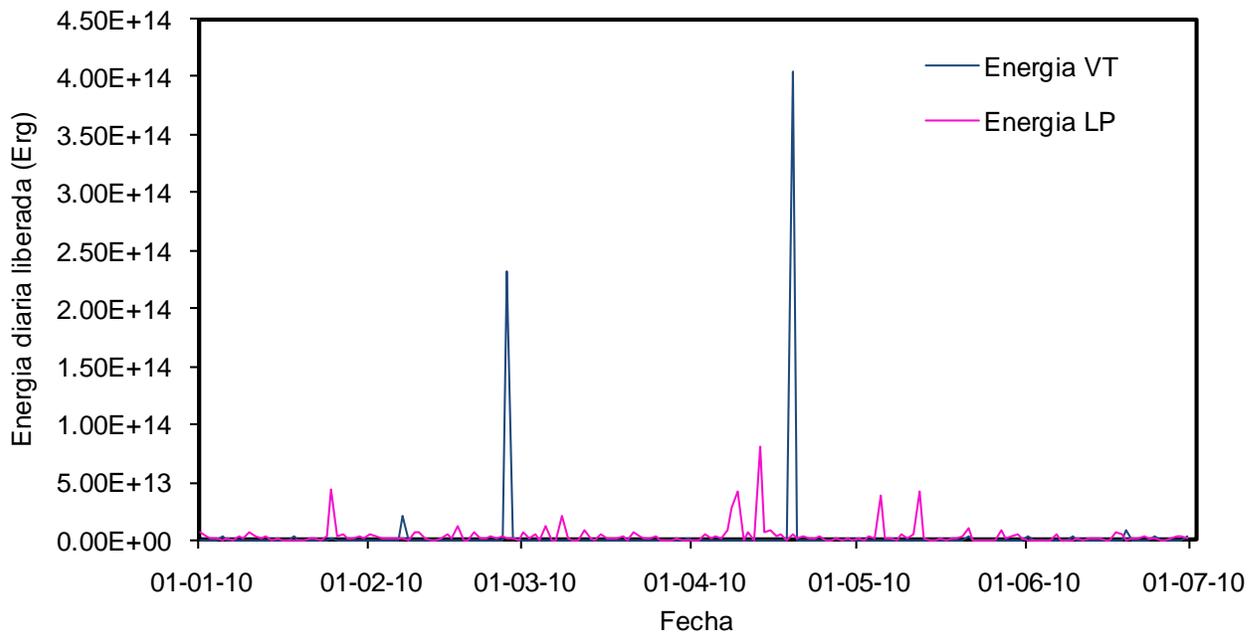


Figura 13. Energía sísmica diaria liberada por el VNR, primer semestre 2010.

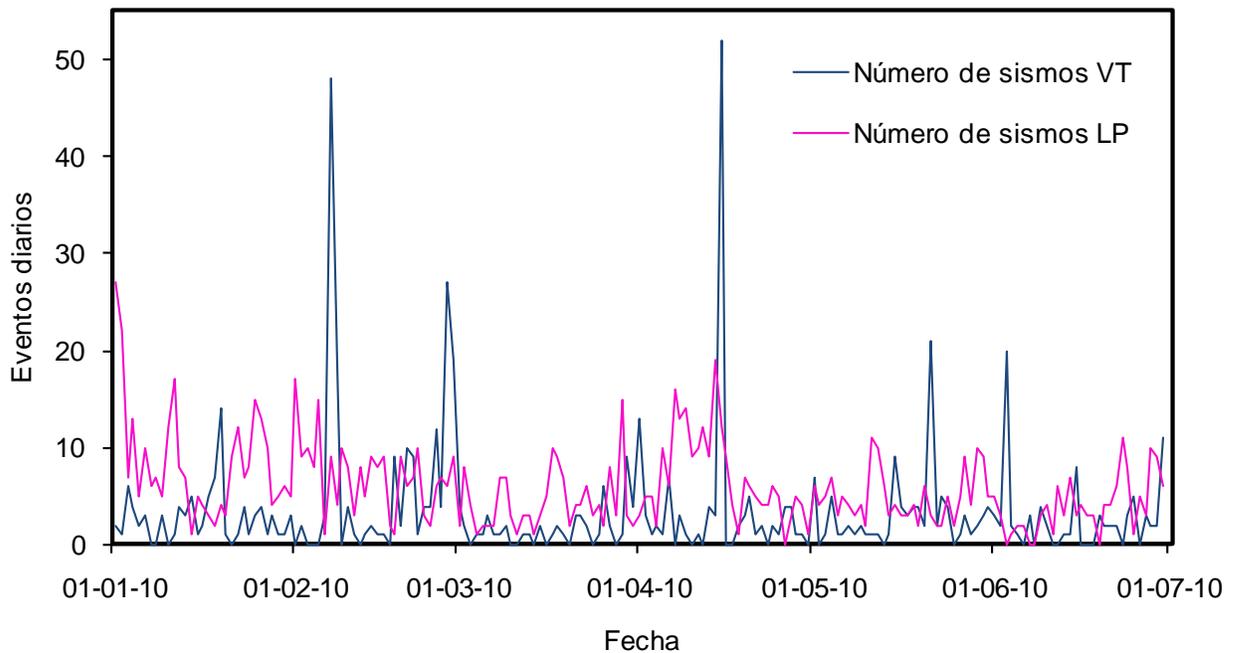


Figura 14. Número de sismos diarios ocurridos en el VNR, primer semestre de 2010.

1.2.1 Sismos volcano-tectónicos

Durante el semestre se registraron un total de 617 eventos sísmicos relacionados con fractura de roca en el edificio volcánico, los cuales alcanzaron una magnitud máxima de 2.56 en la escala de Richter, el cual corresponde a un sismo ocurrido el día 19 de abril a las 23:43 (figura 15); estos sismos se localizaron principalmente en el cráter al sur y sureste del mismo a

profundidades que variaron entre 0.5 y 9 Km (figura 16). Se destaca la ocurrencia de un enjambre sísmico el día 15 de Abril con un total de 51 eventos localizados al W del cráter Olleta entre profundidades entre 5 y 7 Km (figura 17). Se estimaron los mecanismos focales de los sismos de mayor magnitud de este incremento; los resultados obtenidos muestran una gran variación de los mecanismos, lo que puede ser debido a que la cobertura acimutal no fue optima, sin embargo es notoria una tendencia de fallamiento inverso, tal y como se señala en la (figura 18).

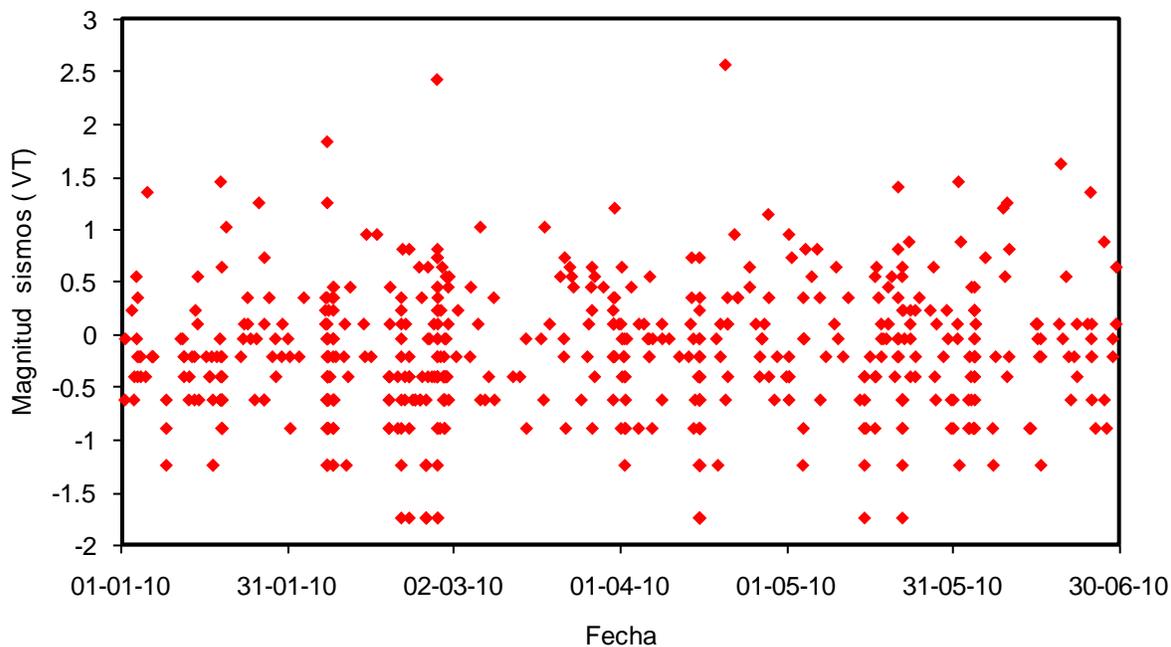


Figura 15. Magnitud coda sismos volcano-tectónicos VNR primer semestre de 2010.

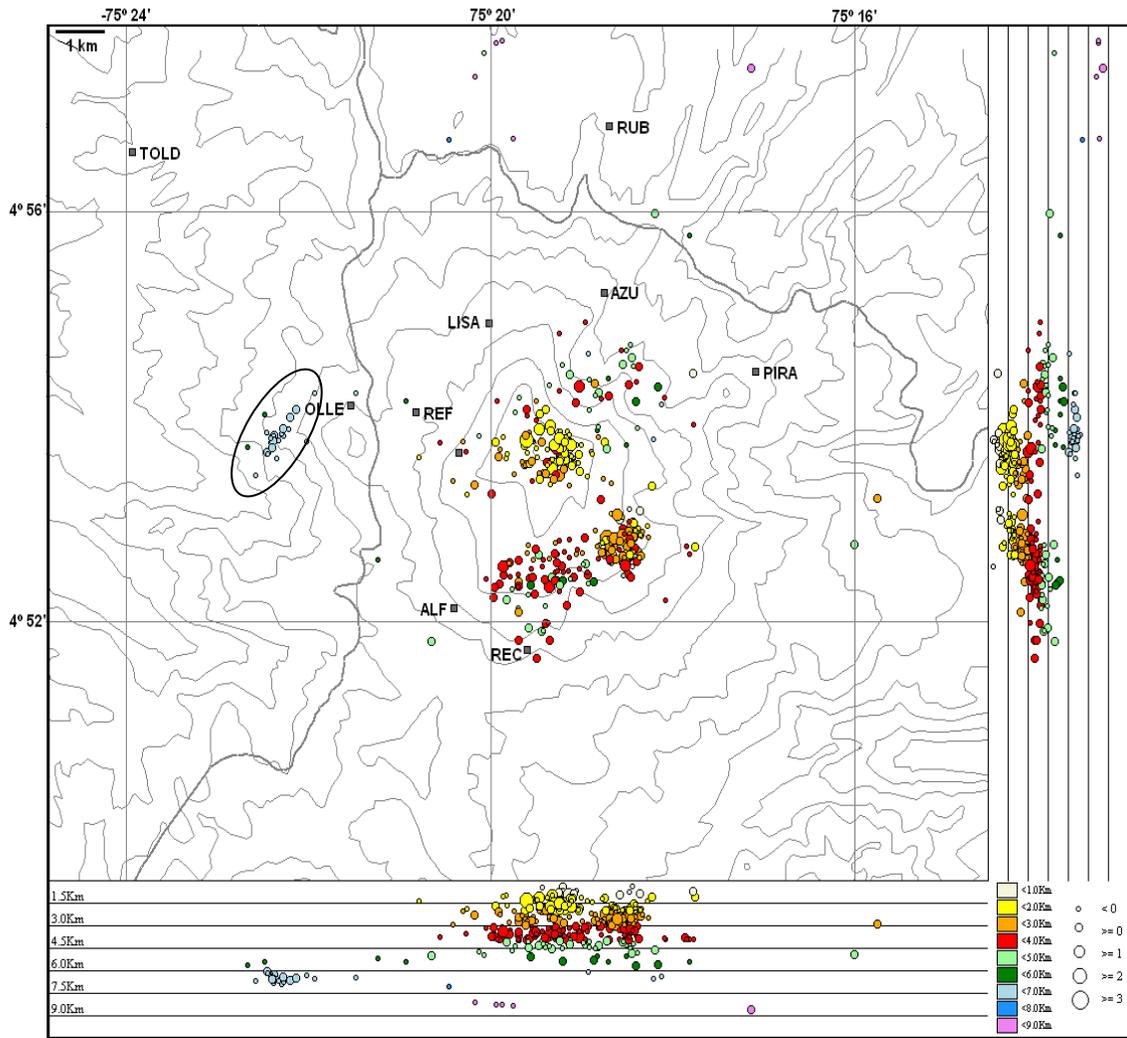


Figura 16. Mapa de localización epicentral e hipocentral sismos volcano-tectónicos VNR primer semestre de 2010. La elipse muestra la localización de el enjambre sísmico del día 15 de Abril

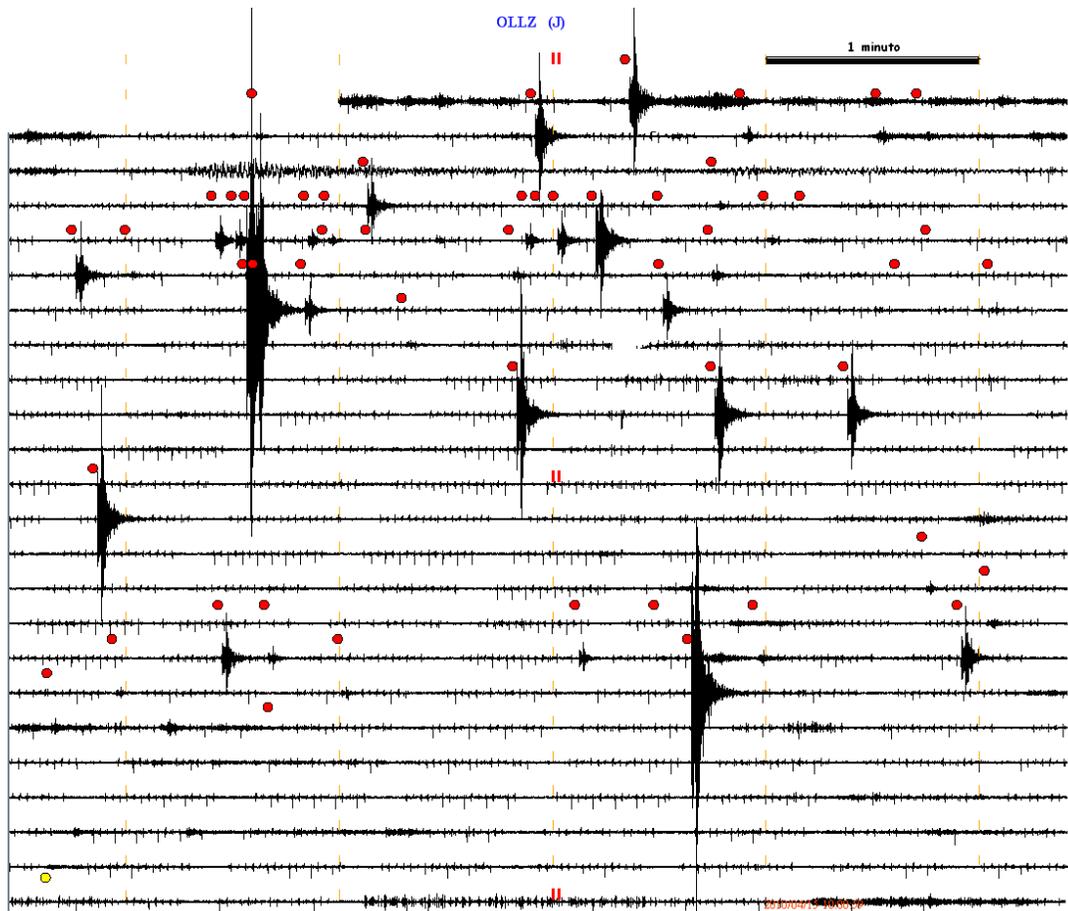


Figura 17. Sismograma digital del enjambre registrado en el Volcán Nevado del Ruiz el 15 de Abril de 2010. Registro de la estación OLLETA.

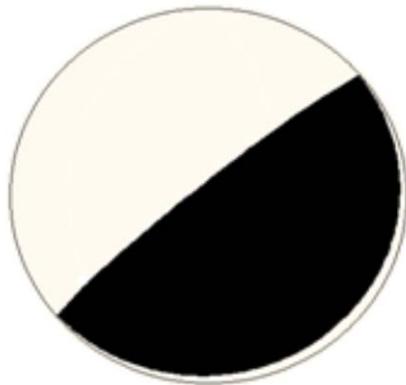


Figura 18. Mecanismo focal asociado a los sismos del enjambre de Abril 15 en el Volcán Nevado del Ruiz. AZM: acimut: 50°, DIP: Buzamiento: 5.0°, Rake: deslizamiento: 90.0°. Los parámetros de la solución son: Score=100%, Calidad=100%.

1.2.2 Sismos de largo periodo

En cuanto a la actividad relacionada con actividad de gases y fluidos al interior de los conductos volcánicos, durante el primer semestre del 2010 se registraron 1076 eventos, localizados al sur y suroccidente del cráter principal (figura 19), con una magnitud máxima registrada de 2.15 en

la escala de Richter, correspondiente a un sismo ocurrido el día 13 de Abril a las 23:57 (figura 20). El promedio los períodos de los sismos LP registrados durante el semestre fue de 0.29 s (figura 21). Las frecuencias dominantes de estos eventos fueron en su mayoría menores a 5 Hz (figura 22).

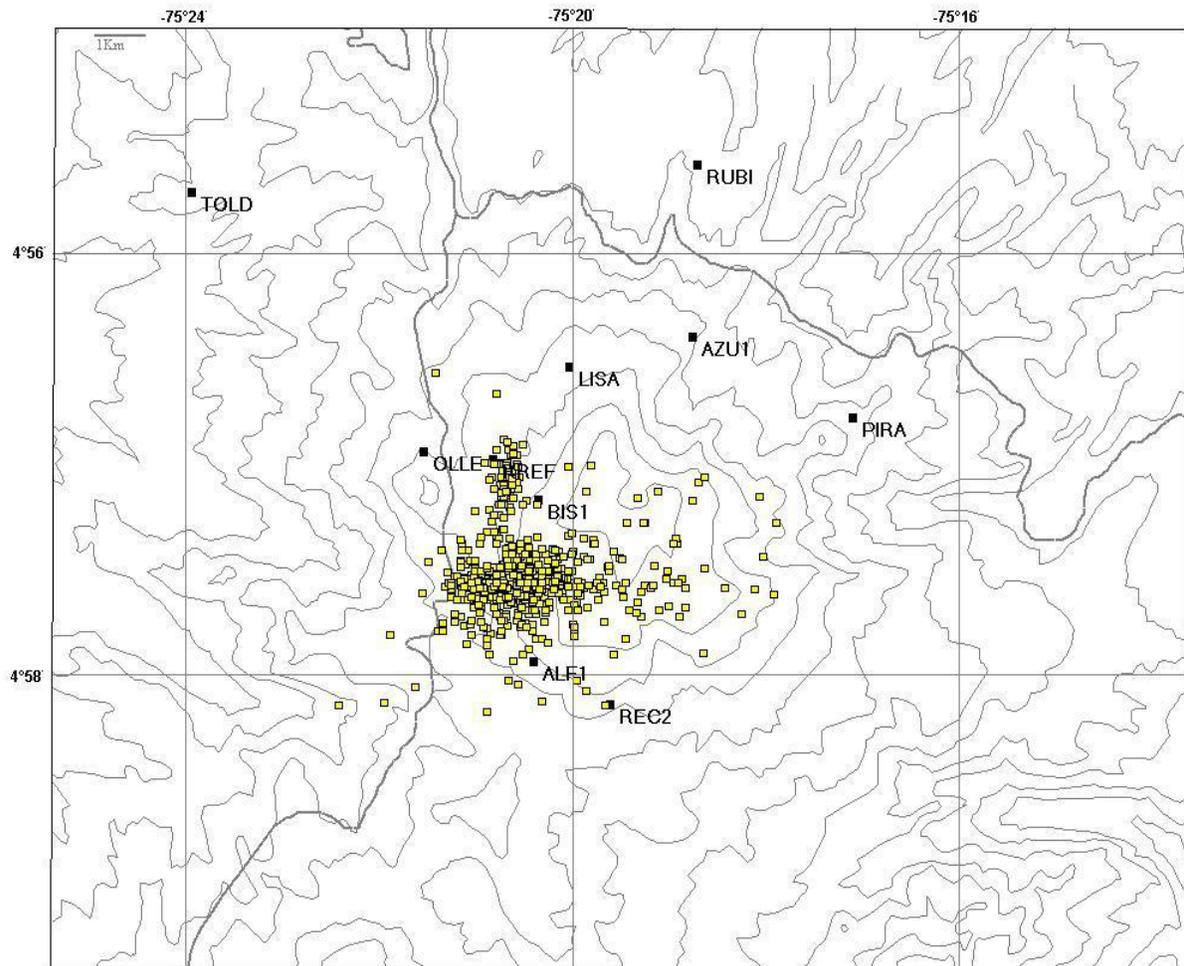


Figura 19. Localización epicentral de sismos LP, VNR primer semestre de 2010.

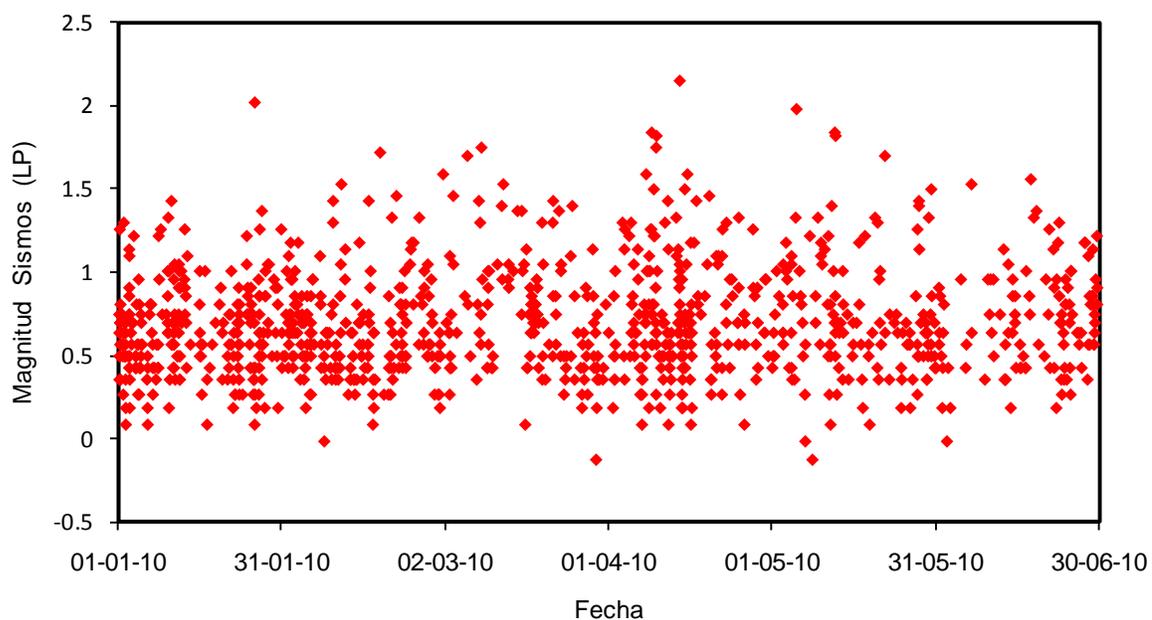


Figura 20. Magnitud sismos LP VNR, primer semestre 2010.

Al analizar el período predominante (T) de los sismos LP, se observó que éste no presentó variaciones o tendencias importantes durante el primer semestre de 2010 (figura.11), con relación al segundo semestre de 2009.

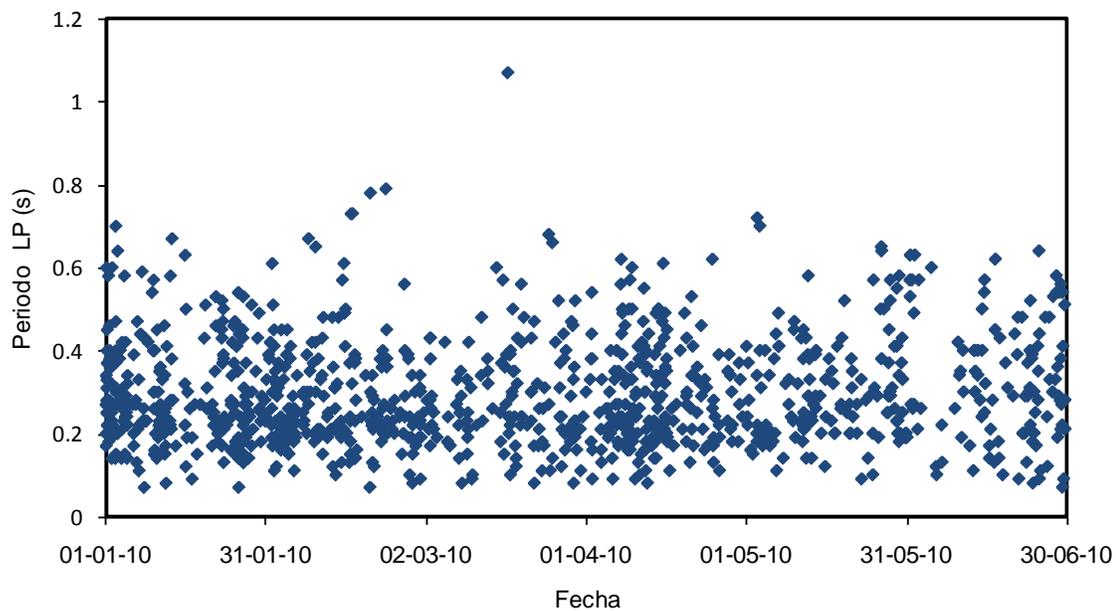


Figura 21. Período predominante de sismos LP, VNR primer semestre 2010.

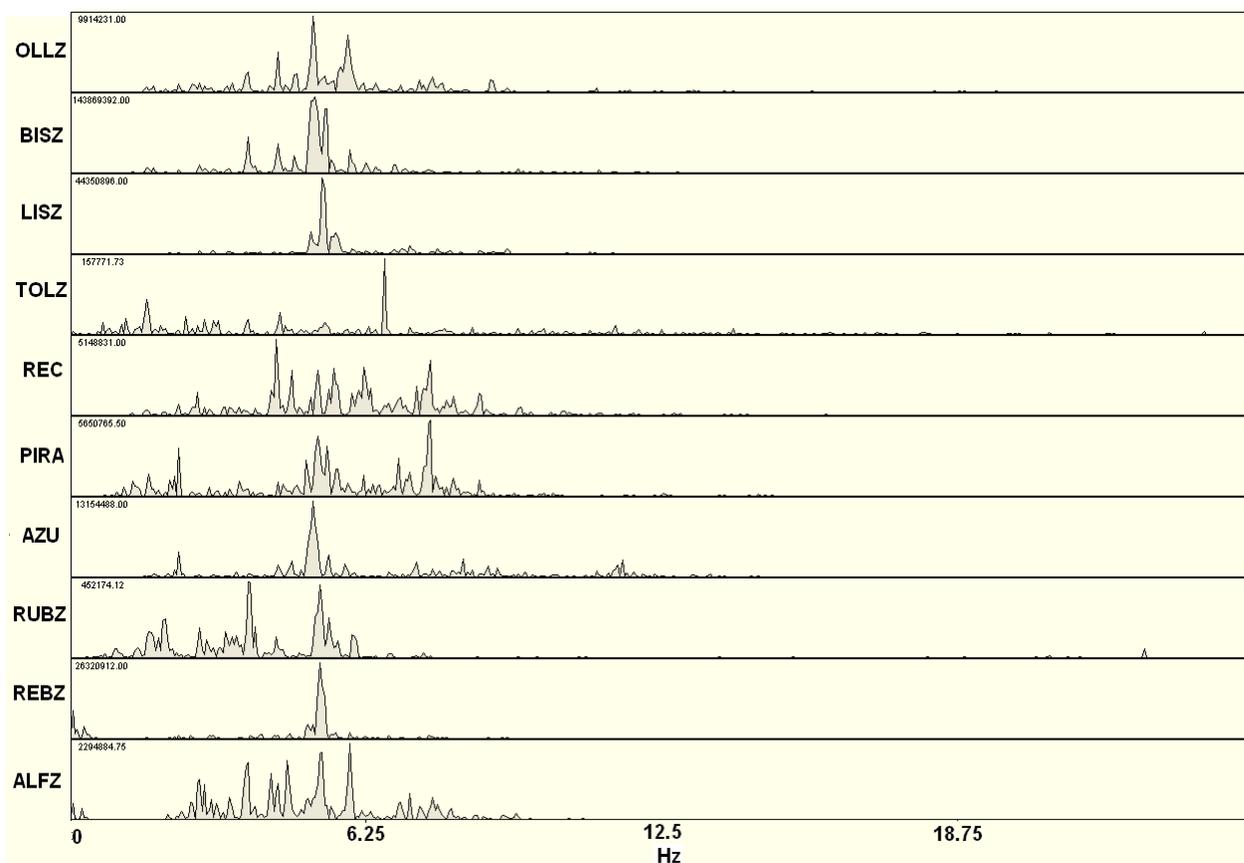


Figura 22. Espectro de sismos LP registrado el 13 de Abril de 2010 a las 23:57. Nótese la frecuencia dominante (5.09 Hz) de la fuente en todas las estaciones.

1.2.3 Señales asociadas a la actividad glacial y columna de gas

Se registraron 5721 eventos relacionados con pequeñas avalanchas de rocas y/o hielo-nieve, posiblemente generadas por el fenómeno de deshielo en la parte alta del volcán. Es notorio un decrecimiento en el número diario de estas señales a lo largo de diferentes periodos del semestre, probablemente asociado a las variaciones de las temperaturas y al régimen pluviométrico de la zona.

La columna de vapor relacionada con la actividad fumarólica en el cráter mostró de manera general un color blanco y presentó una altura máxima observada de 900 metros, con dirección noreste (figura 23).



Figura 23. Máxima columna de gases observada en el VNR el lunes 21 de Junio a las 06:35 am. Altura estimada de la columna 900m

1.3. GEOQUÍMICA

En la figura 24 se aprecia la red de geoquímica del VNR (Junio de 2010), la cual está constituida por: cuatro estaciones de gas Radón (HOTEL T, CAJONES, RIO GUALI, Y GUALI), dos estaciones de SCAN DOAS (ALFOMBRALES Y BRUMA), nueve estaciones de trampas alcalinas (FT GUALI, GUALI, REFUGIO 1, REFUGIO 2, OLLETA 1, OLLETA 2, AGUAS CALIENTES, ALFOMBRALES), y cuatro estaciones de fuentes termales (GUALI, HOTEL T, AGUAS CALIENTES, BOTERO LONDOÑO).

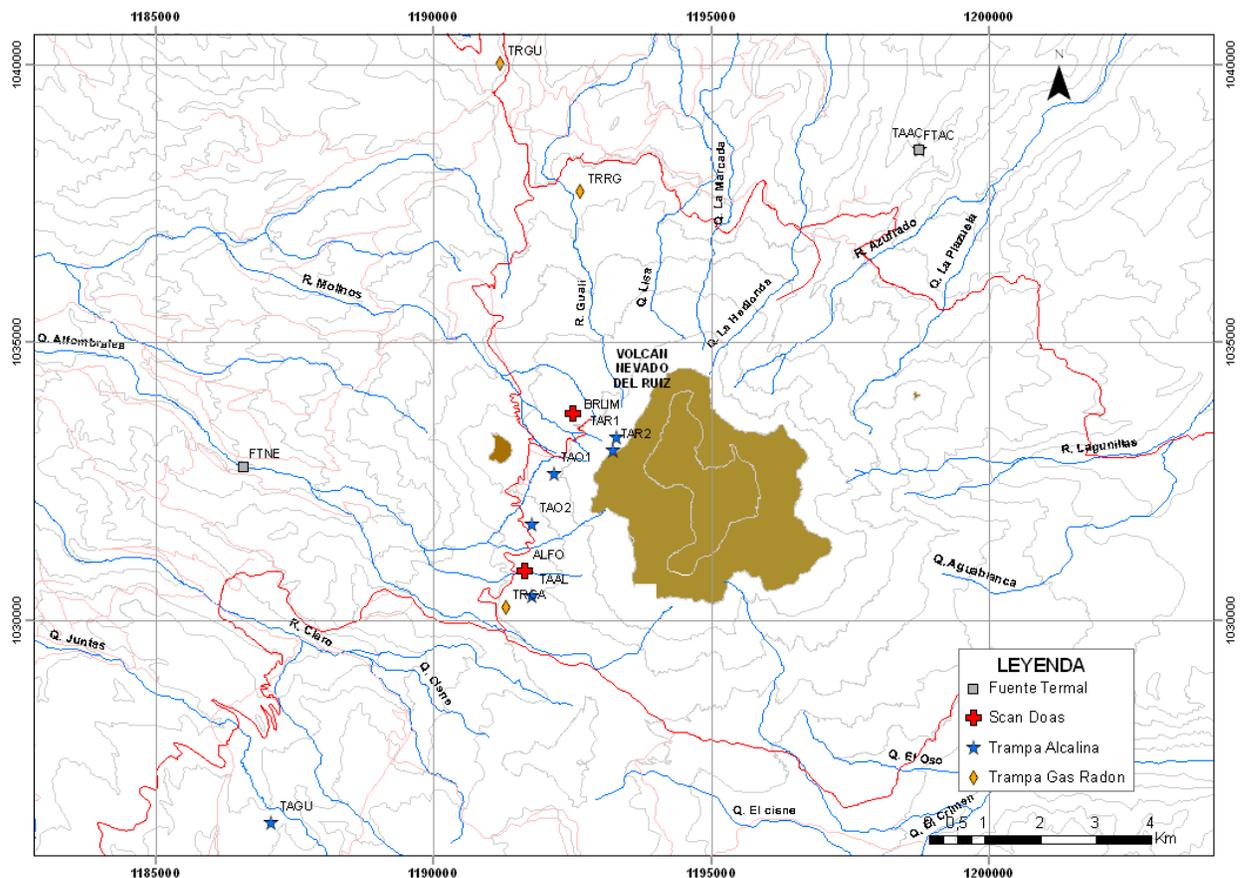


Figura 24.Red geoquímica Volcán Nevado del Ruiz

1.3.1 Emisiones de Gas Radón

En el primer semestre operaron las estaciones de Gas Radón GUALÍ, RÍO GUALÍ y CAJONES. Los resultados del monitoreo muestran que se presentaron algunas variaciones en la concentración de Radón en suelo (figura 25). Se destacan los picos anómalos registrados en la estación CAJONES, en donde su valor base promedio es de 230 pCi/L y al final del mes de Febrero y comienzos de Marzo registró valores de 5999 pCi/L y de 1559 pCi/L, respectivamente. La estación RÍO GUALÍ también presentó cambios significativos en su concentración, el día 2 de marzo registró un valor de 1100,45 pCi/L y su promedio base es de 380 pCi/L. Estas variaciones registradas en las estaciones CAJONES y RÍO GUALÍ, pueden estar relacionadas con la sismicidad volcano-tectónica ocurrida al final de Febrero (día 26) en el VNR y la cual fue localizada al sureste del volcán.

La estación GUALÍ aunque no presentó variaciones importantes durante el primer semestre, mantuvo una tendencia al ascenso en su concentración de Radón desde el mes de Abril, los valores en las medidas han sido los siguientes: 3 y 30 de Abril 822 y 1926 pCi/L respectivamente, 16 y 27 de Mayo 2203 y 2382 pCi/L y en junio las medidas para los días 10 y 22 fueron de 2418 y 2708 pCi/L, respectivamente.

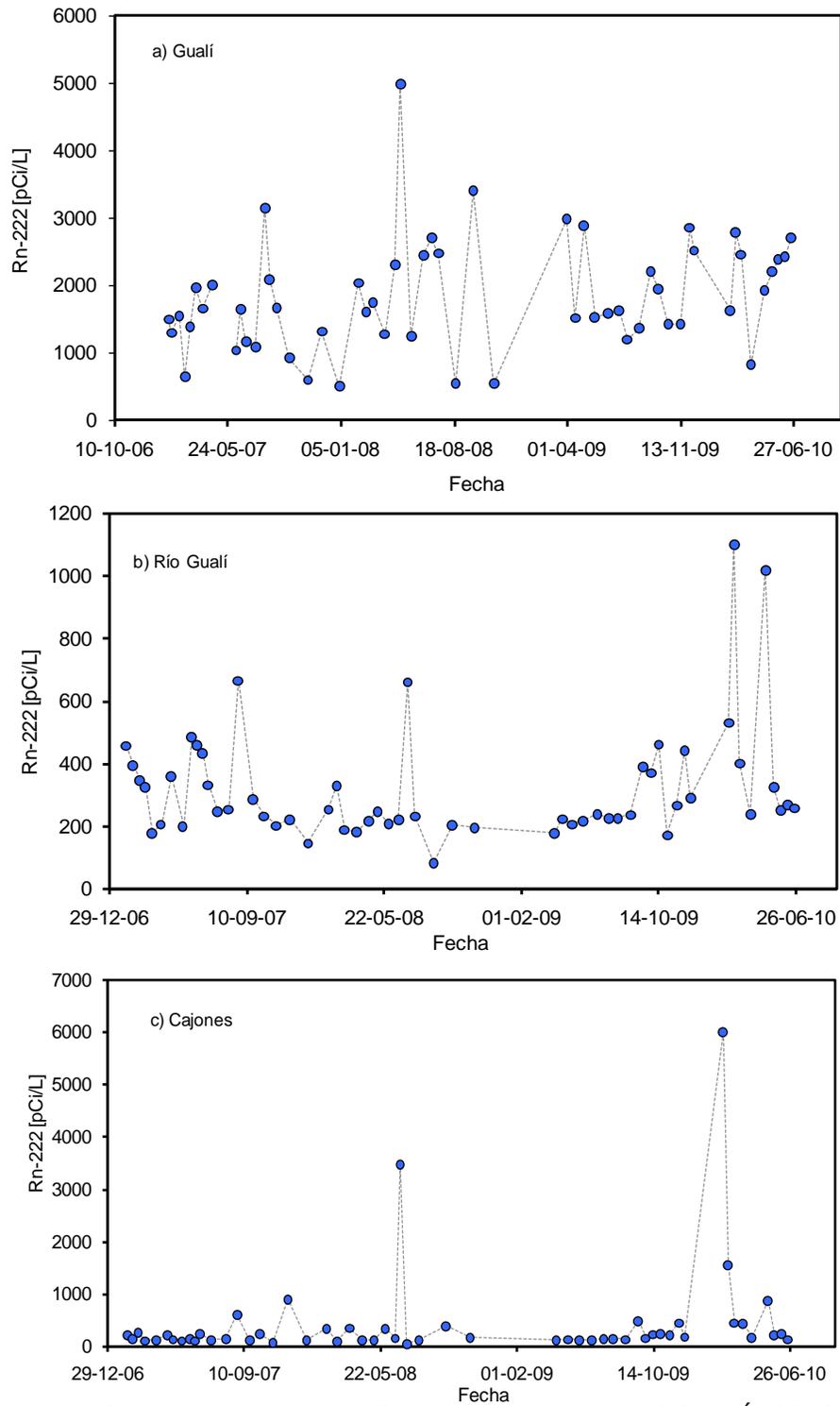


Figura 25. Variación de los niveles de Radón en suelo estaciones: a) GUALÍ, b) RIO GUALI y c) CAJONES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.

La estación HOTEL que venía funcionando desde el año 1999 en el Hotel Termales del Ruiz tuvo que ser reubicada, debido a reparaciones locativas en éste, por lo tanto para este primer semestre del año solo se tiene una medida en el mes de Febrero en su antiguo sitio. El día 12 de mayo se reinstaló la estación a unos metros del Hotel Termales y las nuevas coordenadas de ubicación son: 4°58' 11,9" N; 75°22' 39,8" W, con una altura de 3506 msnm. Los datos que se tienen para la estación HOTEL corresponden a las medidas de los meses de Mayo y Junio, los cuales pueden observarse en la (Figura 26), allí se aprecia que los valores son bastante bajos comparados con los que se tenían en su antigua ubicación. En el transcurso del año se seguirá monitoreando este punto para establecer sus valores de línea base.

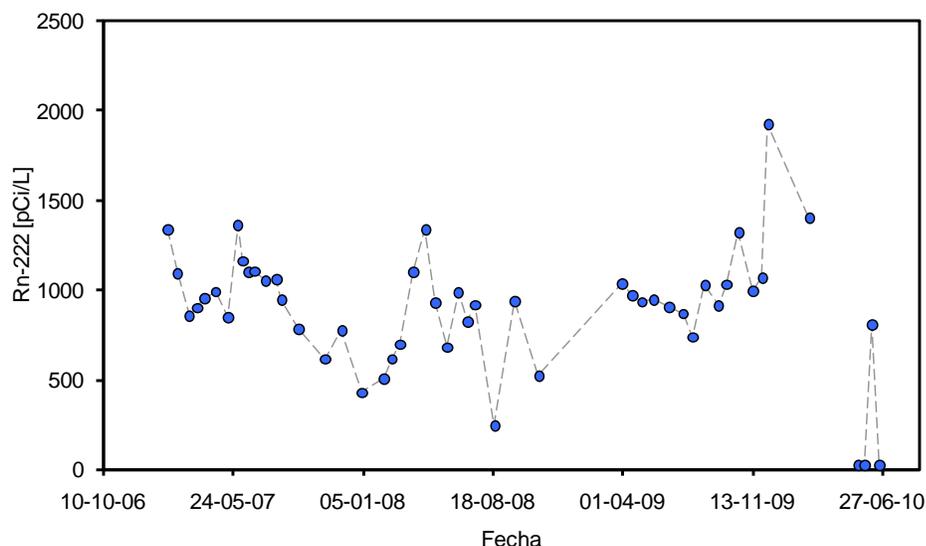


Figura 26. Variación de los niveles de Radón en suelo estación HOTEL. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010

1.3.2. Fuentes Termales (FT)

En el segundo semestre del 2010 se realizó monitoreo periódico en tres fuentes termales: HOTEL, GUALÍ y AGUAS CALIENTES. Los valores en los parámetros fisicoquímicos de las fuentes termales durante el primer semestre del año presentaron algunos cambios. En la figura 27 se aprecia el comportamiento de la temperatura con el tiempo para las tres FT. En esta figura se aprecia que las mayores variaciones las presentó la FT GUALÍ; en el mes de Febrero su temperatura bajó a 48°C, una de las más bajas desde que se inició el monitoreo, no obstante en los meses de mayo y junio su promedio fue de 52°C, valor que sigue estando por debajo de su valor base para este parámetro, el cual es aproximadamente de 57°C. Las FT HOTEL y AGUAS CALIENTES no mostraron cambios en su temperatura.

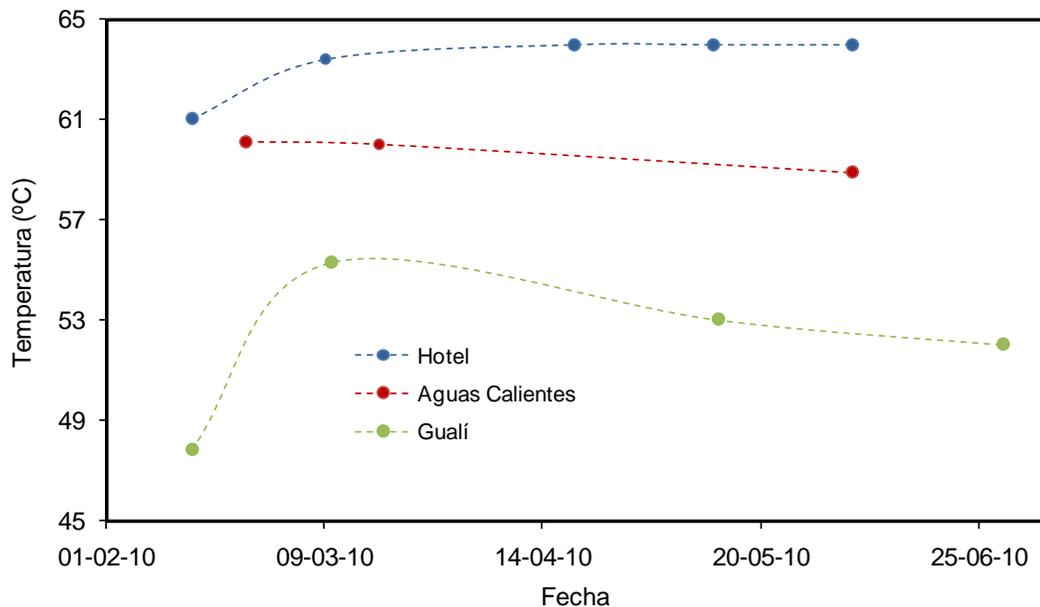


Figura 27. Variación de la Temperatura en Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.

En lo referente al pH, no se aprecian variaciones importantes en las fuentes termales GUALÍ y AGUAS CALIENTES en donde sus valores promedio fueron de 2,7, y 1,0 respectivamente. En la fuente termal HOTEL a pesar que su contenido de iones H^+ se ha ido incrementando en los últimos meses (durante las medidas de Febrero y Marzo su promedio fue de 1,54 y en Mayo y Junio fue de 1,73) los valores registrados se encuentran dentro de su línea base, el incremento en el pH puede estar asociado a posibles mezclas con agua meteórica y/o procesos de interacción agua-roca, los cuales predominan en estos ambientes ácidos (figura 28).

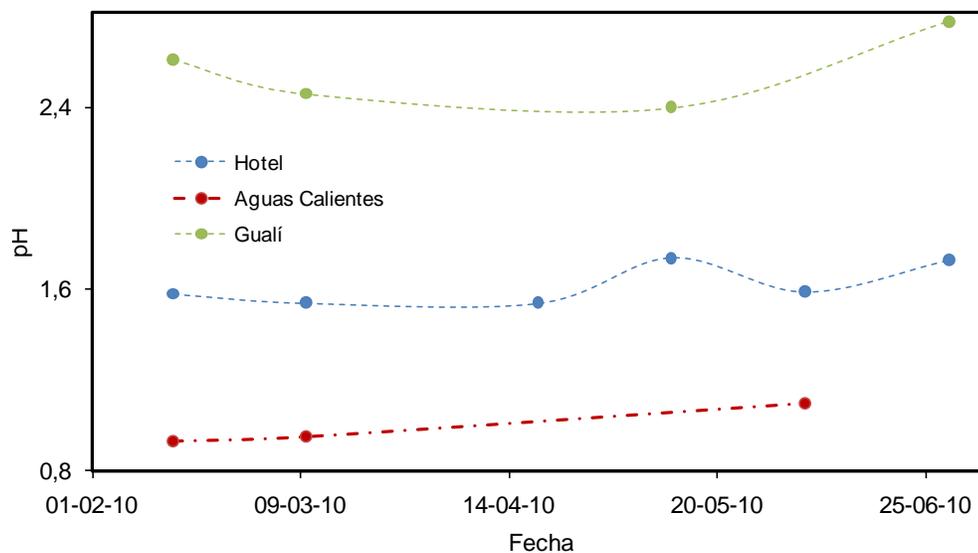


Figura 28. Variación del pH en Fuentes Termales: HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.

La conductividad eléctrica de las fuentes termales monitoreadas ha venido presentando variaciones importantes desde el 2009, aunque sus valores han permanecido estables en el 2010. La FT GUALÍ ha registrado pequeños incrementos en su conductividad desde el 2009, y el promedio en ese año fue de 2.33 mS/cm. En el primer semestre del 2010 fue de 3.22 mS/cm, presentándose el valor más bajo el día 10 de marzo con 2.28 mS/cm (figura 29).

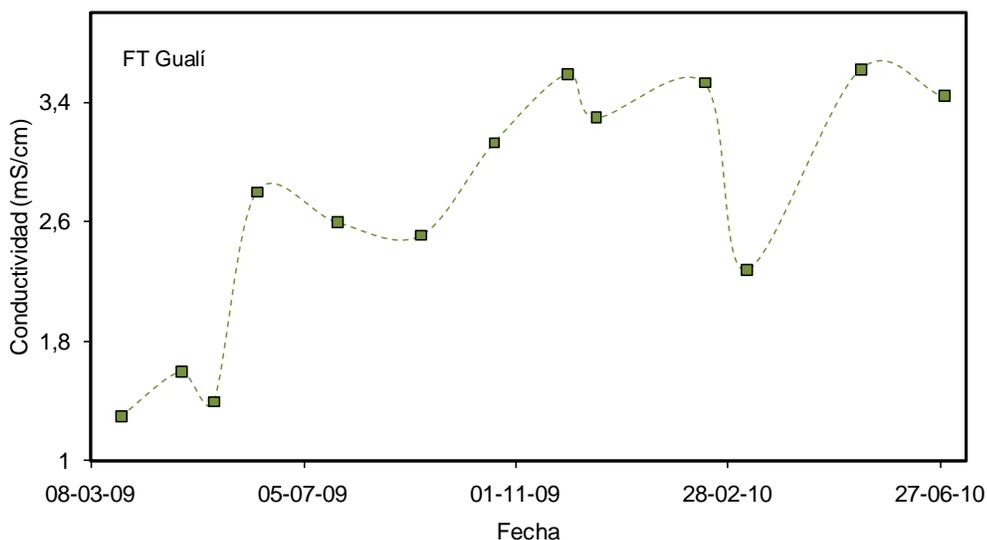


Figura 29. Variación de la conductividad eléctrica en la fuente termal GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010

En la figura 30 se presenta el comportamiento de la conductividad eléctrica en la fuente termal AGUAS CALIENTES. Se puede observar que desde el primer semestre del 2009 se han venido registrando incrementos en sus valores, siendo su promedio de 9.1 mS/cm. En el mes de Julio del 2009 la conductividad subió a 32.3 mS/cm, valor que se ha mantenido durante el primer semestre del 2010, estos cambios podrían estar asociados a mayor disolución de las rocas circundantes al nacimiento, lo cual ocurre comúnmente en estos ambientes con pH muy bajos.

La conductividad de la FT HOTEL ha tenido un comportamiento similar al de AGUAS CALIENTES, en el primer semestre del 2009 se presentaron medidas bajas y luego en el segundo semestre del 2009 y primer semestre del 2010, sus valores han estado por encima de 17 mS/cm (figura 31).

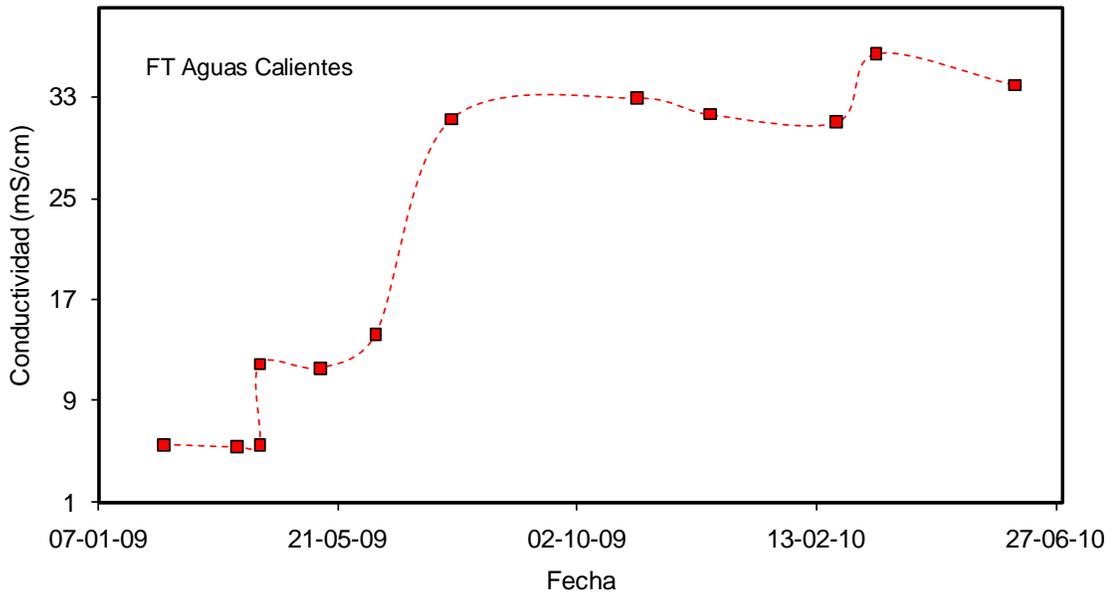


Figura 30. Variación de la conductividad eléctrica en la fuente termal AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010

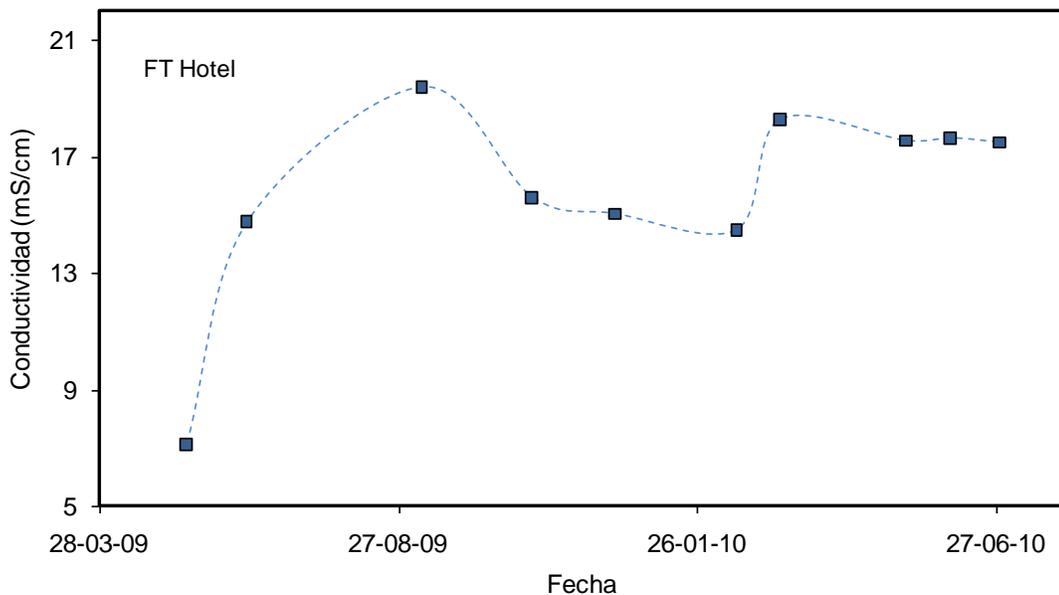


Figura 31. Variación de la conductividad eléctrica en la fuente termal HOTEL. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010

Respecto al contenido de aniones mayoritarios (figuras 32 y 33) se presentaron pequeñas variaciones en la concentración de Cloruros y Sulfatos. HOTEL registró en promedio una concentración de 1240 ppm de iones Cl en el primer semestre. La FT GUALÍ presentó en promedio los primeros meses del año. 120 ppm de Cl y en la medida de Junio su concentración alcanzó las 194 ppm. La concentración de Cl para AGUAS CALIENTES estuvo en promedio en 1900 ppm. En lo referente a la concentración de Sulfatos, la FT HOTEL en el mes de Marzo

presentó un pico de 7846 ppm y su promedio en el semestre fue de 5300 ppm. GUALÍ y AGUAS CALIENTES presentaron fluctuaciones durante el primer semestre, destacándose en el mes de Junio para AGUAS CALIENTES una medida de 12108 ppm y para GUALÍ de 2500 ppm en Mayo.

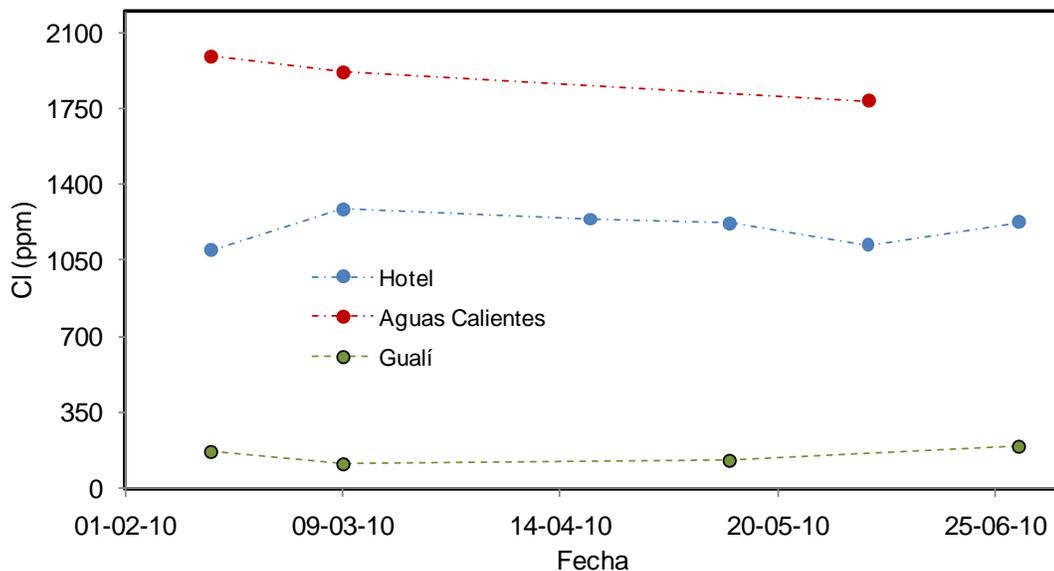


Figura 32. Variación de la concentración de Cloruros en las fuentes termales HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010

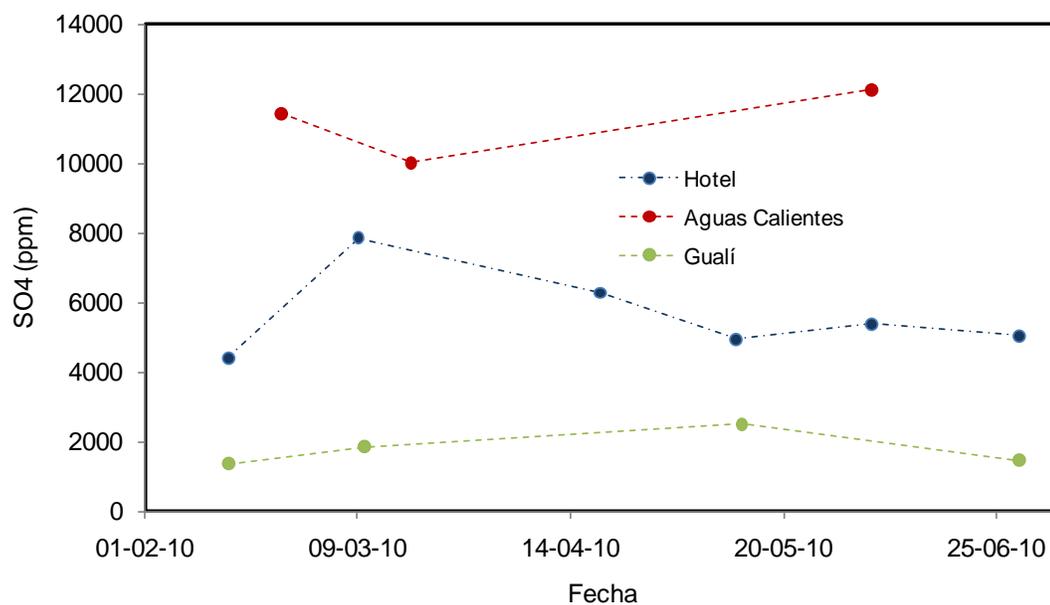


Figura 33. Variación de la concentración de Sulfatos en las fuentes termales HOTEL, AGUAS CALIENTES y GUALÍ. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010

Otro parámetro medido en las fuentes termales del VNR fueron los isótopos pesados del Hidrógeno (Deuterio, δD) y el Oxígeno ($\delta^{18}O$). Estos son importantes ya que cada vez que el agua cambia de estado de condensación o evaporación ocurre un fraccionamiento isotópico, porque éstos isótopos ($\delta^{18}O$ y δD) tienen menor presión de vapor. Este fraccionamiento es también particularmente sensible a la temperatura en el momento de la condensación; a menor temperatura, menor concentración de isótopos pesados en la precipitación y viceversa.

De acuerdo con los datos de isótopos estables $\delta^{18}O$ y δD , las muestras de aguas de las FT en el VNR se encuentran muy cercanas a la línea de agua meteórica formulada por Craig en 1961 y la cual se establece de acuerdo a la siguiente relación:

$$\delta D = \delta^{18}O * 8 + 10$$

y se representa de acuerdo a la figura 34 en la cual se aprecia la línea de agua meteórica (MWL) y las líneas correspondientes a los procesos de evaporación. Al igual que la línea de ocurrencia de mezclas.

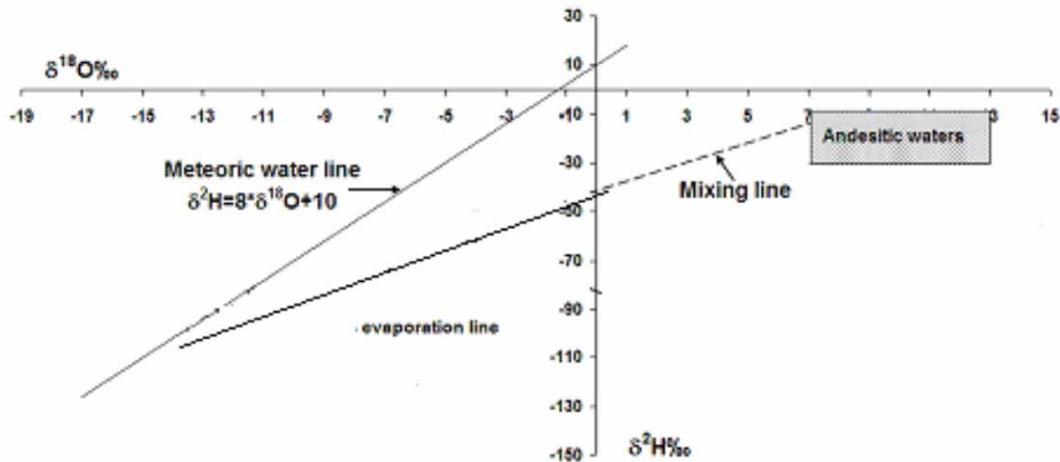


Figura 34. $\delta^{18}O$ Vs δD en Agua (Craig, 1961)

En la figura 35 se aprecia el comportamiento de los isótopos estables para las muestras de las FT. Allí se observa que todas las muestras de las aguas se sitúan muy cercanas a la línea de aguas meteóricas, lo que sugiere que la composición de las aguas está controlada en gran parte por la recarga meteórica. Igualmente, se aprecia la influencia de posibles procesos de evaporación y/o condensación.

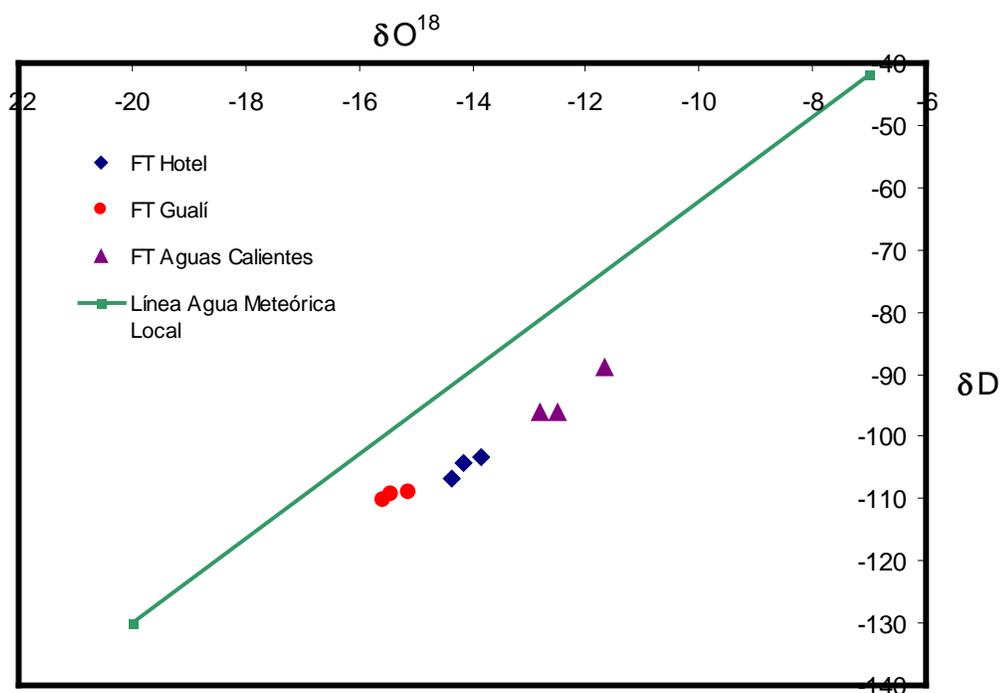


Figura 35. Variación de Isótopos estables $\delta^{18}\text{O}$ Vs δD en Fuentes Termales: HOTEL, GUALI y AGUAS CALIENTES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.

El desvío de los valores hacia la derecha de la línea de agua meteórica es debido a la posible interacción con rocas circundantes. Los intercambios isotópicos solo tienen lugar entre los átomos de O_2 ya que como la cantidad de H_2 en la mayoría de los minerales es pequeña, la mayor parte del H_2 en una roca saturada en agua está en el agua. En cambio, pueden producirse cambios importantes en $\delta^{18}\text{O}$ ya que más de la mitad del oxígeno en un sistema típico agua- roca está en la roca.

En las FT se observa que los valores se mantienen paralelos al eje de las abscisas, a la derecha de la recta del agua meteórica. Se puede concluir así, que las aguas termales son recargadas por aguas meteóricas debido a cambio de isótopos de Oxígeno con las rocas encajantes, que siempre tienen valores positivos de $\delta^{18}\text{O}$.

1.3.3 Gases en trampas alcalinas

Durante el primer semestre de 2010 se realizaron mediciones en 6 estaciones de gases en el VNR. De acuerdo a los resultados de los análisis de gases ácidos el contenido de CO_2 se ha mantenido en todas las estaciones entre el 85 y 99%, aunque se han presentado algunas descensos en dos estaciones. GUALÍ registró un valor del 76.7% en el mes de Marzo y la estación OLLETA-1 registró 61.67%. El contenido de HCl sigue siendo muy bajo, a pesar de que se ha podido medir en todas las estaciones. En cuanto al contenido molar de la especie SO_2 durante las medidas realizadas se han presentado pequeñas variaciones. El promedio para todas las estaciones está entre el 13 y 22%, aunque en el mes de Mayo se aprecian descensos en su concentración. También se destaca que en la estación OLLETA-1 se cuantificó un

porcentaje cercano al 50% en el mes de Junio. En la figura 36 se puede observar el comportamiento de la concentración de los gases ácidos en las estaciones del VNR.

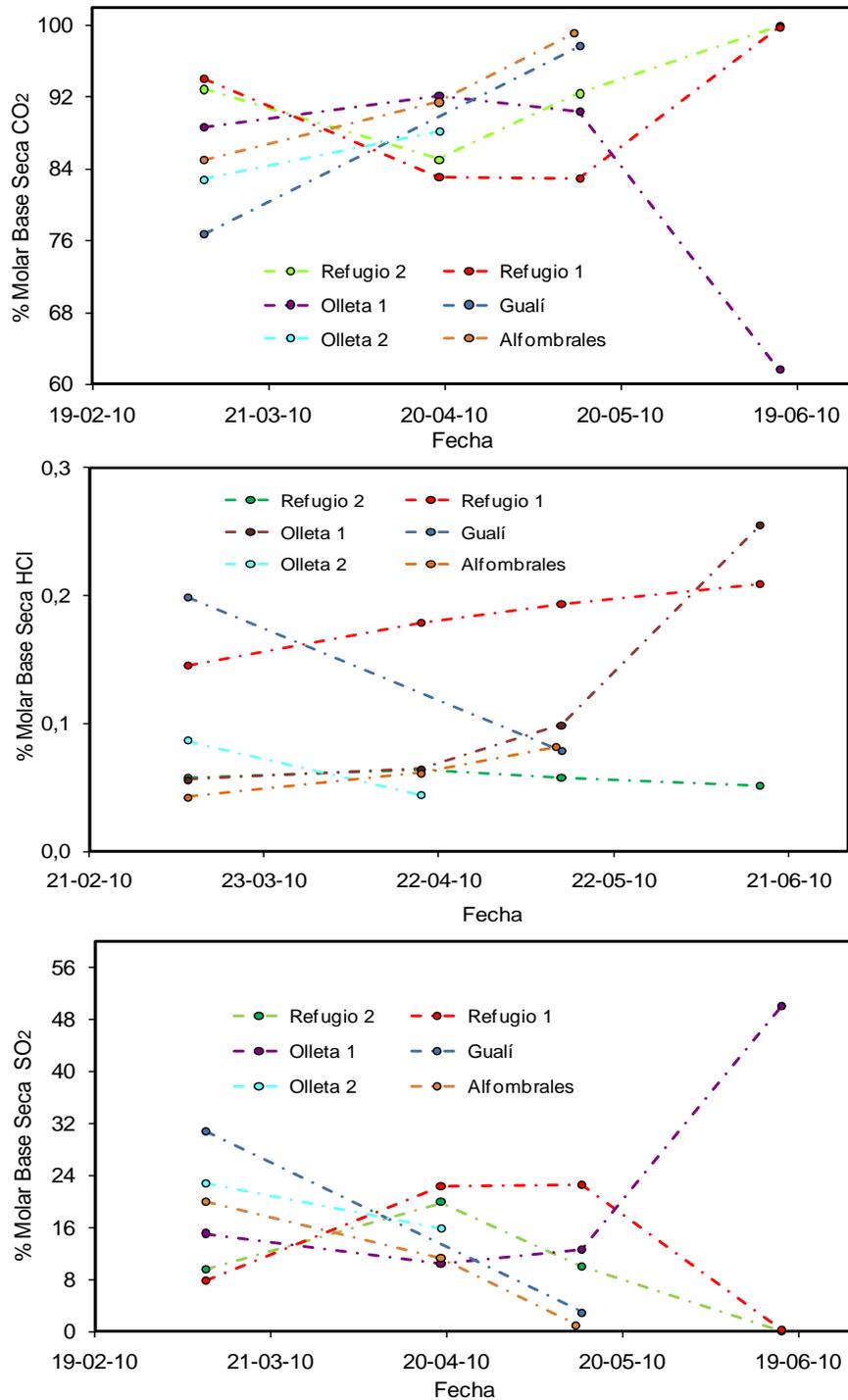


Figura 36. Variación en el contenido de Gases: CO₂, HCl y SO₂ en Trampas Alcalinas: REFUGIO1, REFUGIO2, OLLETA 1, OLLETA 2, GUALÍ y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.

1.3.4 Estaciones SCAN DOAS

Durante el primer semestre del 2010 las estaciones ScanDOAS ALFOMBRALES y BRUMA (figura 37) que se tienen en el VNR tuvieron un funcionamiento normal. No se presentaron inconvenientes en los registros de los escaneos diarios aunque en algunos días no se registraron emisiones de SO_2 . Dadas las condiciones climáticas en el volcán, cuando hay mucha nubosidad se impide la llegada de luz UV al telescopio, lo cual interrumpe la transferencia de luz al espectrómetro y por lo tanto no es posible cuantificar la cantidad de dióxido de azufre emitida.

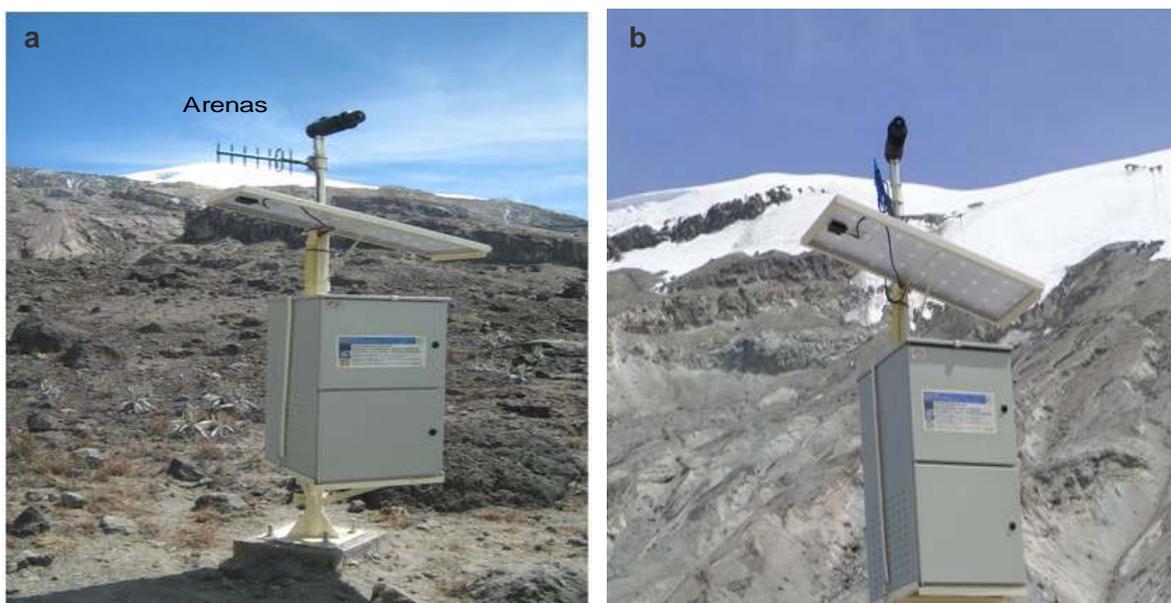


Figura 37. Estaciones SCAN DOAS: a) ALFOMBRALES, b) BRUMA.
Volcán Nevado del Ruiz

Las estaciones en general registraron un buen número de escaneos (figura 38). BRUMA obtuvo en promedio 94 y 114 escaneos durante los meses de Enero y Febrero, respectivamente y en los meses de Marzo a Junio un promedio de 120 escaneos diarios. La estación ALFOMBRALES logró registrar menor número de escaneos y su promedio durante este primer semestre fue de 100 escaneos al día.

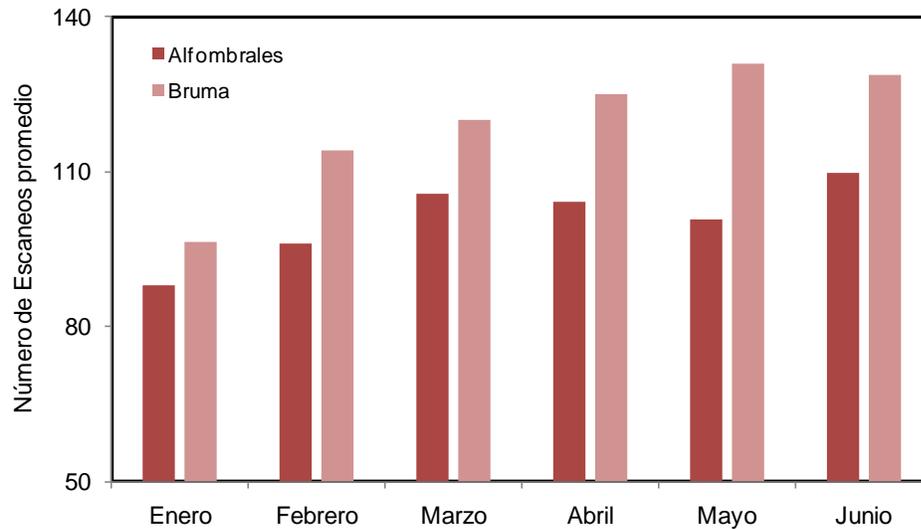


Figura 38. Número de Escaneos promedio en estaciones ScanDOAS BRUMA y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.

Los valores máximos registrados de SO₂ en cada una de las estaciones se presenta en la (Figura 39). Esta figura muestra que la estación BRUMA, que está más cercana al cráter Arenas, es la que mayor flujo de de SO₂ cuantifica. Los máximos valores registrados durante el primer semestre se presentaron los días 26 de Abril con 1419 Ton/día y el 6 de Marzo con 1110 Ton/día. Para la estación ALFOMBRALES se registró un máximo de 748 Ton/día el día 17 de Mayo.

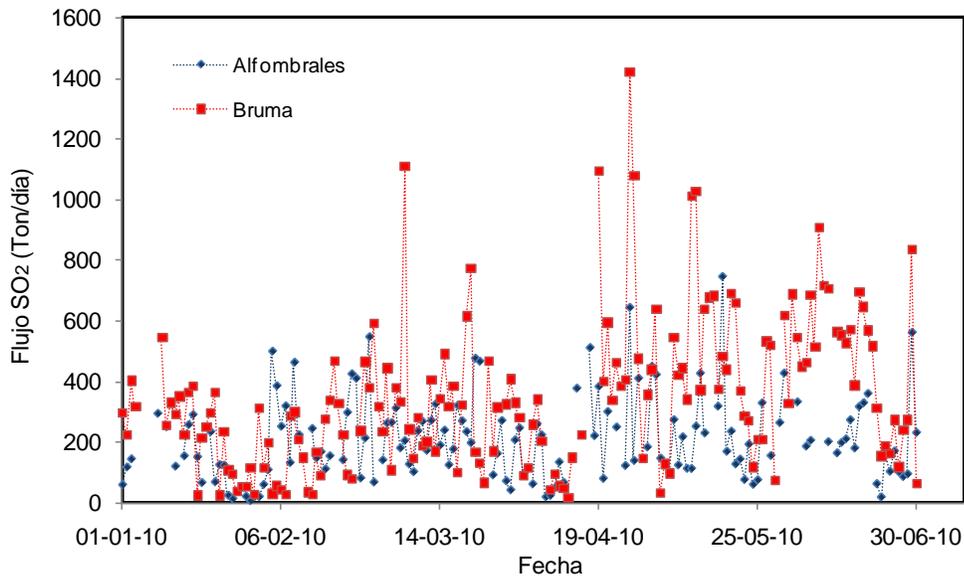


Figura 39. Emisión de SO₂ estaciones ScanDOAS BRUMA Y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.

En la figura 40 se observan los valores promedio de emisión de SO₂ registrados durante el primer semestre del 2010. En los primeros meses del año se registró en promedio 200 Ton/día en la estación BRUMA y en los meses de Mayo y Junio subió a 443 Ton/día y 469 Ton/día

respectivamente. La estación ALFOMBRALES registró un promedio de 200 Ton/día durante el primer semestre del año.

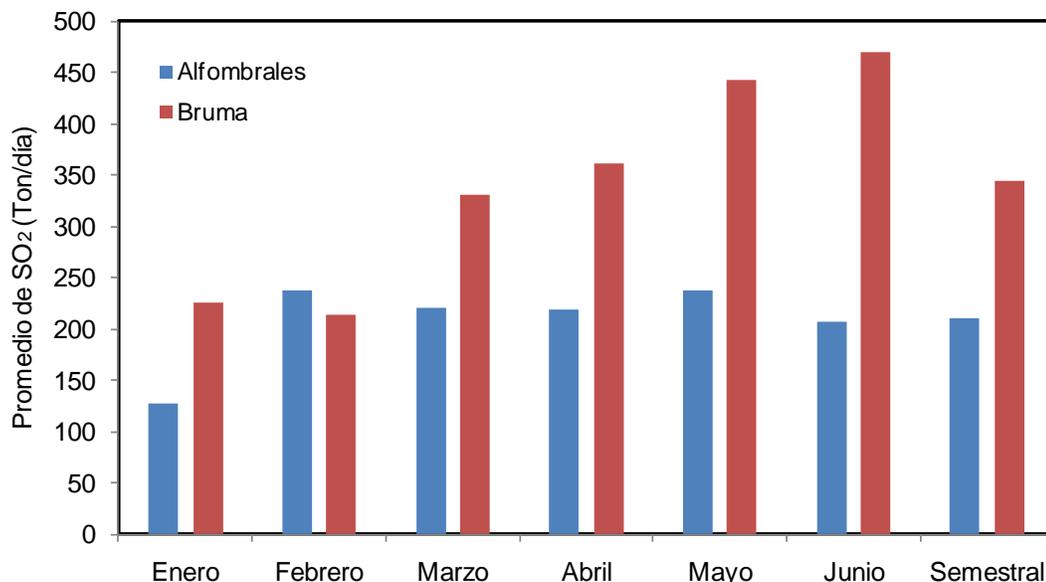


Figura 40. Promedio de SO₂ en estaciones ScanDOAS BRUMA y ALFOMBRALES. Volcán Nevado del Ruiz. Primer Semestre de 2010.

1.4 DEFORMACIÓN

En la figura 41 se aprecia la red de deformación del VNR (Junio de 2010), la cual está constituida por 5 inclinómetros electrónicos telemétricos (AZUFRADO, BIS, LISA, RECIO y REFUGIO), 5 inclinómetros secos (BIS, NEREIDAS, PIRAÑA, REFUGIO y TUMBAS) y 5 vectores de nivelación (BIS, NEREIDAS, PEÑAS BLANCAS, PIRAÑA y TUMBAS). En la figura 42 se aprecia la red EDM del VNR (Junio de 2010), la cual está constituida por 2 arreglos EDM (Base EDM REFUGIO y sus reflectores REFUGIO-1, REFUGIO-2, REFUGIO-3, REFUGIO-4, REFUGIO-5, REFUGIO-6 y OLLETA-1; y base EDM OLLETA y sus reflectores EDM OLLETA-2, OLLETA-3, NEREIDAS, TUMBAS-1, TUMBAS-2 y TUMBAS-3).

Durante el I semestre de 2010 se contó con el funcionamiento permanente de los 5 inclinómetros electrónicos instalados en el VNR. Algunas estaciones presentaron pequeños problemas electrónicos, los cuales fueron reparados oportunamente por el equipo de electrónica del OVSM.

En cuanto a las ocupaciones de campo, se realizó una medición de control topográfico en los inclinómetros secos: BIS, NEREIDAS, REFUGIO y TUMBAS, así como en los vectores de nivelación: BIS, NEREIDAS, PEÑAS BLANCAS y TUMBAS. Adicionalmente se realizaron 6 mediciones de las líneas EDM observadas a partir de la bases REFUGIO y OLLETA.

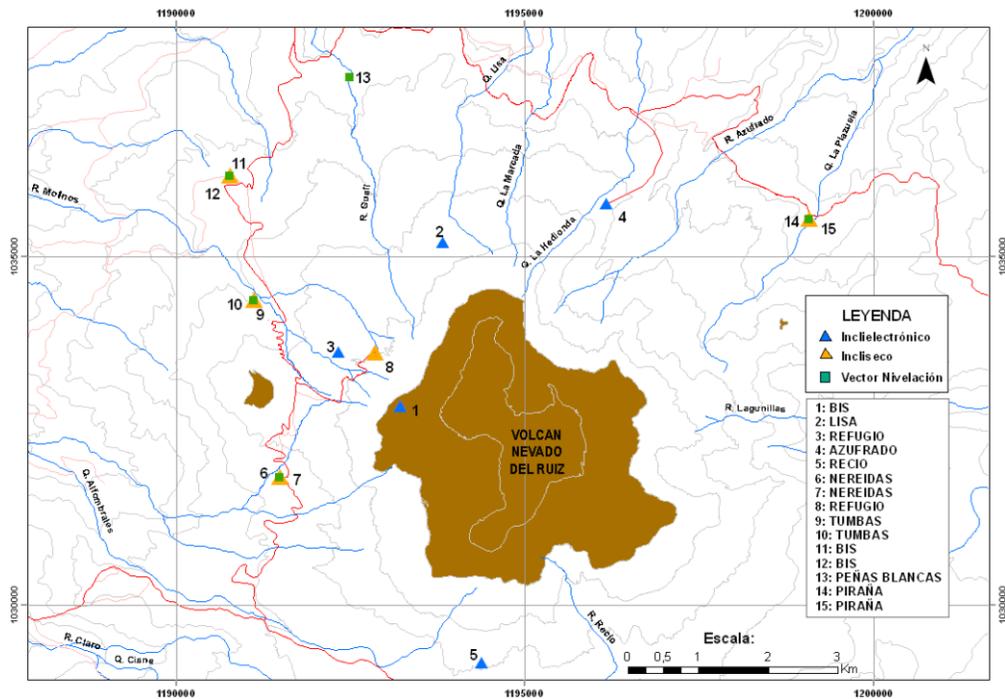


Figura 41. Red de deformación del VNR (Junio de 2010), mostrando la distribución de inclinómetros electrónicos (triángulos azules), inclinómetros secos (triángulos naranja) y vectores de nivelación (cuadros verdes)

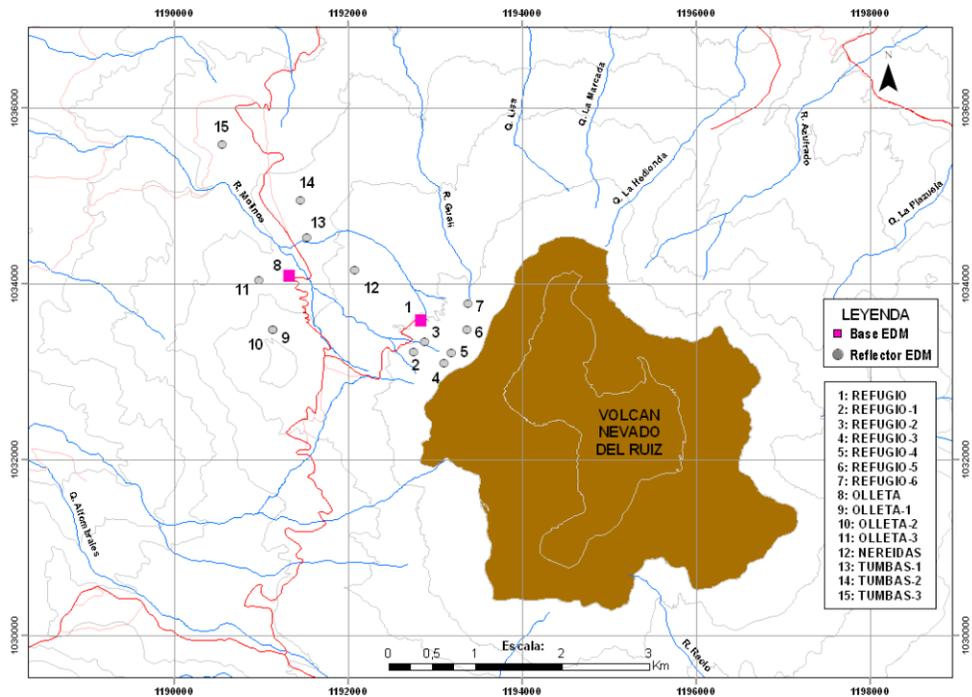


Figura 42. Red EDM del VNR (Junio de 2010), mostrando la distribución de las bases EDM (cuadros magenta) y reflectores EDM (círculos grises).

1.4.1 Comportamiento inclinómetros secos

1.4.1.1 Inclinómetro Seco BIS

El inclinómetro seco BIS continúa mostrando un comportamiento inflacionario en sus dos componentes, registrando desde 1988, un acumulado de 97 μrad para la componente Norte y 45 μrad para la componente Este (figura 43).

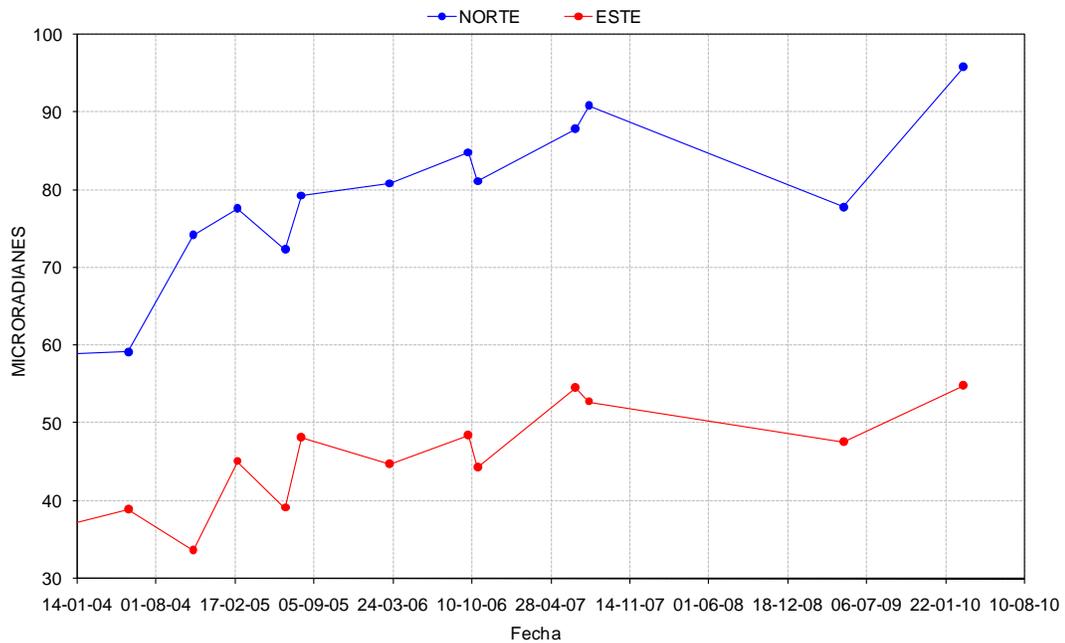


Figura 43. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco BIS desde Enero del 2004 hasta Junio de 2010.

1.4.1.2 Inclinómetro seco NEREIDAS

El comportamiento del inclinómetro seco NEREIDAS durante el I semestre de 2010 mostró una tendencia muy estable, que viene manifestándose desde 1991 (figura 44).

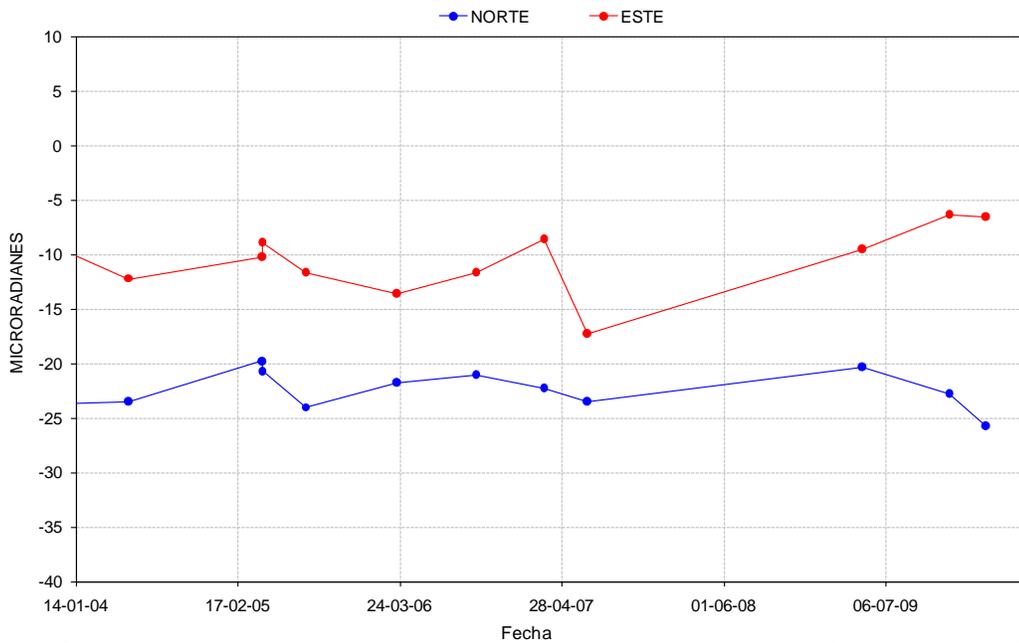


Figura 44. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco NEREIDAS desde 2004 hasta Junio de 2010.

1.4.1.3 Inclinómetro seco REFUGIO

El comportamiento del inclinómetro seco REFUGIO durante el I semestre de 2010 mostró una tendencia muy estable, que viene manifestándose desde 1992 (figura 45).

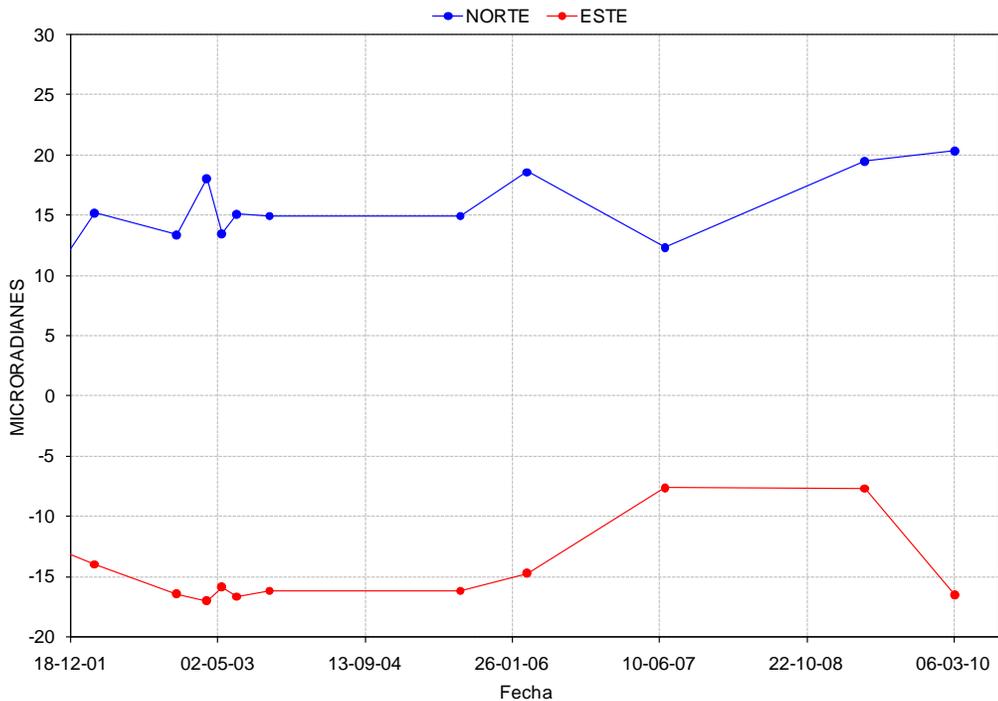


Figura 45. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Refugio desde 2001 hasta Junio de 2010.

1.4.1.4 Inclinómetro seco TUMBAS

El comportamiento del inclinómetro seco TUMBAS durante el I semestre de 2010 continuó mostrando fluctuaciones, sin embargo mantiene una tendencia estable que viene manifestándose desde 1994 (figura 46).

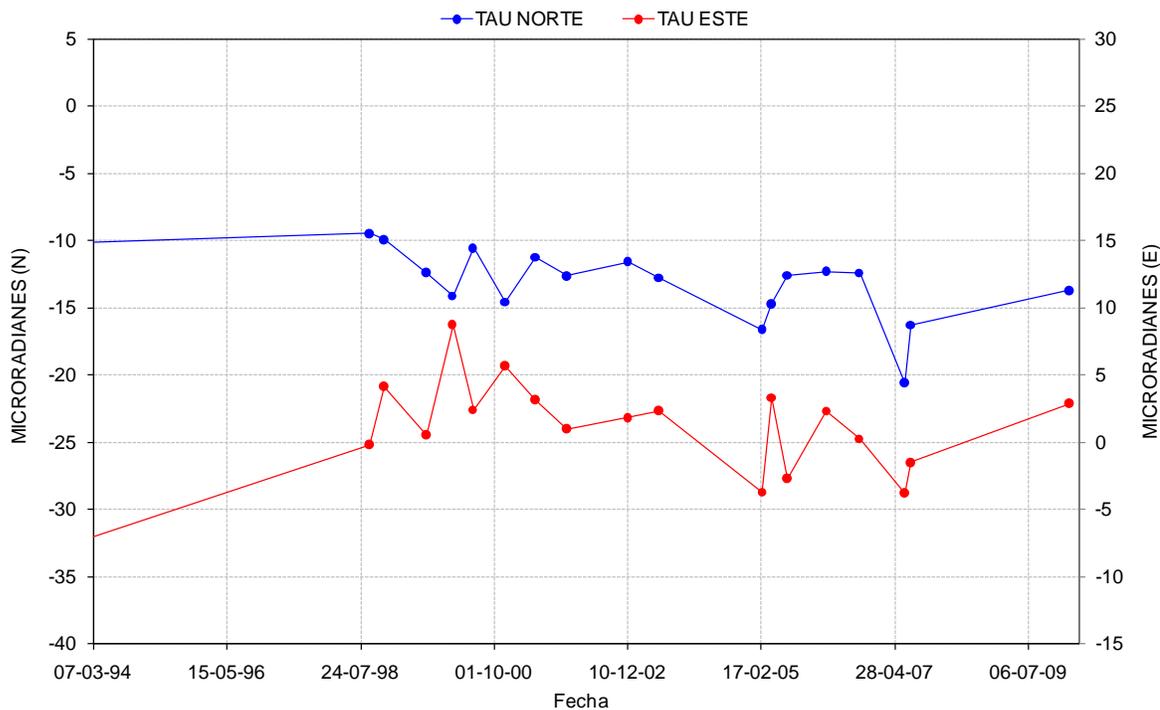


Figura 46. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco TUMBAS desde 2001 hasta Junio de 2010.

1.4.3 Comportamiento vectores de nivelación

1.4.2.1 Vector de nivelación BIS

El comportamiento del vector de nivelación BIS continúa mostrando pequeñas variaciones verticales menores de 1mm, por lo cual su comportamiento se mantiene estable (figura 47).

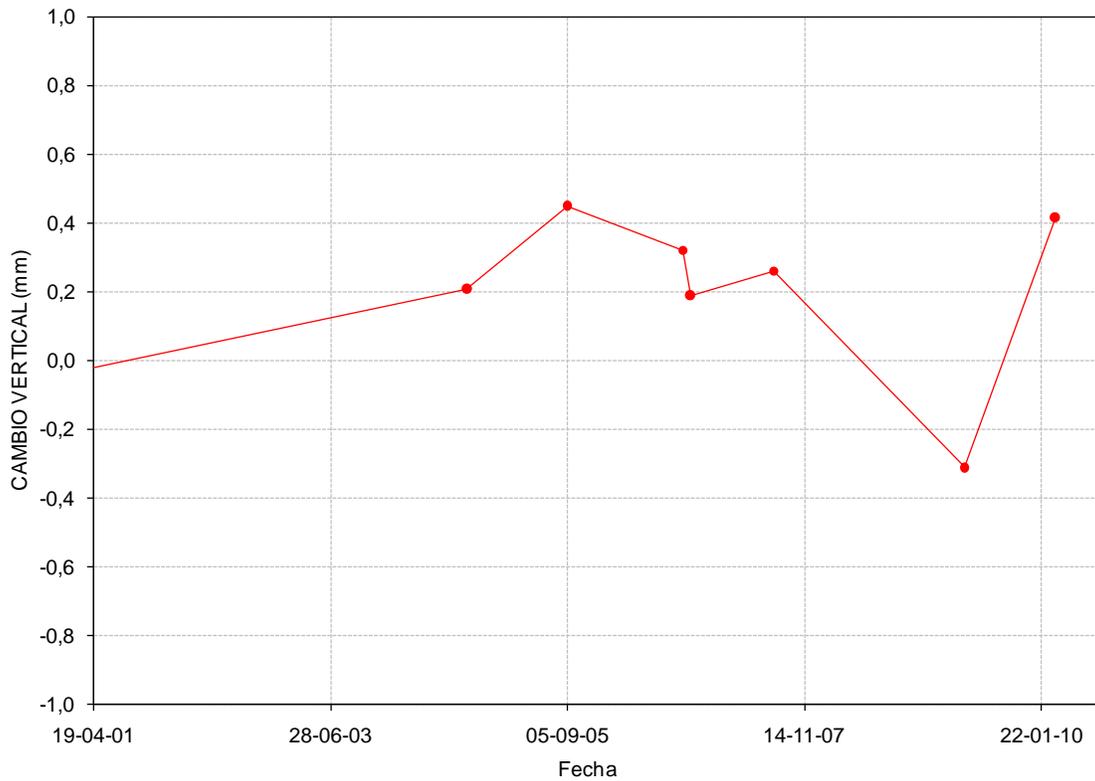


Figura 47. Comportamiento acumulado del vector de nivelación BIS desde 2001 hasta Junio de 2010.

1.4.2.2 Vector de nivelación NEREIDAS

El comportamiento del vector de nivelación NEREIDAS durante el I semestre de 2010, continuó mostrando una leve tendencia descendente que se viene registrando desde Septiembre de 2006, con registro de un cambio vertical de menos de 1mm (figura 48).

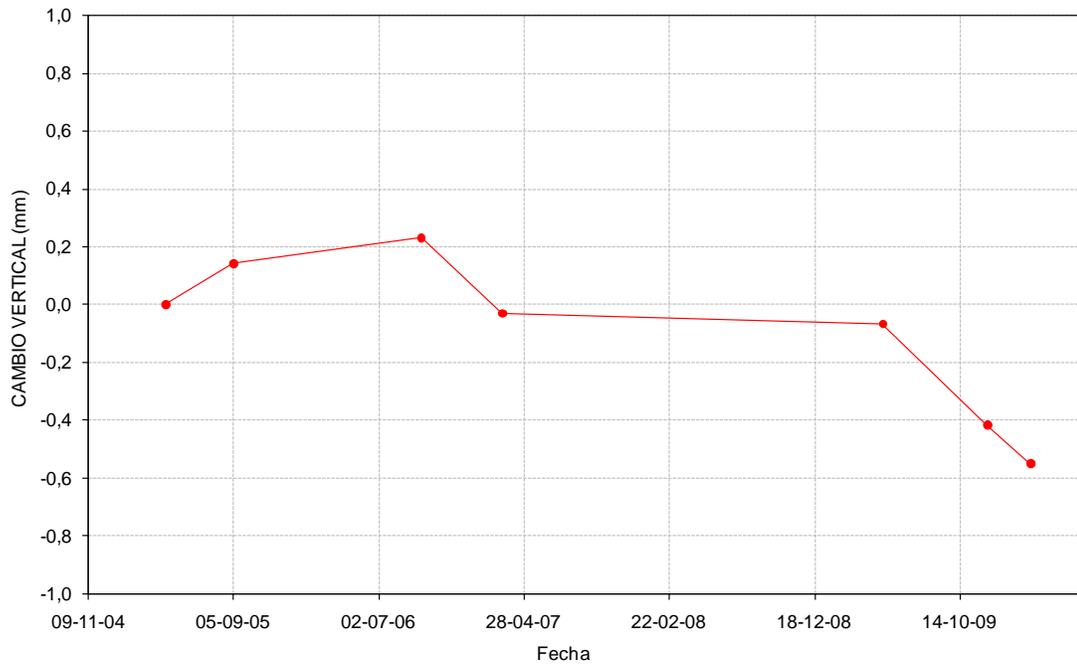


Figura 48. Comportamiento acumulado del vector de nivelación NEREIDAS desde 2005 hasta Junio de 2010.

1.4.2.3 Vector de nivelación PEÑAS BLANCAS

En el vector de nivelación PEÑAS BLANCAS solamente se han realizado dos mediciones en los últimos años, las cuales muestran que esta estación no registra ningún cambio vertical y se mantiene estable (figura 49).

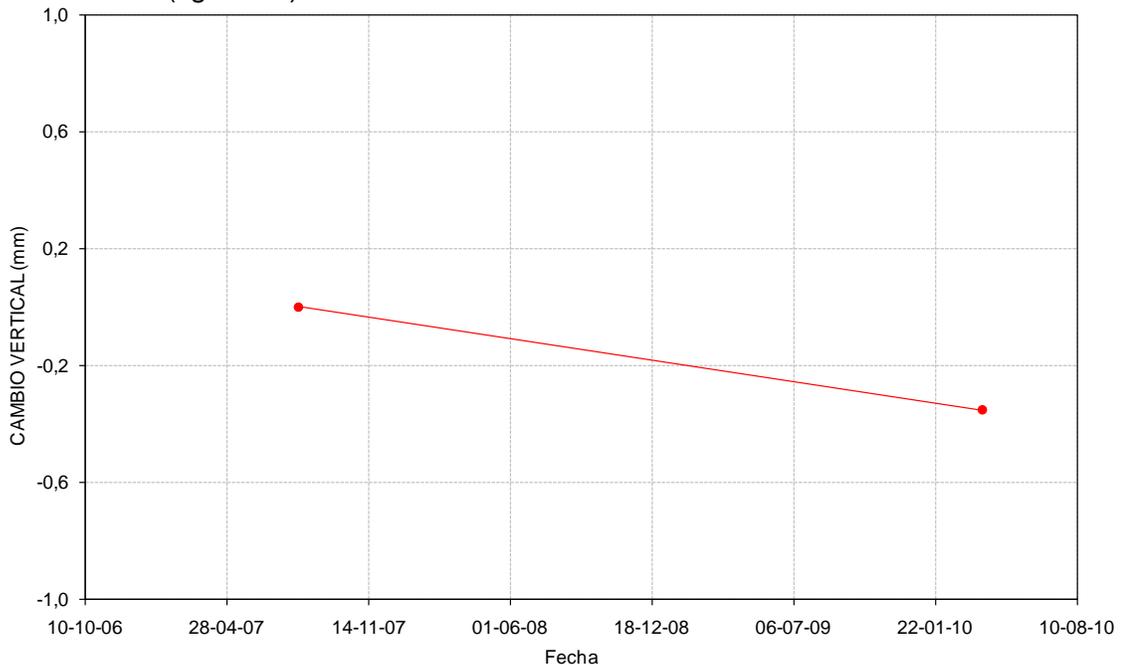


Figura 49. Comportamiento acumulado del vector de nivelación PEÑAS BLANCAS desde 2007 hasta Junio de 2010.

1.4.3 Comportamiento inclinómetros electrónicos

En el VNR se tienen instalados 5 inclinómetros electrónicos de plataforma nivelante de 2 ejes, provisto de un sensor de temperatura. Cada estación de inclinometría cuenta con un sistema de alimentación (batería y panel solar), una tarjeta digitalizadora para el registro de los cambios de voltaje asociados a los cambios de inclinación, y un sistema telemétrico (radio y antena de transmisión). 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 μ 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 del sensor, y cambios positivos se asocian con inclinaciones negativas.

1.4.3.1 Inclinómetro electrónico AZUFRADO

El comportamiento de esta estación durante el I semestre de 2010 se caracterizó por continuar presentando grandes fluctuaciones asociadas a los cambios de temperatura del lugar, sin embargo se mantiene una tendencia de estabilidad (figura 50).

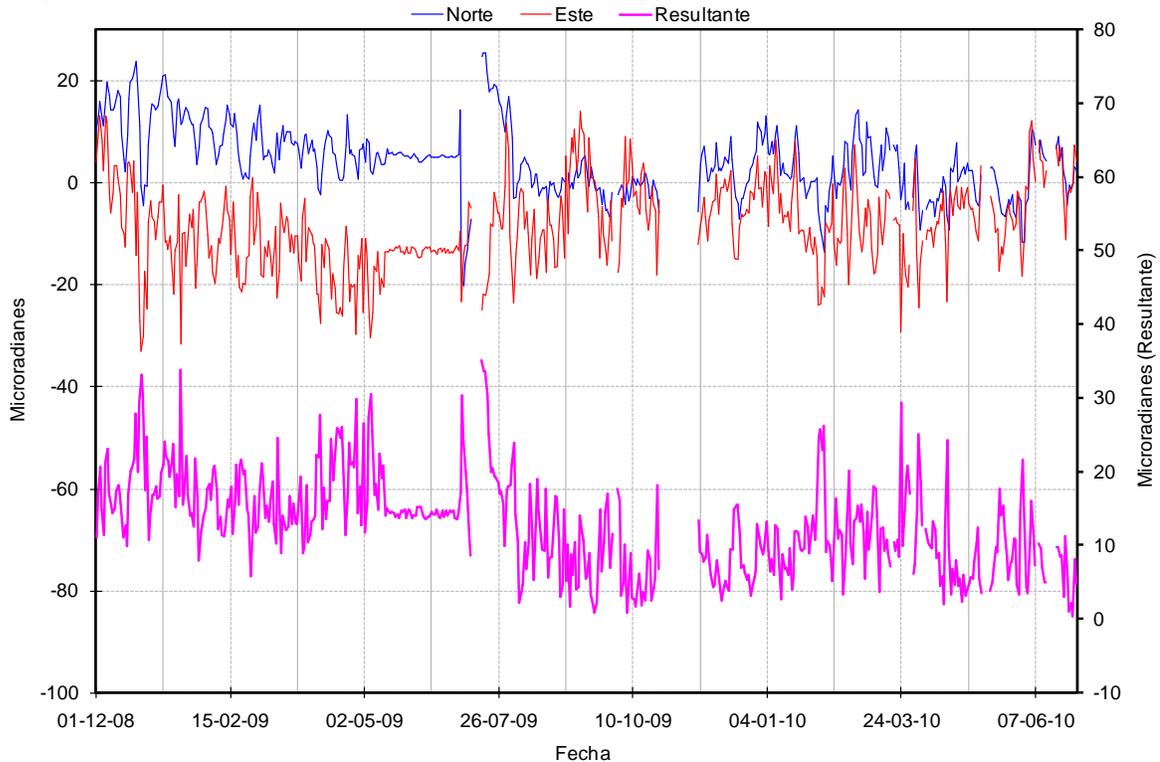


Figura 50. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Azufrado durante el I semestre de 2010.

1.4.3.2 Inclinómetro electrónico BIS

El comportamiento del inclinómetro electrónico BIS durante el I Semestre de 2010 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 hasta el 30 de Junio de 2009 de +100 μrad . La componente Este mostró una tendencia de estabilidad (figura 51).

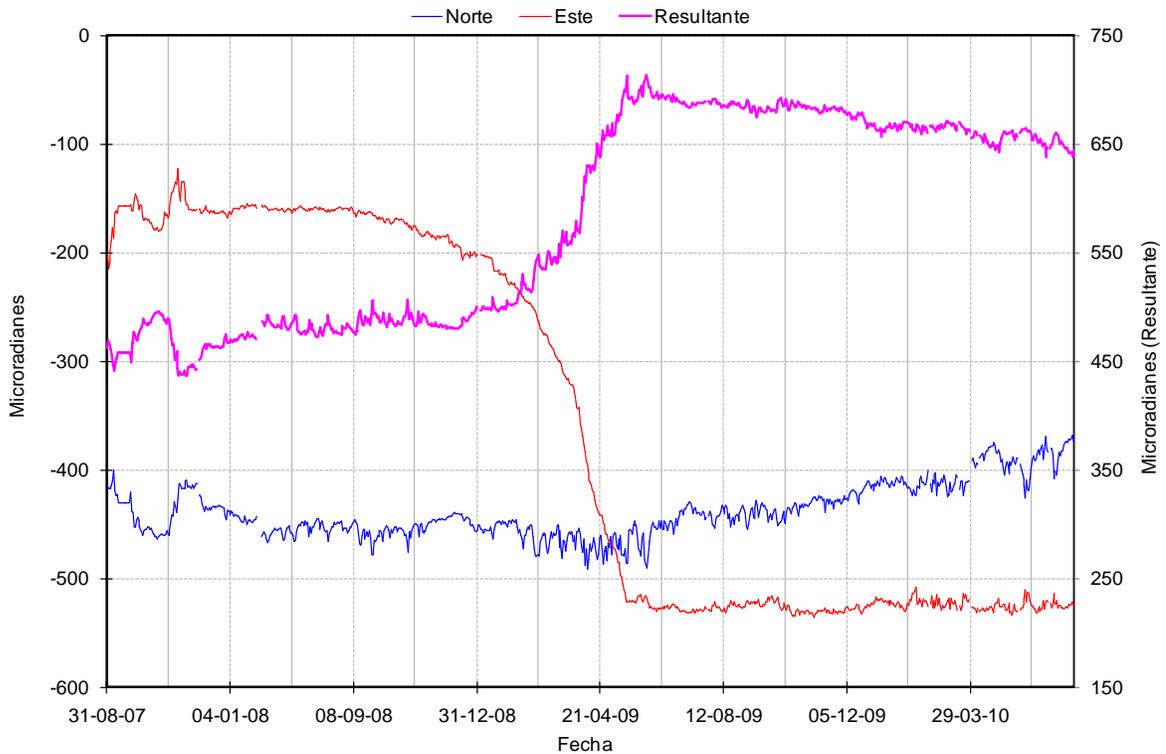


Figura 51. Comportamiento de las componentes Norte, Este y resultante del inclinómetro electrónico BIS durante el I semestre de 2010.

1.4.3.3 Inclinómetro electrónico LISA

Esta estación continúa mostrando fluctuaciones en sus 2 componentes. El comportamiento de la componente Norte se mantiene estable desde Septiembre de 2009, mientras la componente Este muestra una tendencia descendente con registro de un cambio acumulado de -170 μrad (figura 52).

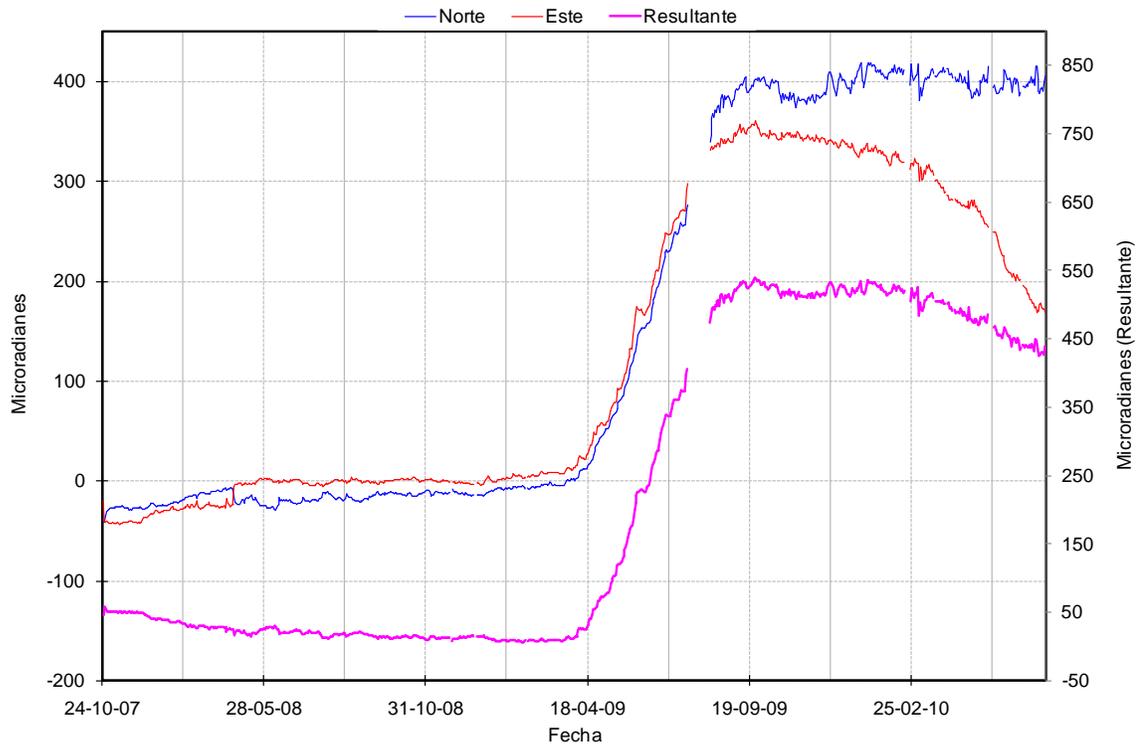


Figura 52. Comportamiento de las componentes Norte, Este y resultante del inclinómetro electrónico LISA durante el I semestre de 2010.

1.4.3.4 Inclinómetro electrónico RECIO

El comportamiento de esta estación durante el I semestre de 2010 se caracterizó por mostrar fluctuaciones, las cuales fueron más marcadas en la componente Este, sin embargo las 2 componentes mantienen estabilidad (figura 53).

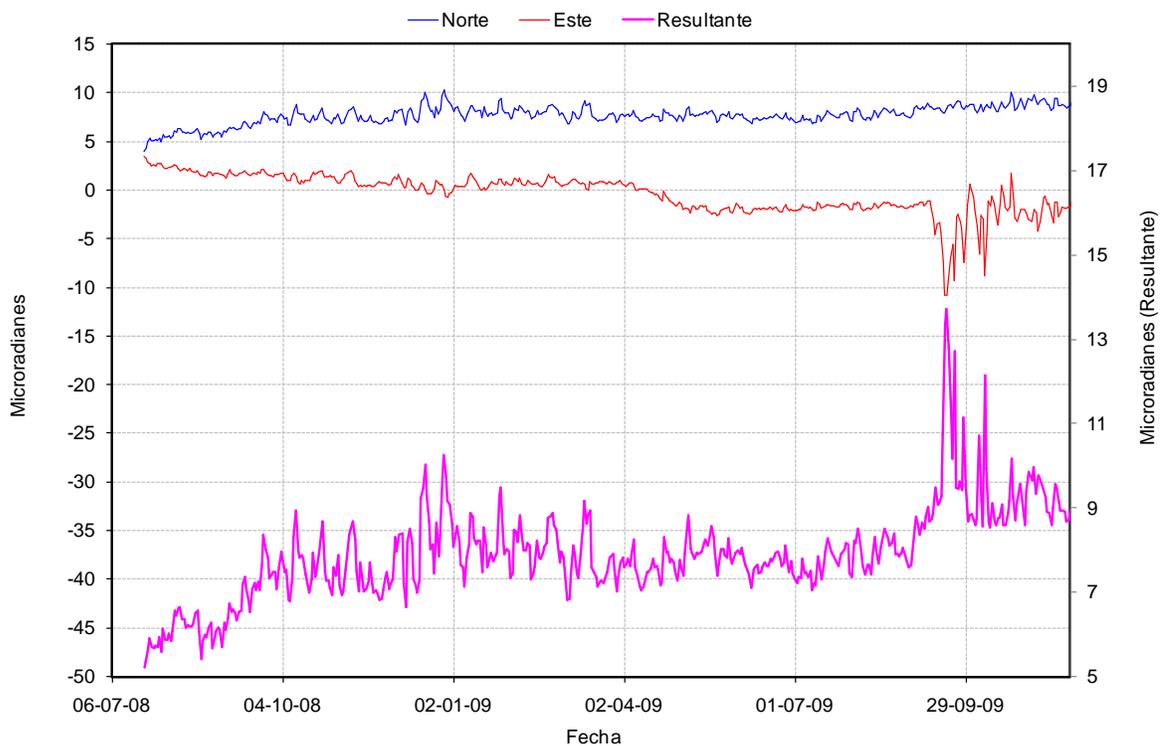


Figura 53. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico RECIO durante el I semestre del año 2010.

1.4.3.5 Inclinómetro electrónico REFUGIO

El comportamiento del inclinómetro electrónico REFUGIO durante el I semestre de 2010 continuó mostrando fluctuaciones, siendo más marcadas en la componente Este, la cual registró desde Septiembre de 2009 un comportamiento descendente con un cambio acumulado de $-100 \mu\text{rad}$. Por otra parte, la componente Norte continúa mostrando una clara tendencia ascendente desde Febrero de 2009, con registro de un cambio acumulado de $90 \mu\text{rad}$ (figura 54).

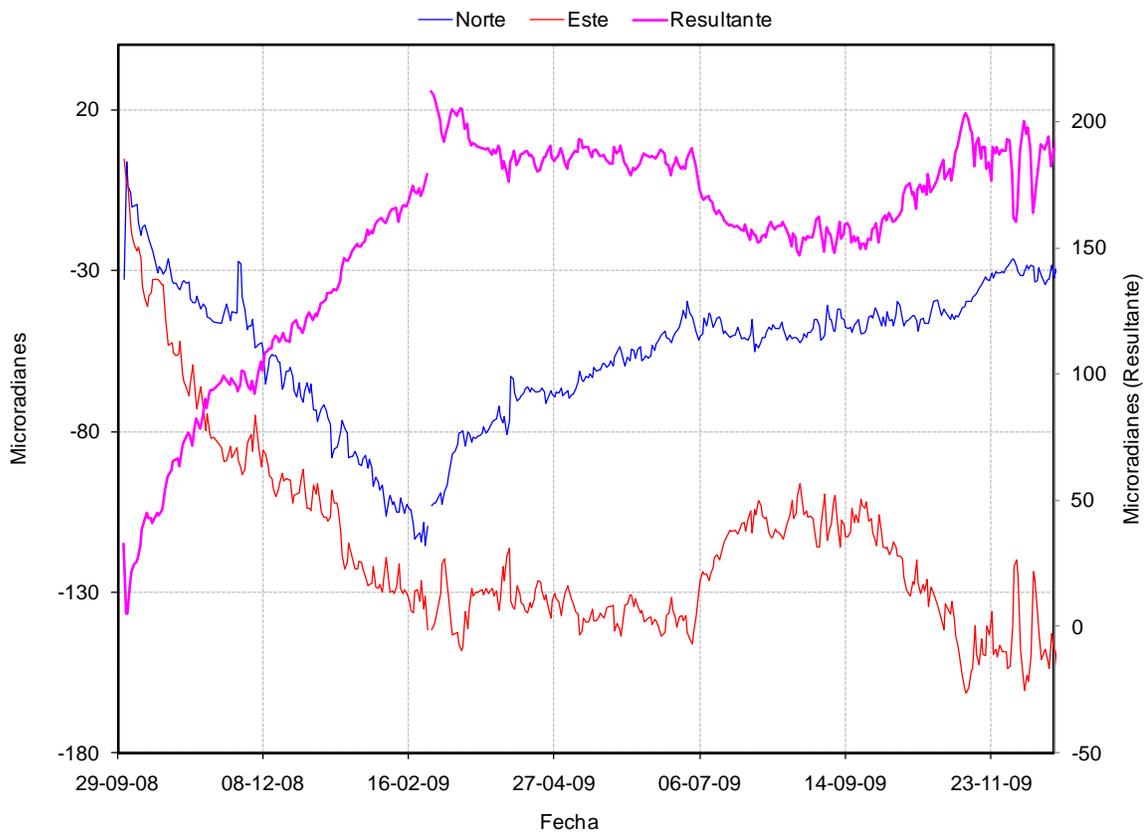


Figura 54. Comportamiento de las componentes Norte, Este y resultante del inclinómetro electrónico REFUGIO durante el I semestre de 2010.

1.4.4 Comportamiento líneas EDM

Durante el I semestre del 2010 se realizaron 6 mediciones de los reflectores EDM instalados en el VNR a partir de las base EDM REFUGIO y OLLETA. En general, todas las líneas muestran estabilidad (figuras 55 y 56).

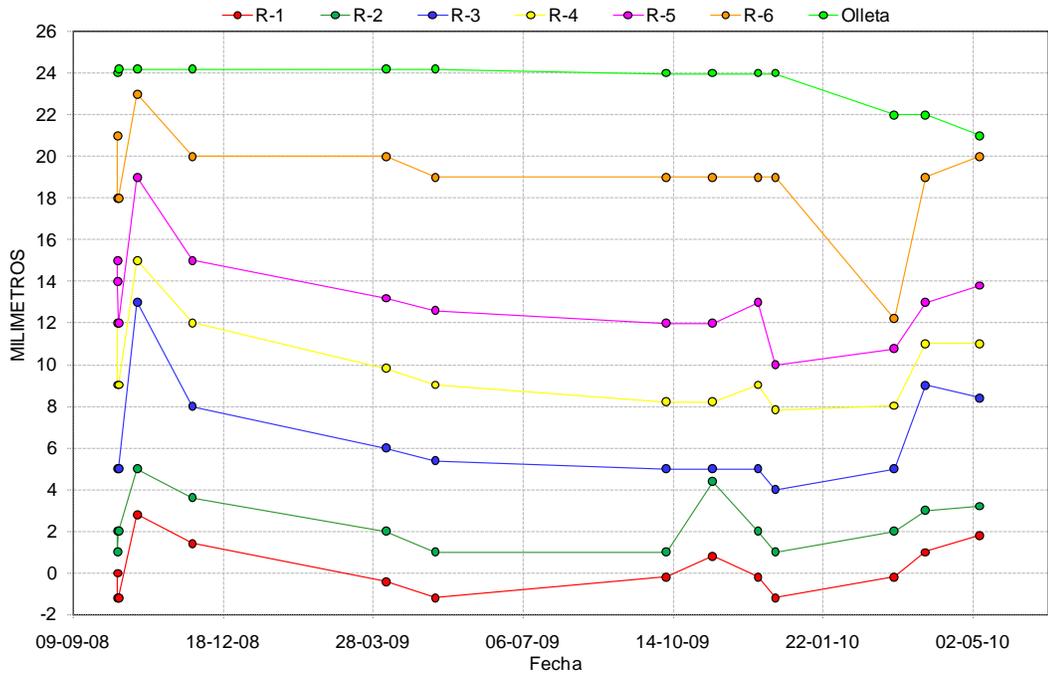


Figura 55. Comportamiento de los reflectores REFUGIO-1, REFUGIO-2, REFUGIO-3, REFUGIO-4, "REFUGIO-5, REFUGIO-6 y OLLETA-1 medidos desde la base EDM REFUGIO, desde Septiembre de 2008 hasta Junio de 2010.

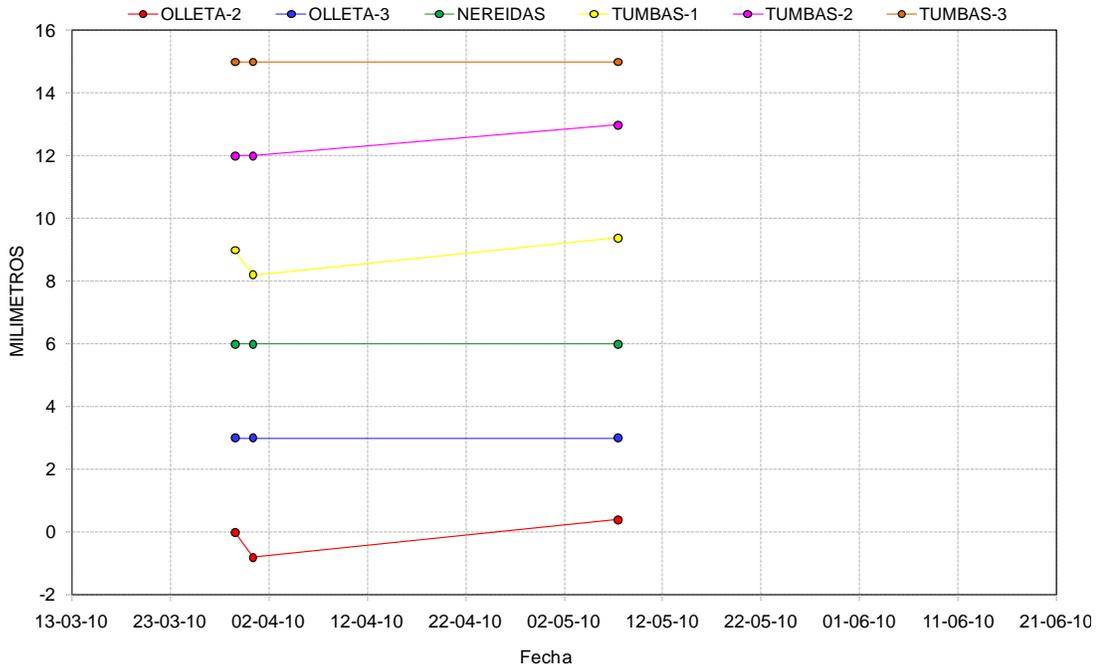


Figura 56. Comportamiento de los reflectores OLLETA-2, OLLETA-3, NEREIDAS, TUMBAS-1, TUMBAS-2 y TUMBAS-3 medidos desde la base EDM OLLETA, desde Marzo de 2010 hasta Junio de 2010.

2. VOLCAN NEVADO DEL TOLIMA (VNT)

2.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre del 2010 las estaciones de la red de vigilancia del Volcán Nevado del Tolima presentaron, en general, un buen funcionamiento. Las estaciones sismológicas tuvieron un funcionamiento normal, aunque con algunas interferencias y ruidos que no afectaron de manera importante la vigilancia volcánica. Durante el semestre no se llevaron a cabo acciones preventivas y/o correctivas, pero con el fin de llevar a cabo el mantenimiento y la instalación de nuevas estaciones en el volcán se tiene programado una visita a este durante la primera parte del segundo semestre de 2010.

2.2 SISMOLOGÍA

La actividad sísmica del Volcán Nevado del Tolima (VNT) permaneció baja durante el primer semestre de 2010, en cuanto al número de sismos registrados, así como la energía sísmica liberada. Se registraron durante el semestre 17 sismos de baja magnitud, localizados principalmente al sur occidente del cráter, con profundidades que oscilaron entre 2 y 11km. La mayor magnitud registrada fue de 1.4 en la escala de Richter, la cual corresponde a un evento tipo VT registrado el día 24 de mayo a las 23:29. Las figuras 57, 58, 59 Y 60 muestran la red de vigilancia sísmica del Volcán Nevado del Tolima , la localización de los eventos sísmicos del semestre y los valores de energía y el número de sismos diarios alcanzados durante el semestre.

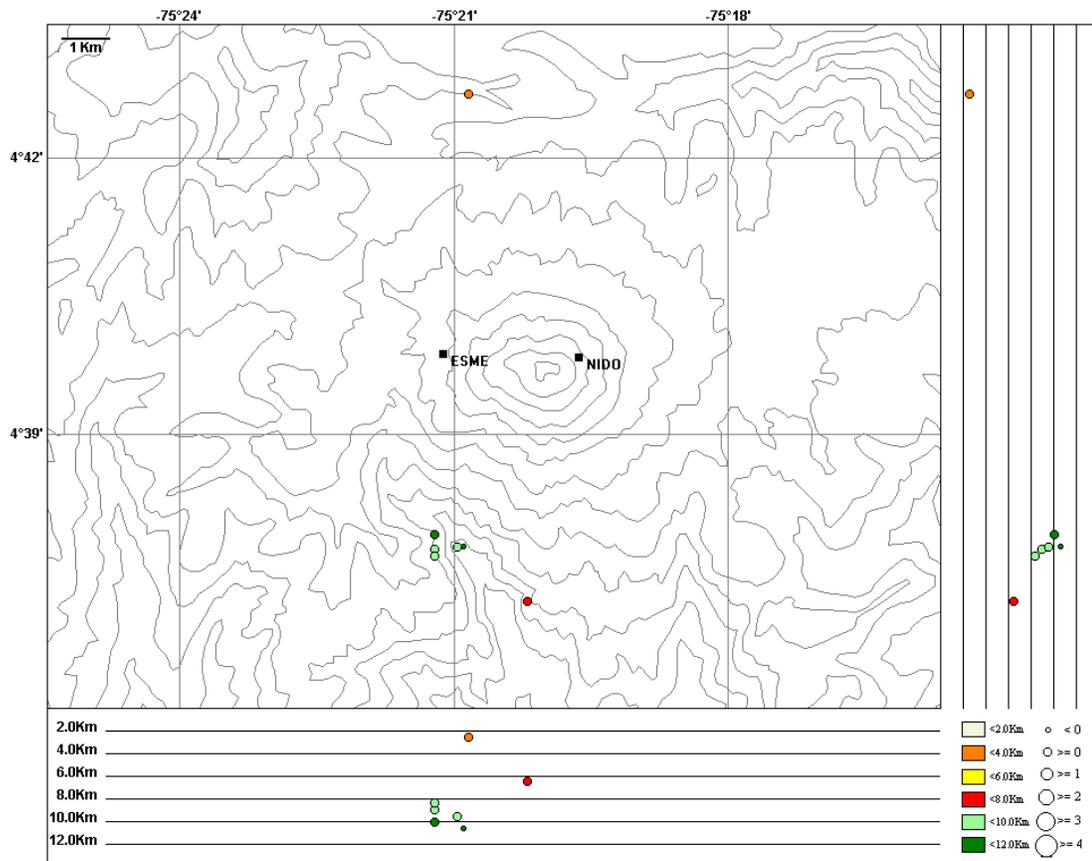


Figura 58. Mapa de Localización Hipocentral de sismos VT VNT. Primer semestre de 2010.

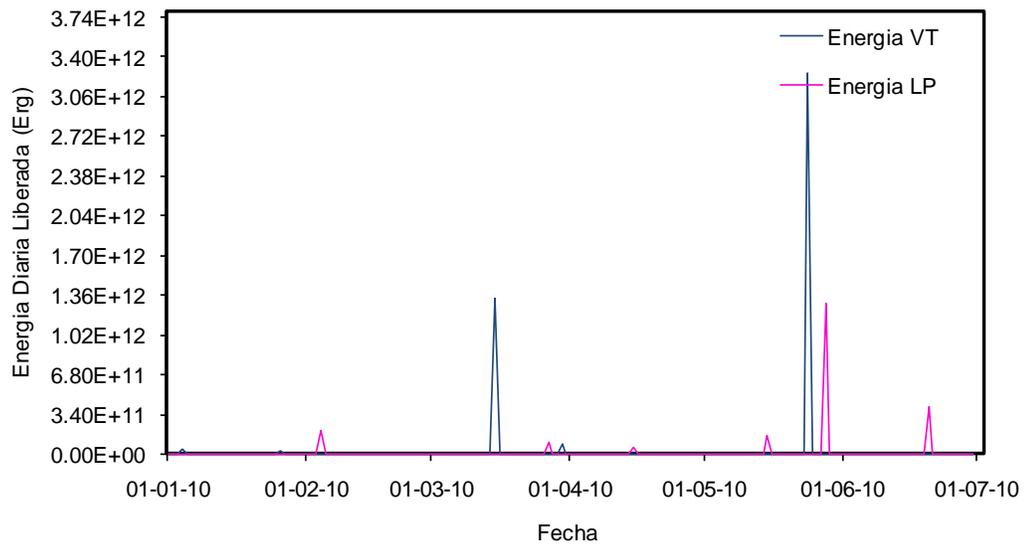


Figura 59. Energía sísmica diaria, VNT. Primer semestre de 2010.

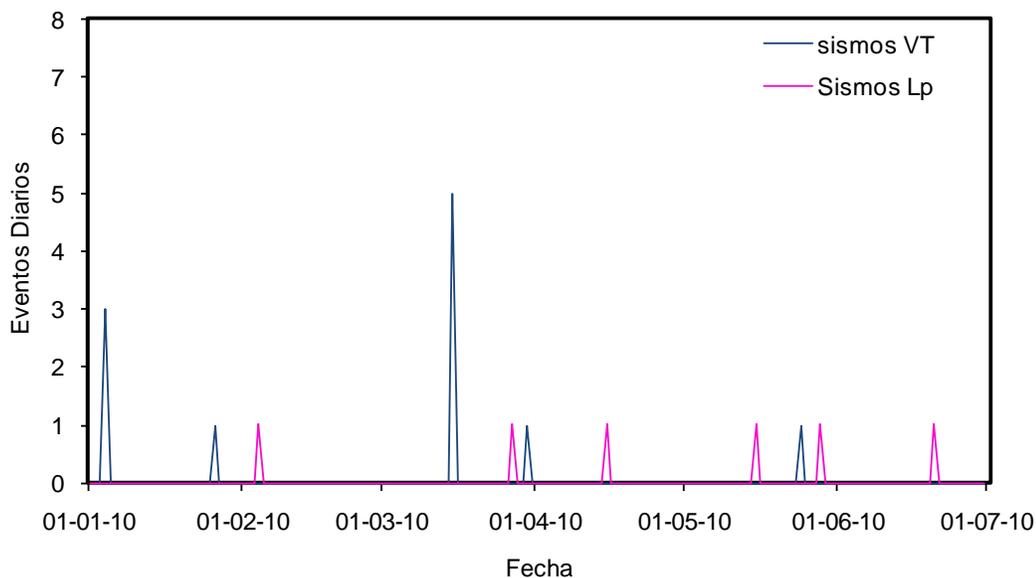


Figura 60. Número de sismos diarios, VNT. Primer semestre de 2010

2.2.1 Señales asociadas a la actividad glacial

Se registraron 8331 señales asociadas a pequeñas avalanchas de roca y/o hielo-nieve, producidas por el fenómeno de deshielo en la parte alta del volcán (figura 61), con una duración máxima de 232 segundos (figura 62). Las altas temperaturas registradas en la región en algunos periodos del año, conllevan a una aceleración del deshielo del glaciar, y por consiguiente a la generación de avalanchas.

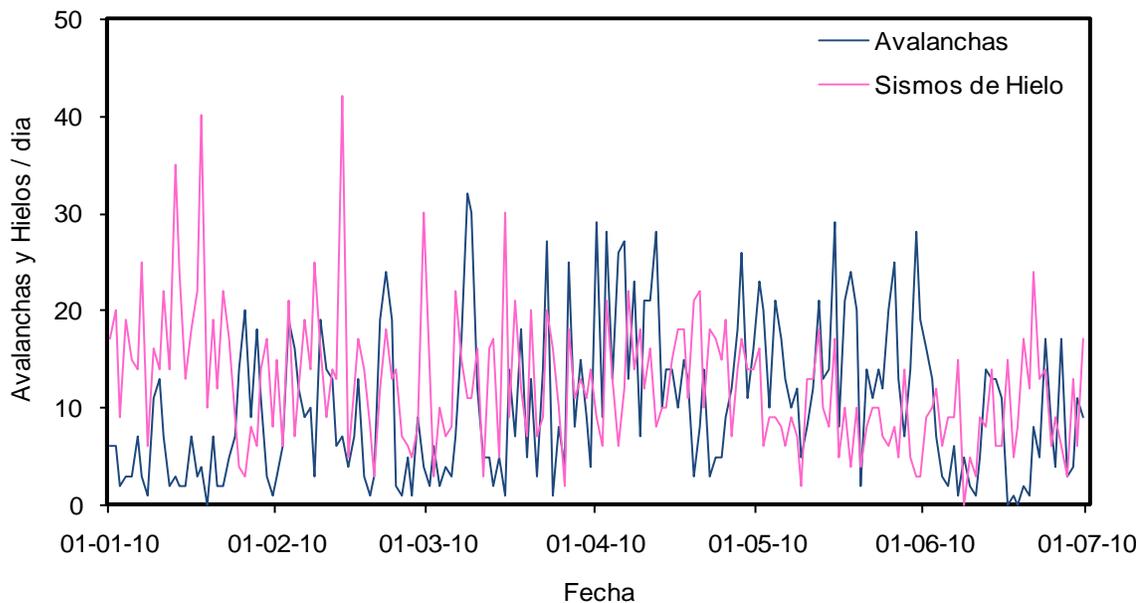


Figura 61. Número de avalanchas diarias en el VNT. Primer semestre de 2010

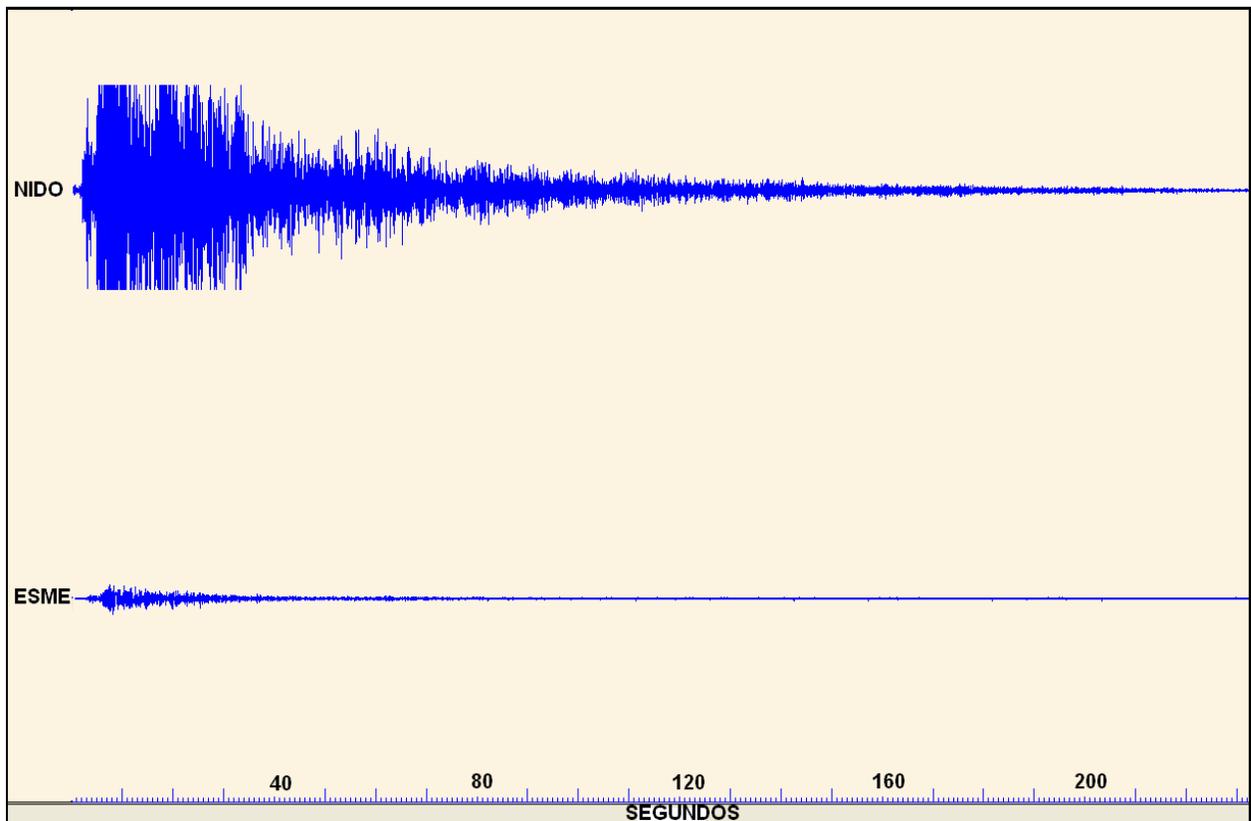


Figura 62. Forma de onda de una señal asociada a una avalancha correspondiente a la mayor registrada durante el semestre, ocurrida el día 28 de enero a las 15:12 en el Volcán Nevado del Tolima. La ventana de tiempo equivale a 232.73 segundos.

3 VOLCAN CERRO MACHÍN (VCM)

3.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre del 2010 las estaciones de la red de vigilancia del Volcán Cerro Machín presentaron, en general, un buen funcionamiento. Las estaciones sismológicas tuvieron un funcionamiento normal, aunque con algunas interferencias y ruidos que no afectaron de manera importante la vigilancia volcánica.

3.1.1 Mantenimiento estaciones Corto Periodo

Se realizó revisión y mantenimiento en las estaciones sismológicas repetidoras de corto período CIELO ROTO y LAJAS. La estación repetidora CIELO ROTO se visitó en comisión realizada entre los días 19 al 23 de marzo, con el objetivo de reestructuración total de todas sus instalaciones, incluidos los módulos encargados del manejo de las señales sismológicas de corto período de las estaciones TIGRE, SILENCIO y TOCHE (figuras 63 y 64).

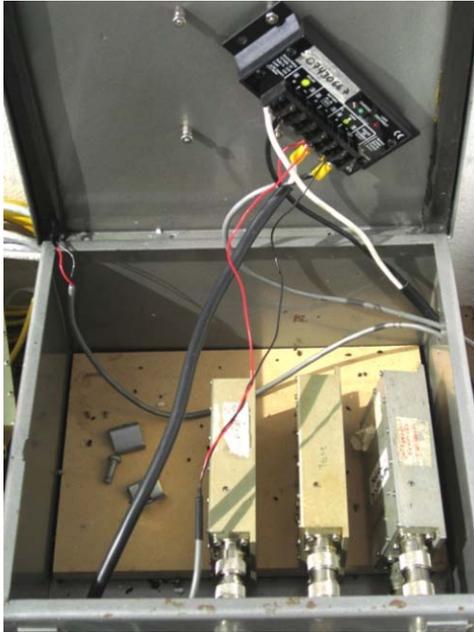


Figura 63. Estación repetidora de CIELO ROTO antes de trabajos en la estación



Figura 64. Estación repetidora de CIELO ROTO después de trabajos realizados

El día 21 de abril, se instaló una nueva estación sismológica de corto período TIGRE en el VCM (figura 65).



Figura 65. Estación de corto periodo TIGRE

3.1.2 Mantenimiento estaciones Banda ancha

Se realizaron visitas de revisión y mantenimiento a las estaciones sismológicas de banda ancha de ANILLO (figura 66) y ALEJANDRÍA (figura 67), atendiendo algunos problemas menores en el radio enlace que causaban la pérdida de algunos bloques en la señal.



Figura 66. Estación de banda ancha de ANILLO



Figura 67. Estación de banda ancha de ALEJANDRIA

3.1.3 Mantenimiento Sistema acústico

El día 23 de febrero se realizó visita de revisión y mantenimiento en la estación del sistema acústico de ANILLO, en la cual se cambió la frecuencia de transmisión de la estación y se reemplazó la tarjeta de baja ganancia del VCO.

3.1.4 Mantenimiento estaciones Inclínometría electrónica

Durante los primeros meses del año, la red conformada por la estaciones de inclinometría electrónica de RODEO y LAGUNA presentó problemas en el flujo de datos, debido a la configuración y características de los radio módem. El problema fue solucionado el 22 de mayo, retirando el sensor de la estación LAGUNA, de modo que ésta quedó operando sólo como repetidora de la estación RODEO (figuras 68 y 69). A partir de estas labores, la estación RODEO funciona normalmente y se programará una visita para identificar un sitio para instalar el inclinómetro electrónico de la estación LAGUNA.



Figura 68. Estación de inclinometría electrónica de RODEO.



Figura 69. Estación de inclinometría electrónica de LAGUNA.

El 17 de febrero, se visitó la estación de inclinometría de AGUAS CALIENTES, donde se cambió la caja de poliuretano que contenía los módulos de la estación, por una caja en fibra de vidrio soportada por un marco de tubos de PVC y se cambiaron los módulos electrónicos de TTD, regulador y radio módem (figuras 70 y 71).



Figura 70. Estación de inclinometría electrónica de AGUAS CALIENTES (sistema reemplazado).

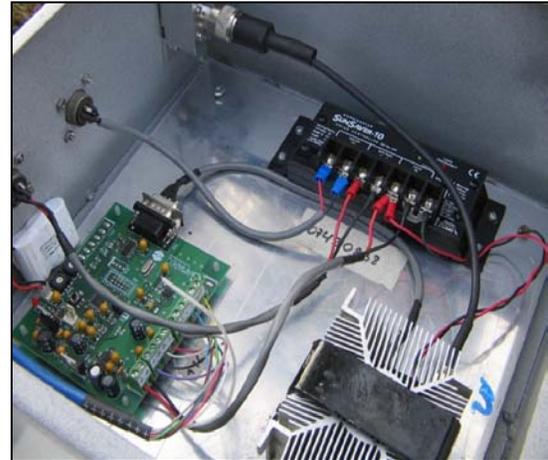


Figura 71. Estación de inclinometría electrónica de AGUAS CALIENTES (sistema instalado).

3.1.5 Magnetometría

El día 17 de febrero se visitó la estación de magnetometría de DOMO, en la cual se realizó cambio a el regulador que estaba averiado, al igual que el radio módem, el cual no funcionaba adecuadamente por problemas de sobrecalentamiento, Estos problemas fueron solucionados instalando un sistema disipador para el radio (figura 72).



Figura 72. Sistema electrónico con disipador de calor instalado

3.1.6 Autopotencial

El día 13 de abril se instaló la estación de auto potencial DOMO (figuras 73 y 74), para la cual se instalaron 4 electrodos en dos pares ortogonales entre sí, a una distancia de 180m entre dos electrodos del mismo par.



Figura 73. Adecuación para la instalación de los electrodos del magnetómetro de DOMO



Figura 74. Magnetómetro de DOMO

3.1.7 Geoquímica

En los meses de Marzo, Abril y Mayo se instalaron 7 nuevas estaciones para el monitoreo de Gas Radón. En la figura 75 se observa el modo de instalación y ubicación de las trampas de radón. Las coordenadas de ubicación y sus respectivos nombres se encuentran relacionados en la Tabla 1.



Figura 75. Modo de Instalación de Estaciones para el Monitoreo de Gas Radón en suelo. Volcán Cerro Machín.

Tabla 1. Relación de estaciones de radón instaladas el primer semestre del 2010.

FECHA	NOMBRE ESTACION	COORDENADAS
Marzo 02/10	Aguas Calientes 1	N 04°28'31.2" W 075°23'22.3" 2274 m
Abril 22 /10	Piro 1	N 04°28'24.1" W 075°23'14.3" 2346 msnm
Abril 28/10	La Secreta	N 04°28'49.2" W 075°23'40.2" 2352 msnm
	Piedras 1	N 04°28'54.6" W 075°22'52.5" 2454 msnm
Mayo 5/10	La Secreta 2	N 04°28'46.6" W 075°23'44" 2358 msnm
	Fuma 1	N 04°29'31.3" W 075°23'07.4" 2520 msnm
	Lisandro	N 04°28'43.6" W 075°23'04.6" 2428 msnm

3.2 SISMOLOGÍA

El VCM mostró un nivel bajo a medio en la actividad sísmica durante el primer semestre de 2010, mostrando un incremento tanto en el número de sismos como en la energía liberada en los últimos meses. La actividad sísmica se caracterizó básicamente por la ocurrencia de sismos asociados a fracturamiento de roca (Tipo VT), presentándose incrementos importantes en la actividad sísmica en los meses de Marzo, Abril, Mayo, y Junio las figuras (76, 77 78, 79), muestran la red de vigilancia sísmica del VCM, los valores de energía, el número de sismos diarios y las magnitudes alcanzadas durante el semestre. Durante el periodo se presentaron cinco enjambres sísmicos importantes, entre los que se destaca el ocurrido el día 31 de Marzo, fecha en la que se registraron 110 sismos con una magnitud local máxima registrada de 2.38 correspondiente a un sismo a las 16:10, el cual corresponde a la mayor magnitud del semestre reportado como sentido por las personas de la zona (figura 80). Adicionalmente se registraron otros incrementos en la actividad los meses de Abril con un total de 105 eventos el día 23 y magnitud máxima de 0.95 en la escala de Richter, Mayo 23 con un total de 120 sismos con una magnitud máxima de 1.45 en la escala de Richter y en el mes de Junio en donde se presentaron dos incrementos con 122 sismos el día 3 y magnitud máxima 0.81 y entre los días 16 y 17 con 117 sismos y magnitud máxima de 1.1 en la escala de Richter. Esta sismicidad se localizó principalmente al SW del domo principal.

La sismicidad tipo VT se localizó principalmente bajo el domo principal, al sur y sur occidente del mismo, con profundidades que oscilaron predominantemente entre 2 y 11 km (figura 82). Algunos eventos se localizaron hacia el sureste del edificio volcánico, cerca a la estación de ALEJANDRÍA y al noreste cerca a la estación de SAN JUAN, con un rango de profundidad mayor entre 4 y 11 km. En total fueron localizados 414 sismos.

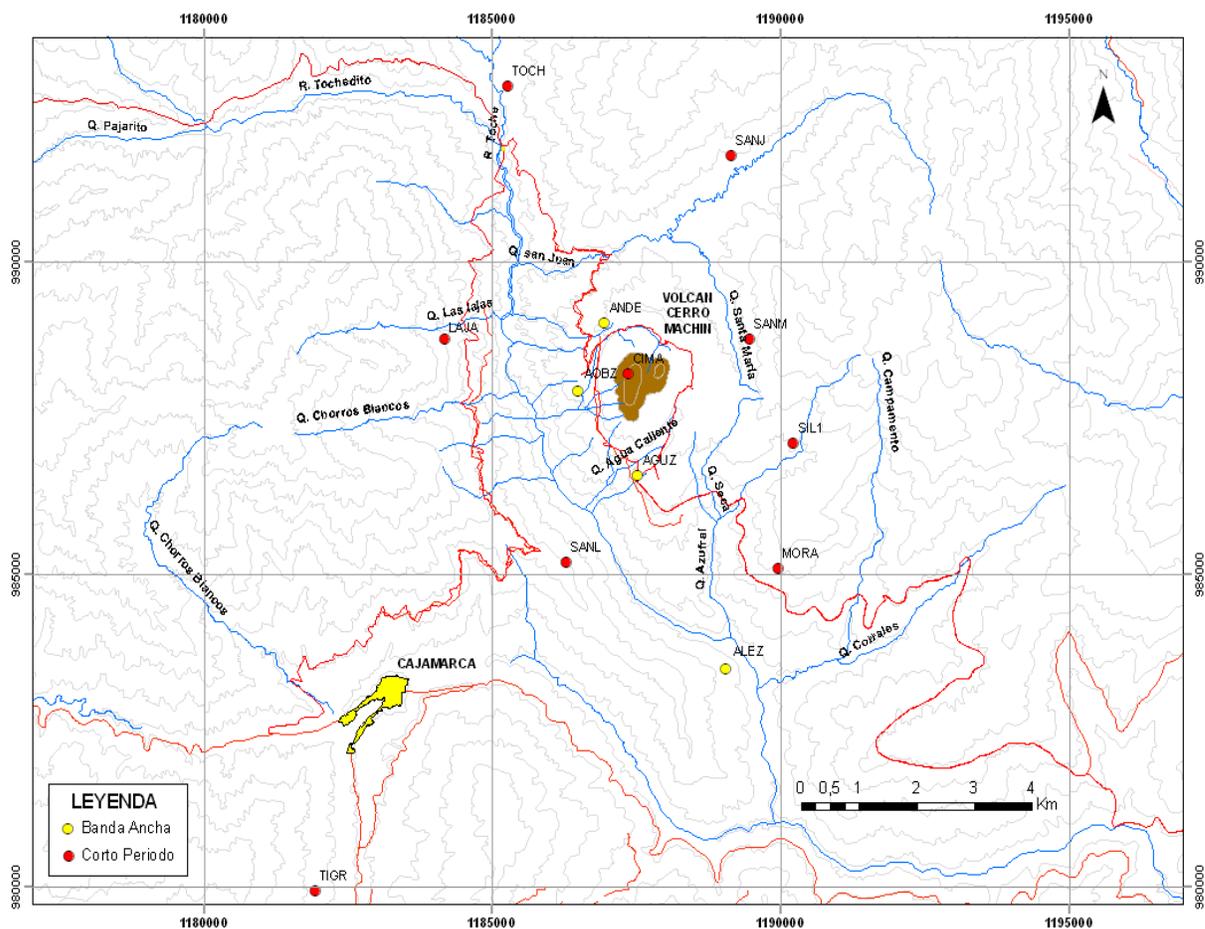
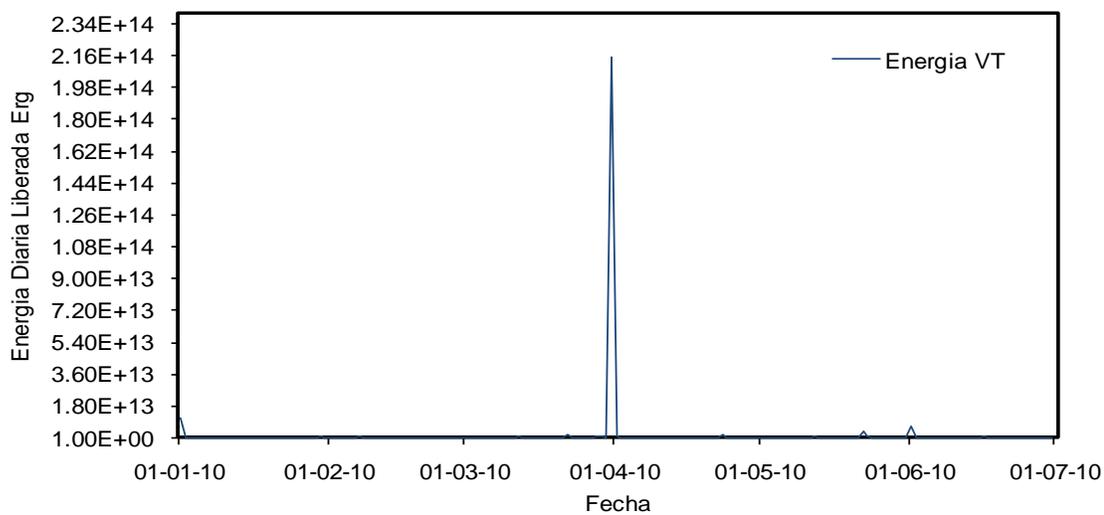


Figura 76. Red sísmológica Volcán Cerro Machín.



.Figura 77. Energía sísmica diaria liberada por el VCM, primer semestre 2010.

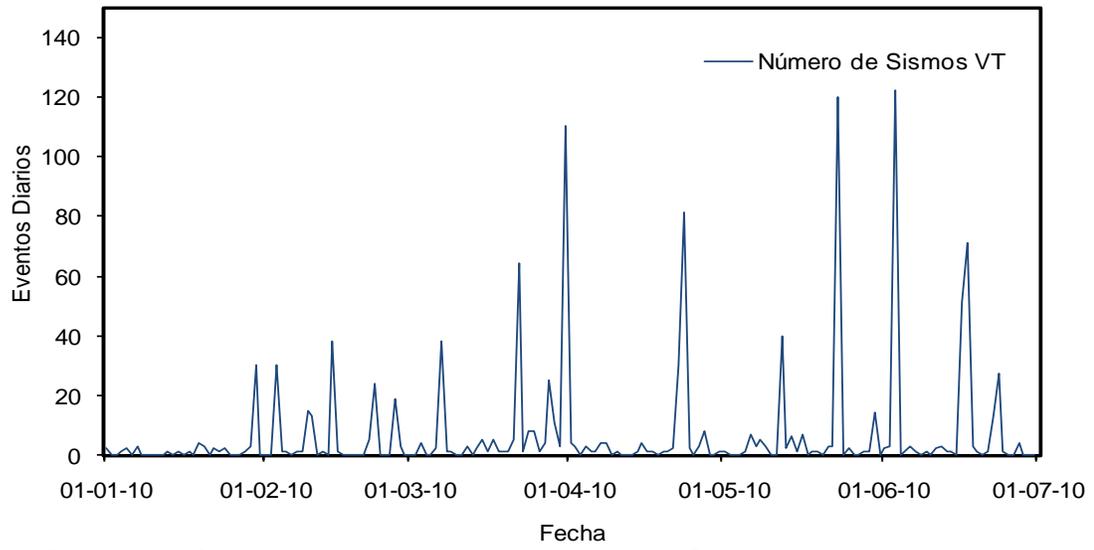


Figura 78. Número de sismos diarios ocurridos en el VCM, primer semestre de 2010.

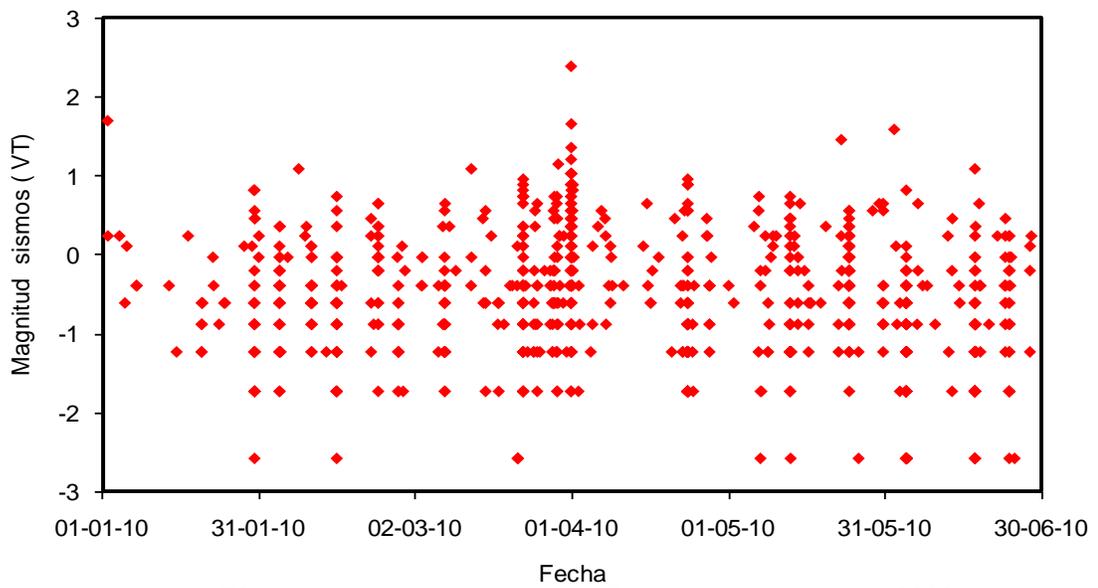


Figura 79. Magnitud coda sismos VT VCM primer semestre de 2010.

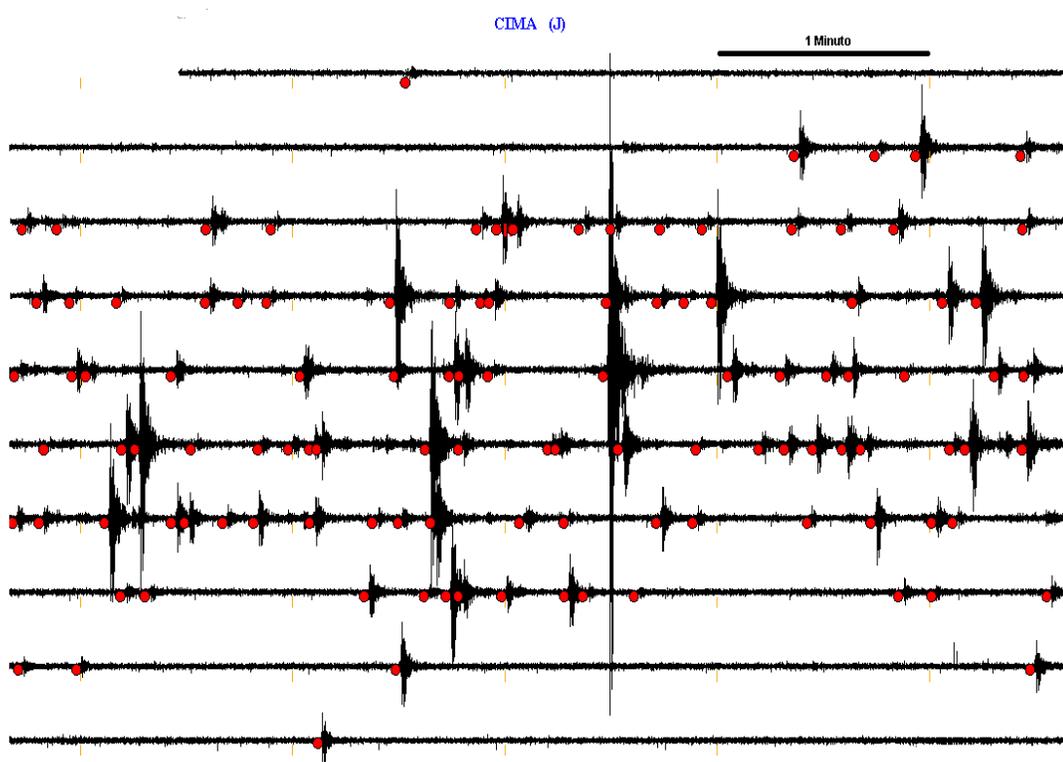


Figura 80. Sismograma digital, incremento de actividad registrado en el Volcán Cerro Machín el 31 de mayo de 2010. Registro de la estación CIMA. Los círculos rojos rellenos representan la identificación de cada sismo.

Se estimaron los mecanismos focales de los sismos de mayor magnitud de este incremento. Los resultados obtenidos muestran una tendencia de fallamiento de rumbo tal y como se señala en la figura 81.

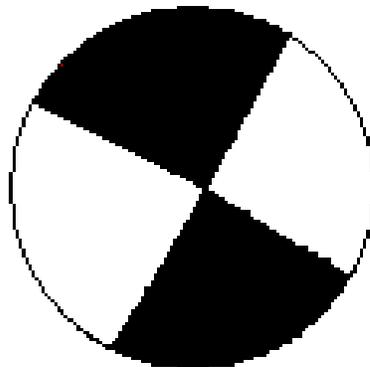


Figura 81. Mecanismo focal asociado a los sismos del enjambre de Abril 15 en el Volcán Nevado del Ruiz. AZM: acimut: 300° , DIP: Buzamiento: 86° , Rake: deslizamiento: -3° . Los parámetros de la solución son: Score= 83.3% , Calidad= 99.9% .

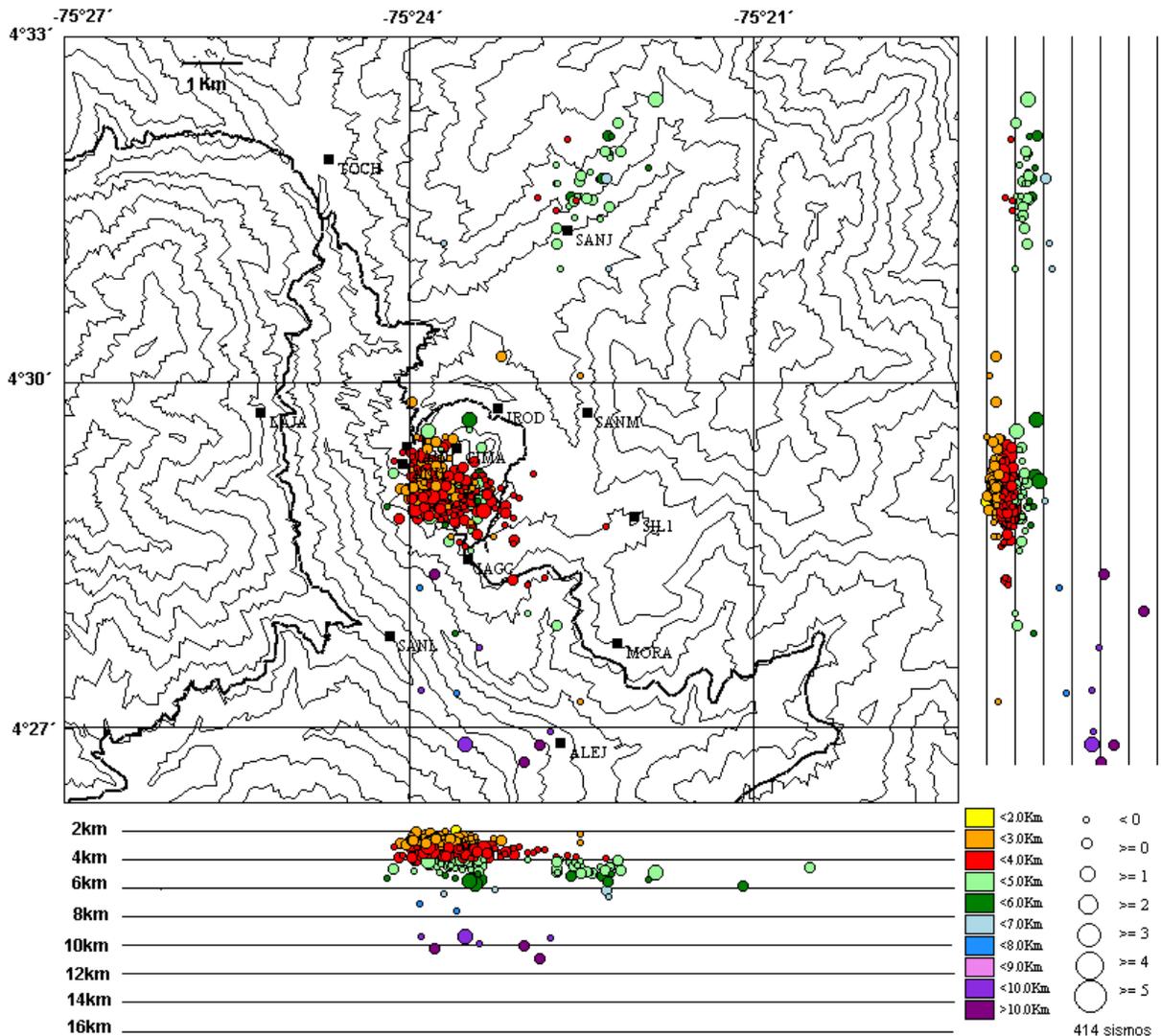


Figura 82. Localización hipocentral de sismos VT en el VCM, primer semestre de 2010.

3.3 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS

3.3.1. Magnetometría

El magnetómetro de AGUAS CALIENTES en el VCM, continúa con tendencia hacia valores más bajos y cambios periódicos en sus componentes (figura 83). Esto podría estar indicando una posible estabilización del sistema momentáneamente, en cuanto a ascenso de magma u otros materiales densos. El magnetómetro de DOMO sigue mostrando, una tendencia estable con tendencias a cambios temporales y periódicos durante el semestre (figura 84). Durante el semestre se ha observado una respuesta positiva y una correlación importante entre la actividad sísmica y el comportamiento de los dos magnetómetros con cambios en estos que anteceden incrementos en la actividad sísmica en el Volcán.

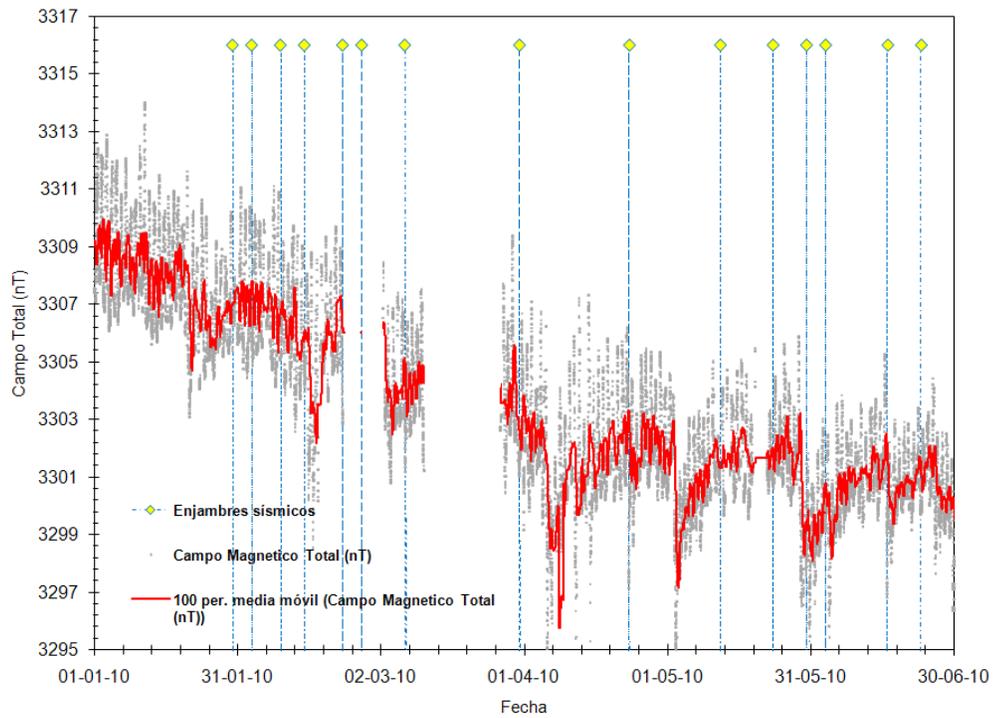


Figura 83. Variaciones del campo magnético en el VCM. Estación AGUAS CALIENTES, primer semestre de 2010.

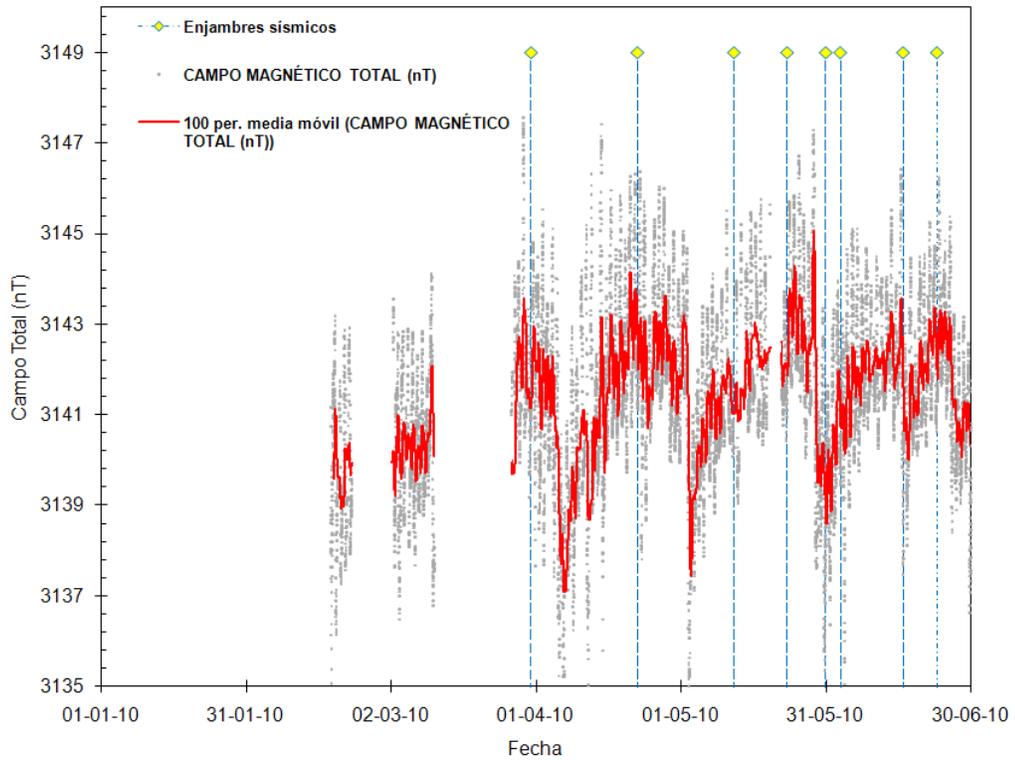


Figura 84. Variaciones del campo magnético en el VCM. Estación DOMO primer semestre de 2010.

3.3.2 Autopotencial

El 13 de Abril de 2010 fue instalado un equipo para medir las diferencias de potencial eléctrico espontáneo en el VCM, La curva muestra una disminución notoria durante los primeros días de funcionamiento de la estación que evidencian la estabilización instrumental del equipo La figura 85 muestra los cambios registrados durante el semestre por el autopotencial de la estación DOMO, y su relación con la actividad sísmica en el volcán.

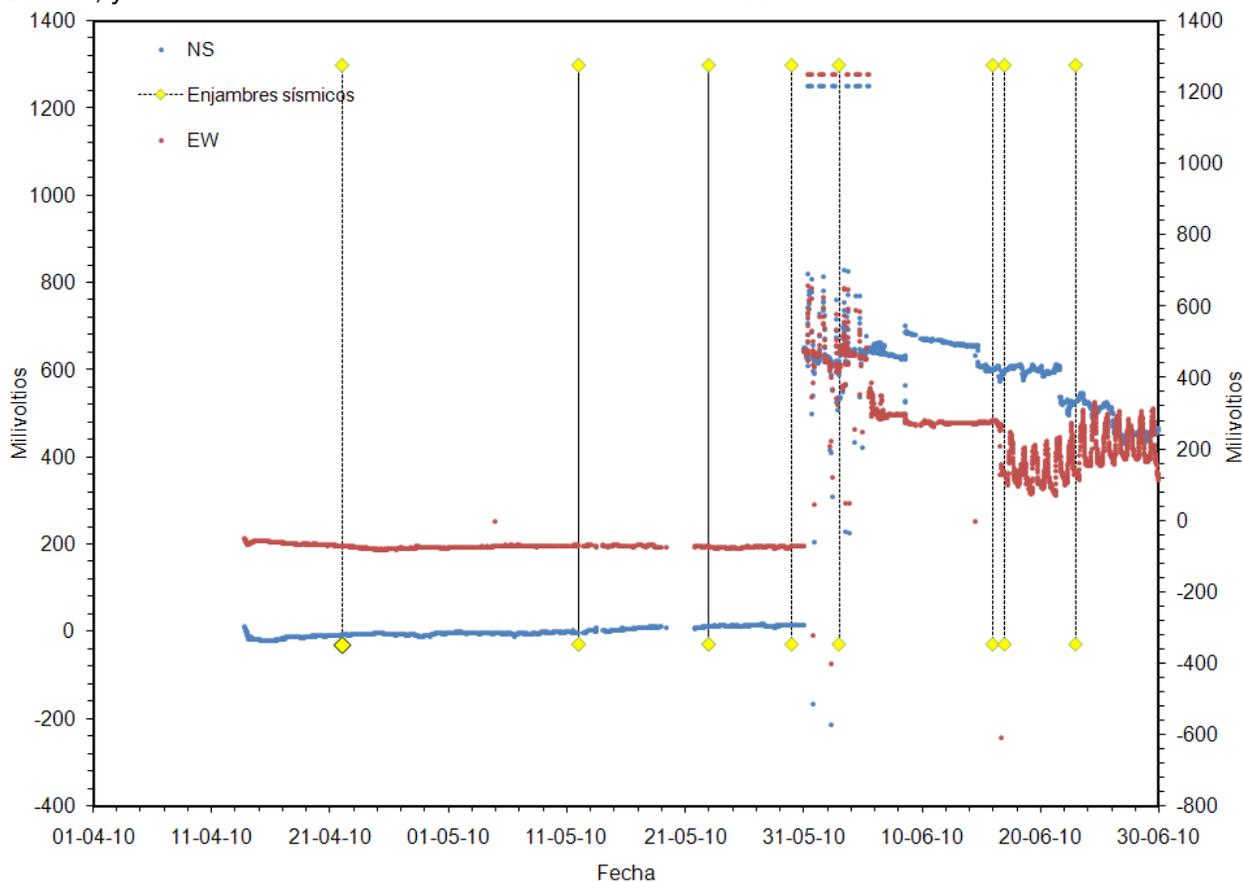


Figura 85 Valores registrados durante el semestre por el autopotencial de DOMO en el Volcán Cerro Machín, primer semestre 2010.

3.4 GEOQUÍMICA

En la figura 86 se aprecia la red de geoquímica del VCM (Junio de 2010), la cual está constituida por: 17 estaciones de gas Radón (ANILLO, SAN LORENZO, PRIMAVERA, DOMO 1, AGUAS CALIENTES 1, RAMON, RODEO, LAS PALMAS, LAS VIOLETAS, LAGUNA 1, LAGUNA 2, FUMA 1, GENA 0, PIEDRAS 0, LISANDRO, PIRO 1, PIRO 2); tres fuentes termales (PISCINA, ESTATUAS, Y PUENTE TIERRA), dos trampas alcalinas (Ta PISCINA Y Ta ESTATUAS) y un sistema de termocupla de nombre CIMA.

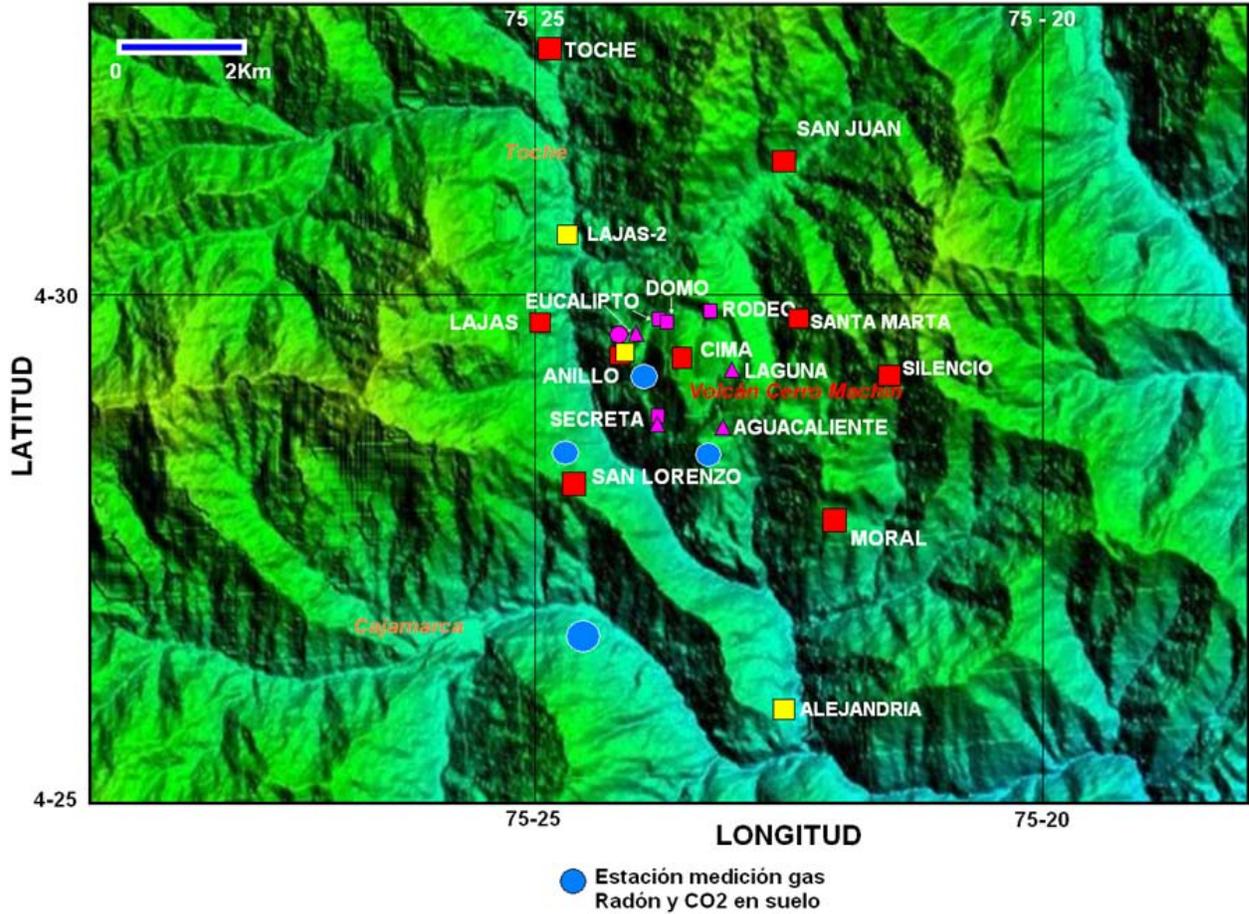


Figura 86 Red geoquímica Volcán Cerro Machín, primer semestre 2010. los círculos azules representan las estaciones de gas Radón y CO₂ en suelo

3.4.1 Emisiones de Gas Radón

Durante el primer semestre del 2010 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 87 se aprecia que durante los tres primeros meses del año no se presentaron cambios importantes en los valores de radón difuso, mientras que en los meses de Abril y Mayo en la estación PRIMAVERA se observaron valores de 1075 y 1737 pCi/L y su promedio es de 354 pCi/L. En ANILLO se presentó un pico en el mes de Junio con 1710 pCi/L. La estación SAN LORENZO no presentó variaciones en radón.

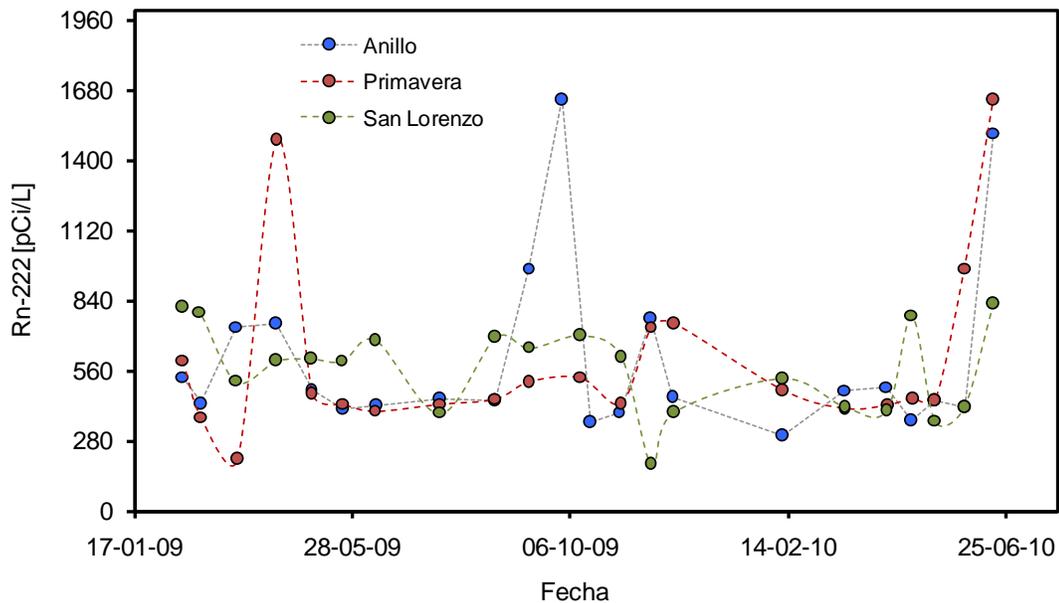


Figura 87. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: ANILLO, SAN LORENZO y PRIMAVERA. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.

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, siendo más evidente en la estación FUMA 1, en donde luego de su instalación sus valores han estado ascendiendo desde 140 a 1236 pCi/L. LAS PALMAS ha sido la estación que más estabilidad ha presentado en las medidas realizadas durante el primer semestre. En la figura 88 se aprecia las variaciones temporales de emisión de gas radón para cada una de las estaciones mencionadas.

Las estaciones LAGUNA 1, GENA, LISANDRO y PIEDRAS 1 conforman el tercer grupo. En la figura 89 se aprecia que la estación GENA es la que mayores cambios registró en el primer semestre. Se presentaron picos los meses de Abril y Junio con valores de 1485 y 1481 pCi/L respectivamente. El promedio fue de 357 pCi/L. La estación LAGUNA 1 también presentó un pico el mes de Abril con 979 pCi/L y su promedio registrado en el primer semestre de 2010 fue de 315 pCi/L. PIEDRAS 1 desde su instalación ha presentado valores ascendentes en sus medidas. Los picos presentados están asociados a la sismicidad que exhibió el VCM los días 22 y 23 de Abril.

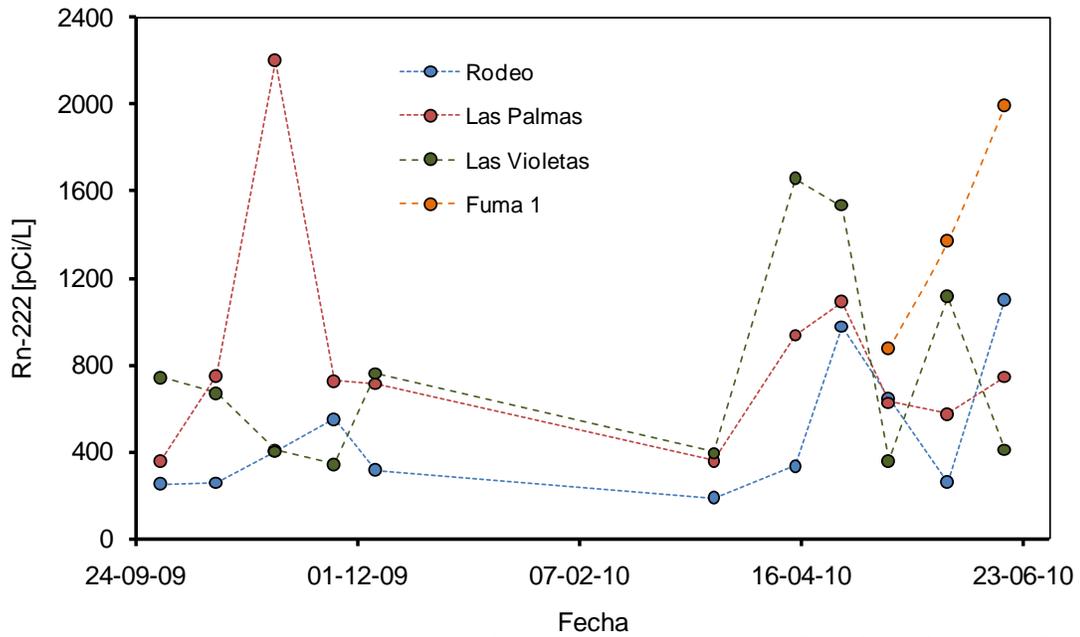


Figura 88. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: RODEO, LAS PALMAS, LAS VIOLETAS y FUMA 1. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.

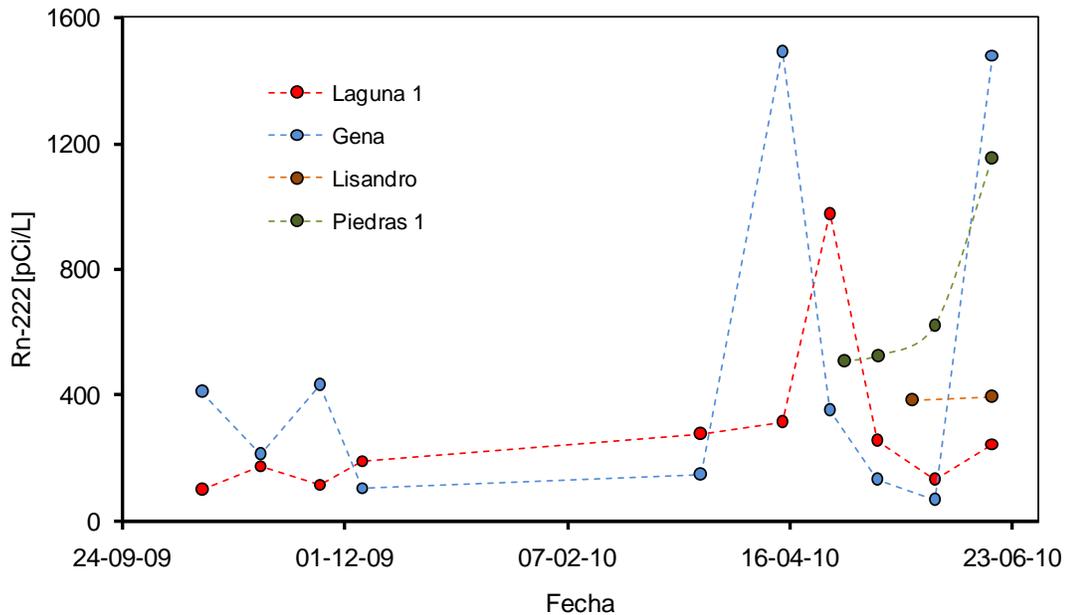


Figura 89. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: LAGUNA 1, GENA, LISANDRO y PIEDRAS 1. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.

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 90. En los meses de Abril y Junio se registró en todas las estaciones un incremento en los valores de concentración de gas radón, el cual fue más notorio en las estaciones PIRO y SECRETA 1.

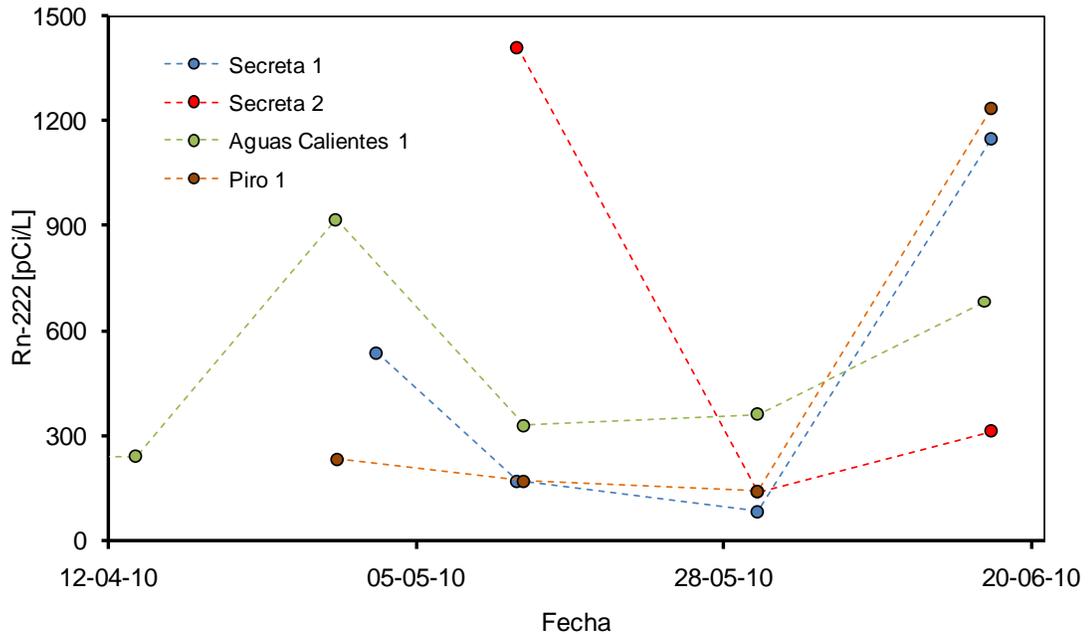


Figura 90. Variación de los niveles de Radón en suelo Estaciones: SECRETA 1, SECRETA 2, AGUAS CALIENTES 1 y PIRO 1. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.

3.4.2 Fuentes Termales (FT)

En el segundo semestre del 2010 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 91 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 91.4°C.

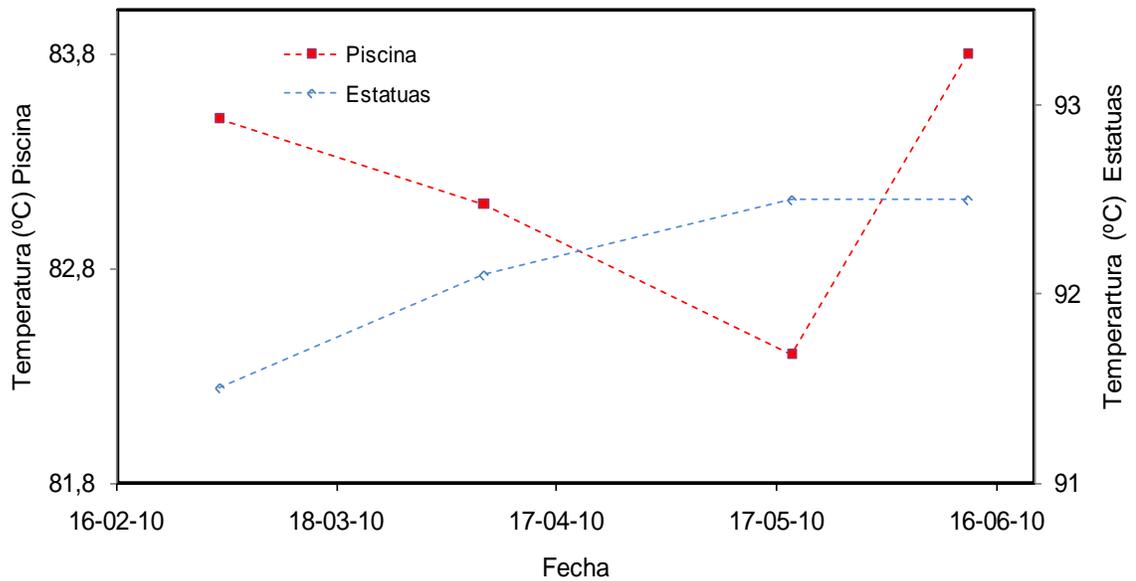


Figura 91. Variación de temperatura Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.

El pH si mostró algunas variaciones en sus valores, especialmente en la FT PISCINA el cual fue de 8.53 en el mes de Abril y su promedio en las medidas del primer semestre fue de 7.43. El pH en la FT ESTATUAS varió entre 8.3 y 8.8. La variación del parámetro pH se aprecia en la Figura 92.

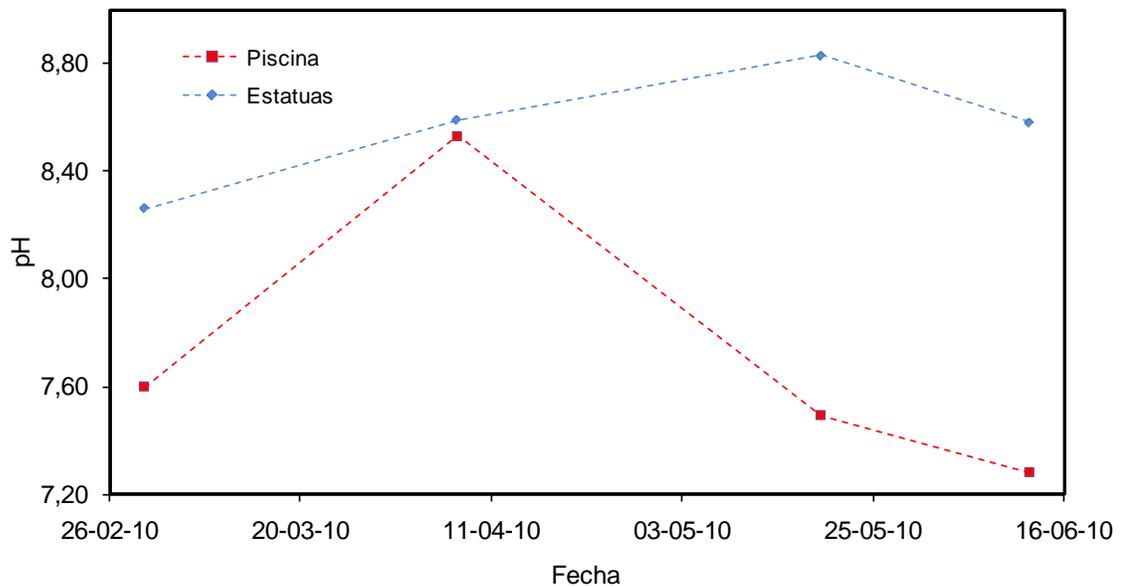


Figura 92. Variación de pH Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010

El comportamiento con el tiempo del parámetro fisicoquímico Conductividad puede apreciarse en la figura 93, los valores estuvieron casi constantes con el tiempo para ESTATUAS, mientras que en PISCINA se observó un incremento en la mineralización del agua en el mes de Marzo ya que se registró un valor de 3.15 y su valor base promedio es de 1.72.

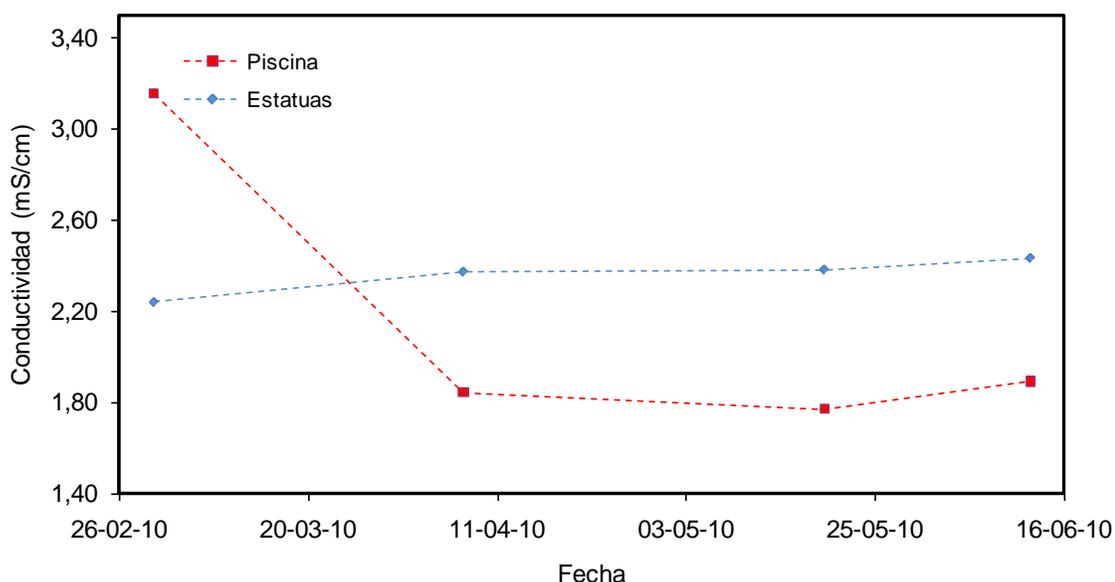


Figura 93. Variación de Conductividad Eléctrica en Fuentes Termales: PISCINA y ESTATUAS. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.

El contenido de aniones mayoritarios para las fuentes termales se presenta en la figura 94, los análisis de Sulfatos mostraron una clara tendencia al aumento en las dos fuentes, en PISCINA la concentración pasó de 76 ppm en el mes de Marzo a 193 ppm en Junio, similar comportamiento presentó ESTATUAS en donde pasó de 95.2 ppm en el mes de Abril a 185 ppm en el mes de Junio. Este comportamiento 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 el mes de Mayo se evidenció un incremento significativo en su concentración, el cual puede estar asociado a posibles procesos de evaporación.

3.4.3 Gases en Botellas de Giggenbach

Durante el primer semestre del 2010 se realizaron dos muestreos de gases en la Fumarola La Macha La temperatura promedio en el foco 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 , CO_2 , SO_2 , H_2S , S , H_2O) que permanece en la solución. Las especies sulfuradas coexisten y es indispensable su determinación en el estudio de gases volcánicos (figura 95). Algunas de las reacciones que se involucran entre la fase condensable y la solución alcalina de recolección de la muestra son:



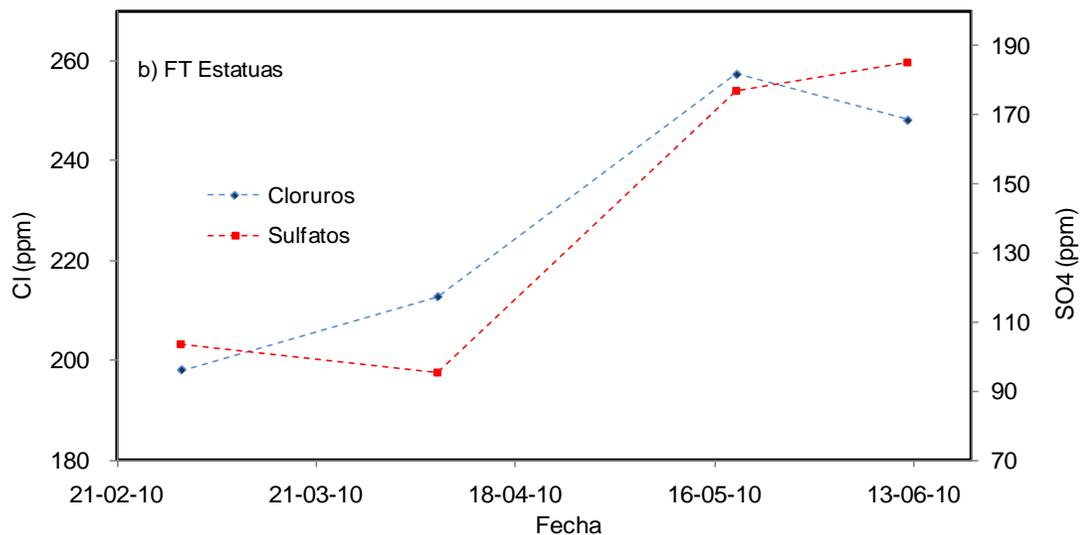
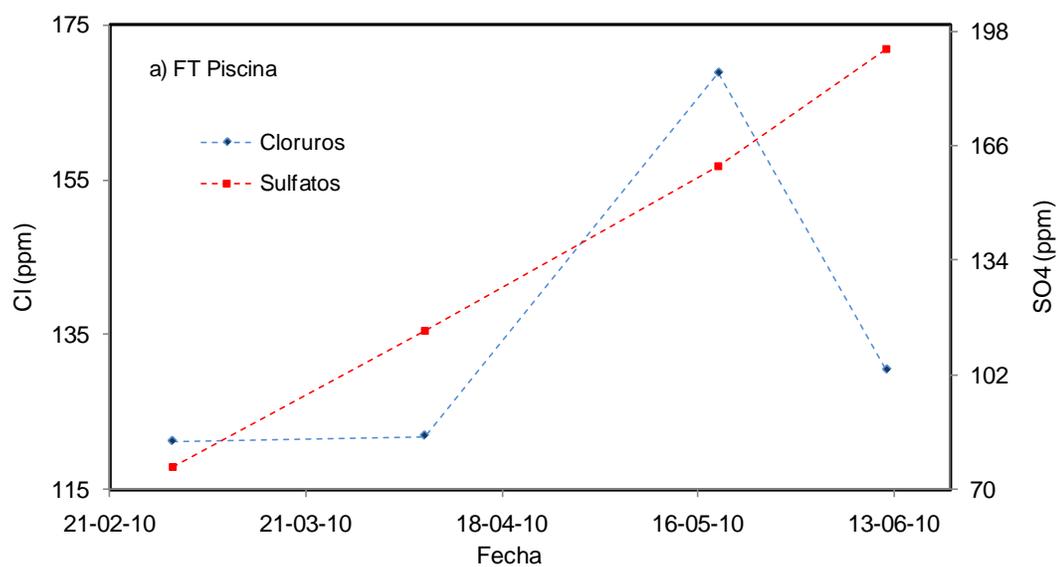


Figura 94. Variación en el contenido de aniones mayoritarios Fuentes Termales: a) PISCINA, b) ESTATUAS, Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.



Figura 95. Modo de muestreo Directo con Botellas de Giggenbach en la Fumarola La Macha. Volcán Cerro Machín.

La concentración molar de las especies gaseosas analizadas mostró algunos cambios (figura 96), de acuerdo a las medidas tomadas en el año 2009, se aprecia que el contenido de CO_2 disminuyó considerablemente ya que en promedio había presentado un 97% (medidas del 2009) y en las medidas de los meses de Marzo y Junio sus valores fueron del 38% y 58% respectivamente. Estos cambios pueden ser atribuidos a contaminación durante la evacuación de la muestra en el laboratorio, ya que la fumarola la Macha es una mofeta y sus concentraciones son cercanas al 99%, no obstante la descarga de gases manifestó un enriquecimiento en compuestos azufrados. En cuanto a la concentración de HCl esta se ha mantenido constante y su promedio durante las medidas realizadas fue del 0.43%.

La composición de las especies azufradas: St y SO_2 manifestaron un incremento significativo en su concentración durante las medidas realizadas en el 2010. El promedio para el contenido de St en las últimas medidas (2009) fue del 7% y en las muestras de Marzo y Junio del 2010 sus porcentajes estuvieron en el 56 y 37% respectivamente. El contenido de SO_2 en el mes de Abril fue del 82% y en el mes de Junio bajó al 55%. Los incrementos registrados en el 2010 pueden atribuirse a descargas puntuales durante el muestreo las cuales también están asociadas a las condiciones meteorológicas que pueden afectar la infiltración de agua meteórica y durante los procesos de evaporación hay mezclas con la composición general del agua en la descarga (figura 97).

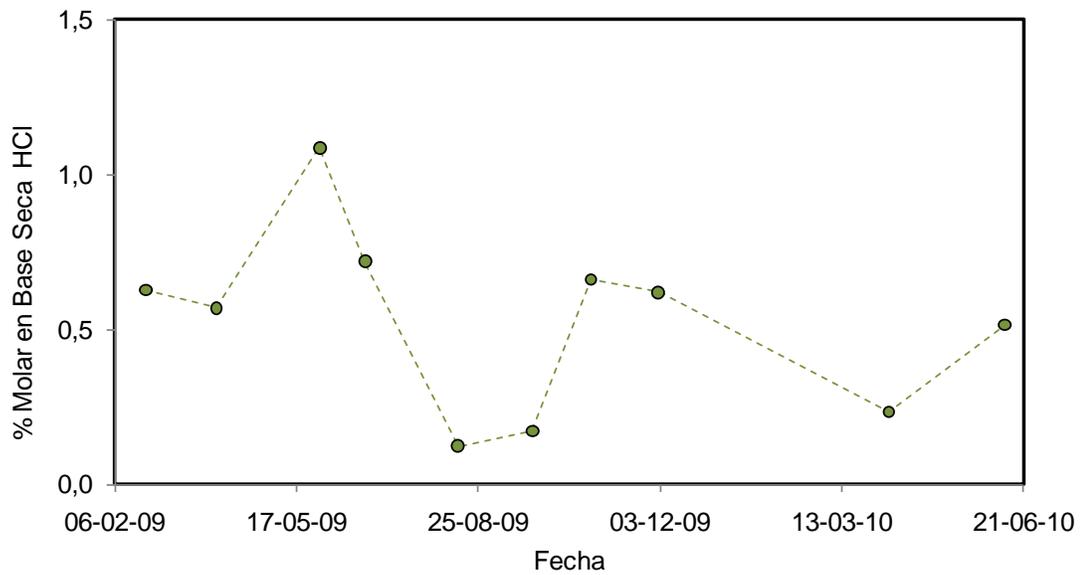
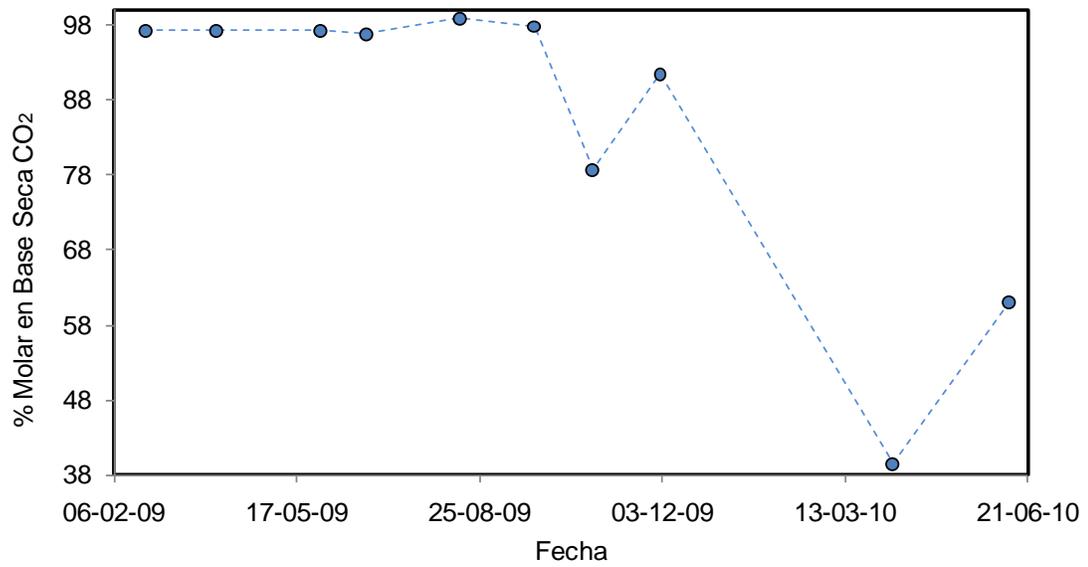


Figura 96. Variación en el contenido de Gases: CO₂ y HCl en la Fumarola LA MACHA. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.

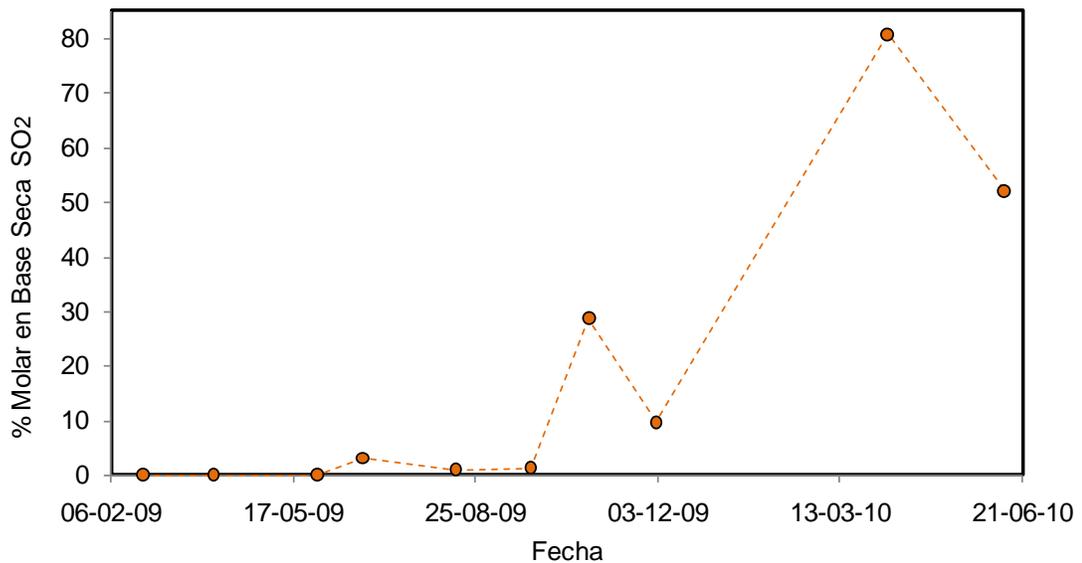
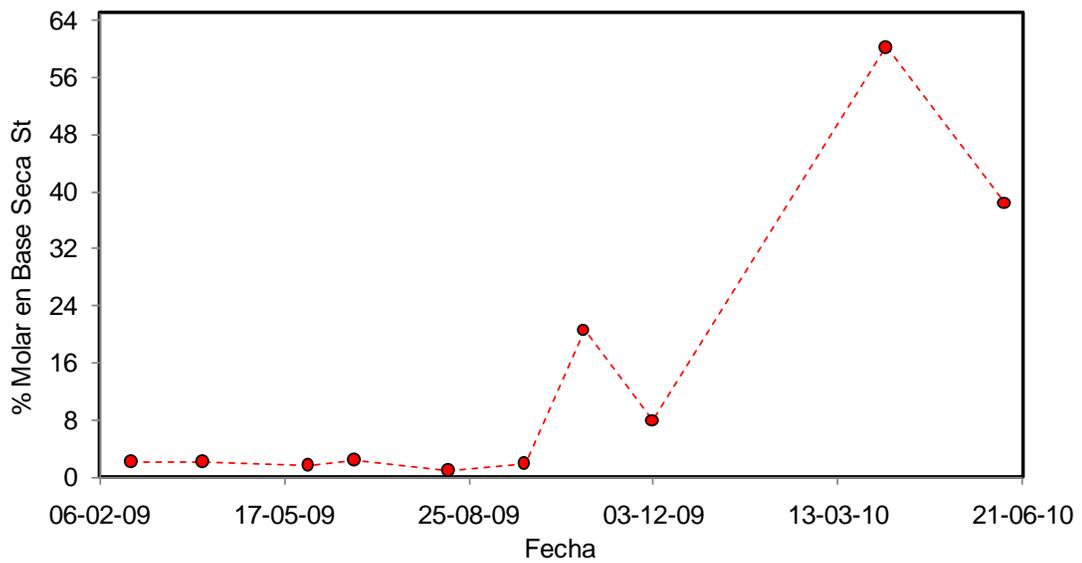


Figura 97. Variación en el contenido de Gases: St y SO₂ en la Fumarola LA MACHA. Volcán Cerro Machín. Primer Semestre de 2010.

3.5. DEFORMACIÓN.

En la figura 98 se aprecia la red de deformación del VCM después de ser optimizada en el primer semestre de 2010, la cual está constituida por cuatro inclinómetros electrónicos telemétricos (AGUASCALIENTES, ANILLO, LAGUNA y RODEO), cuatro inclinómetros secos (AGUASCALIENTES, EUCALIPTO, LAGUNA y LA SECRETA) y cuatro vectores de nivelación (DOMO, EUCALIPTO, LA SECRETA y RODEO). En la figura 99 se aprecia la red EDM del VCM la cual está constituida por tres bases EDM (ANILLO ALTO, LA PALMA y SAN

LORENZO) y 9 reflectores EDM (AGUACALIENTE ALTO, AGUACALIENTE BAJO, BRISAS-1, BRISAS-2, CIELO ROTO, EL PORVENIR, LA PALMA, PRIMAVERA y RODEO). Las estaciones están construidas sobre los anillos piroclásticos, sobre los relictos volcánicos y sobre los domos de lava, cubriendo todos los flancos del volcán

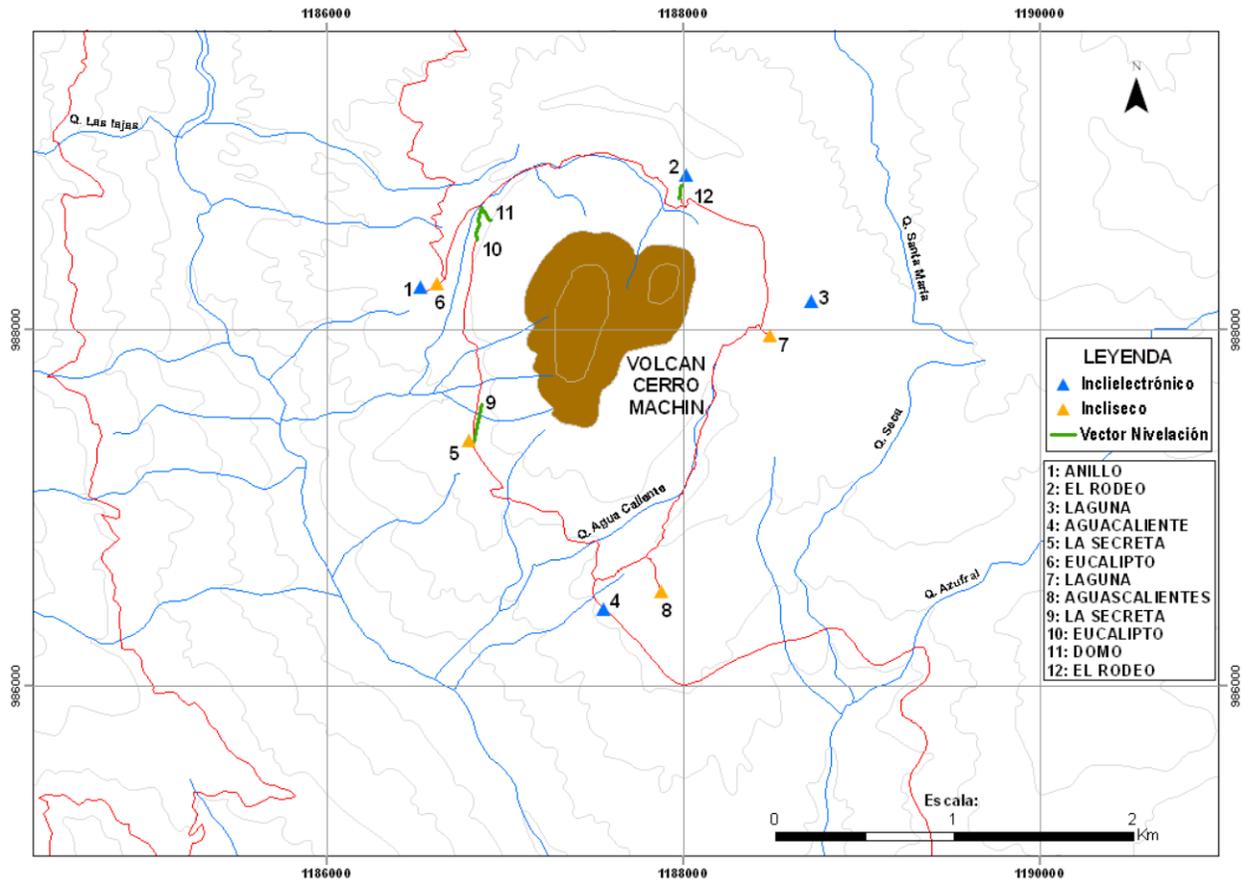


Figura 98. Red de deformación del VCM (Junio de 2010), mostrando la distribución de los inclinómetros electrónicos (triángulos azules), inclinómetros secos (triángulos naranja) y vectores de nivelación (líneas verdes).

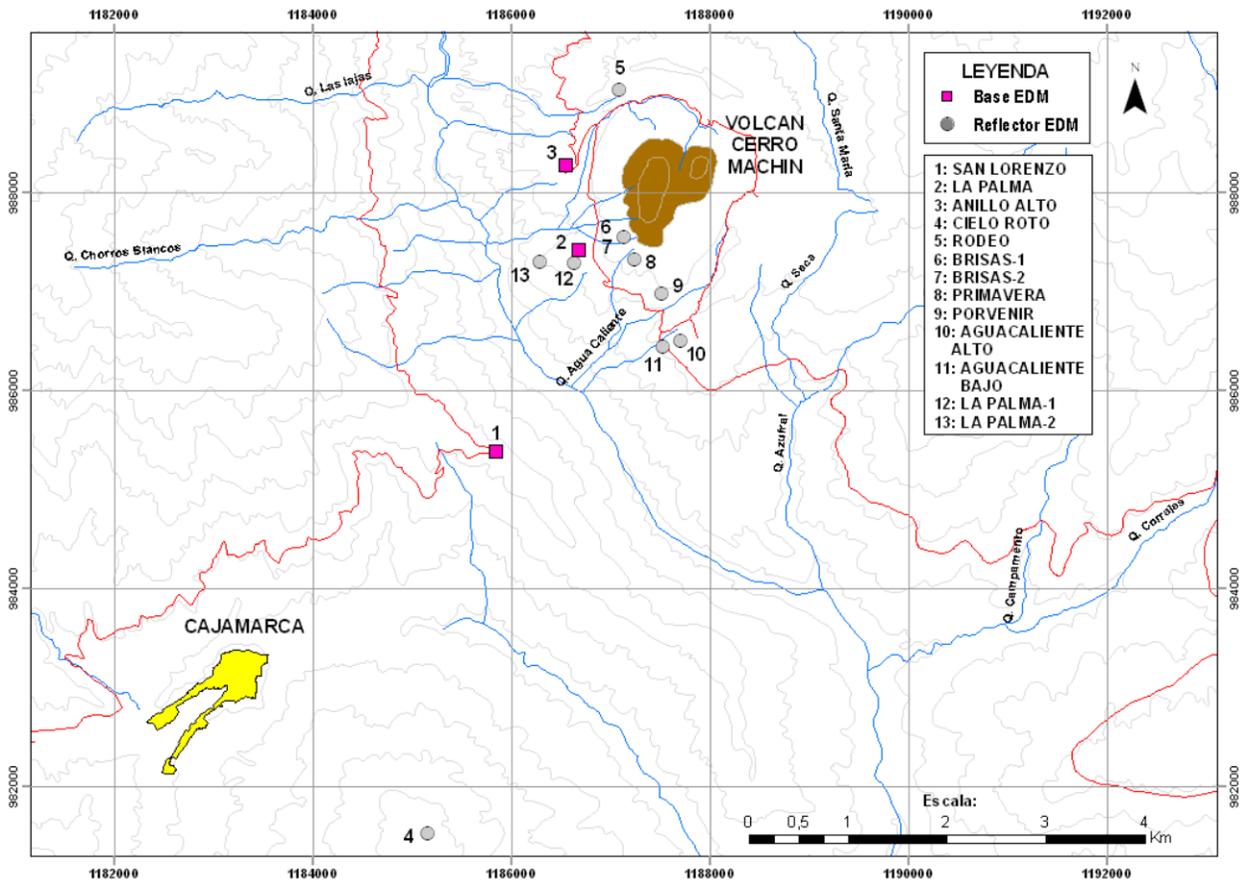


Figura 99. Red EDM del VCM (Junio de 2010), mostrando la distribución de las bases EDM (cuadros magenta) y de los reflectores EDM (círculos grises).

Durante el I semestre de 2010 se contó con el funcionamiento permanente de los 4 inclinómetros electrónicos instalados en el VCM. Algunas estaciones presentaron pequeños problemas electrónicos, los cuales fueron reparados oportunamente por el equipo de electrónica del OVSM.

En cuanto a las ocupaciones de campo, se realizaron 10 mediciones de control topográfico en los inclinómetros secos: Aguascalientes, Eucalipto, Laguna y La Secreta, así como en los vectores de nivelación: Domo, Eucalipto, Rodeo y La Secreta. Adicionalmente se realizaron 6 mediciones de las líneas EDM observadas a partir de las bases Anillo Alto, La Palma y San Lorenzo.

3.5.1 Comportamiento inclinómetros secos

3.5.1.1 Incliseco AGUASCALIENTES

La componente Este del incliseco Aguascalientes viene mostrando una tendencia inflacionaria desde Julio de 2007, con registro de un cambio acumulado de +20 μrad , mientras la componente Norte presenta algunas fluctuaciones y se mantiene estable (figura 100).

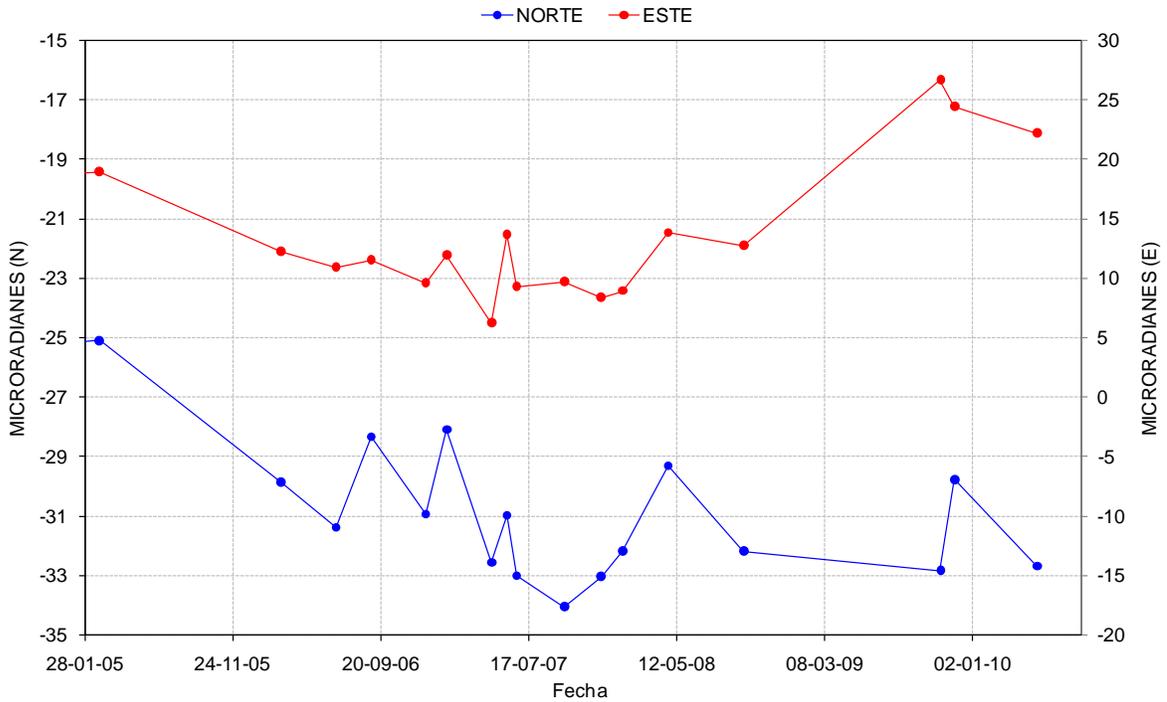


Figura 100. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el incliseco AGUASCALIENTES desde 2005 hasta Junio de 2010.

3.5.1.2 Incliseco EUCALIPTO

Esta estación continúa mostrando una marcada tendencia inflacionaria en las componentes Norte y Este desde 2006, con registro de cambios acumulados de +9 μrad y +10 μrad respectivamente (figura 101)

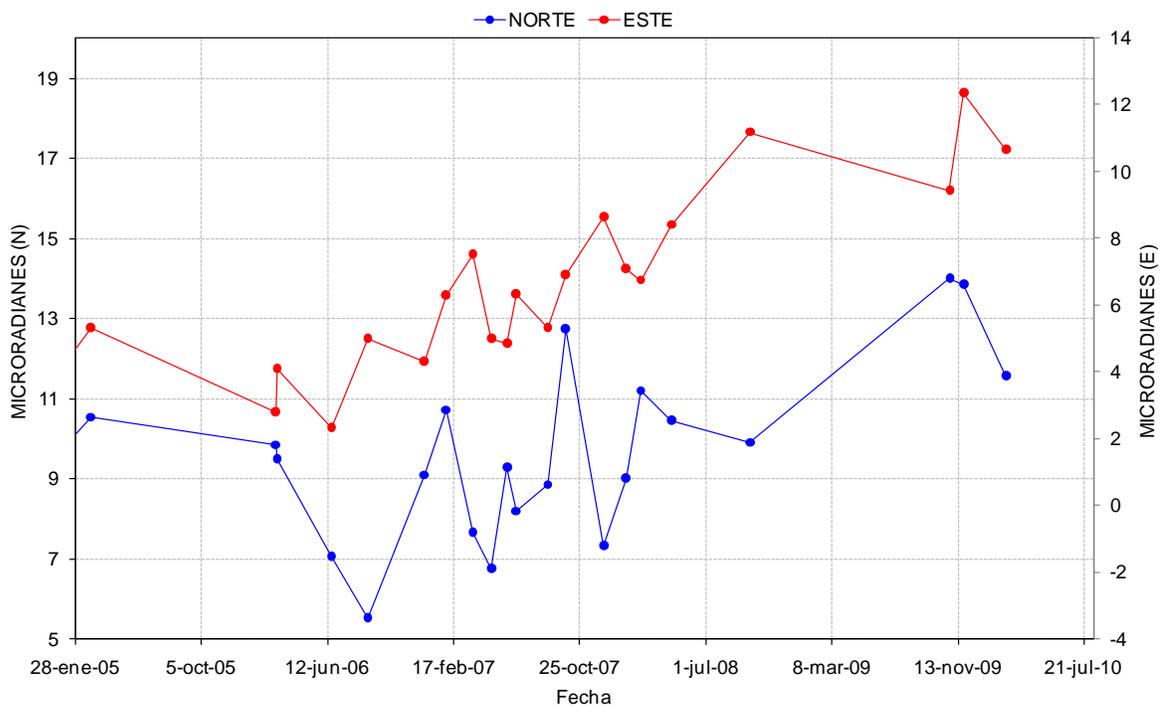


Figura 101. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro EUCALIPTO desde 2005 hasta Junio de 2010.

3.5.1.3 Inclinómetro Seco Laguna

Esta estación muestra desde Julio de 2007 una tendencia inflacionaria en las componentes Norte y Este, con registro de cambios acumulados de +5 μrad y +16 μrad respectivamente (figura 102)

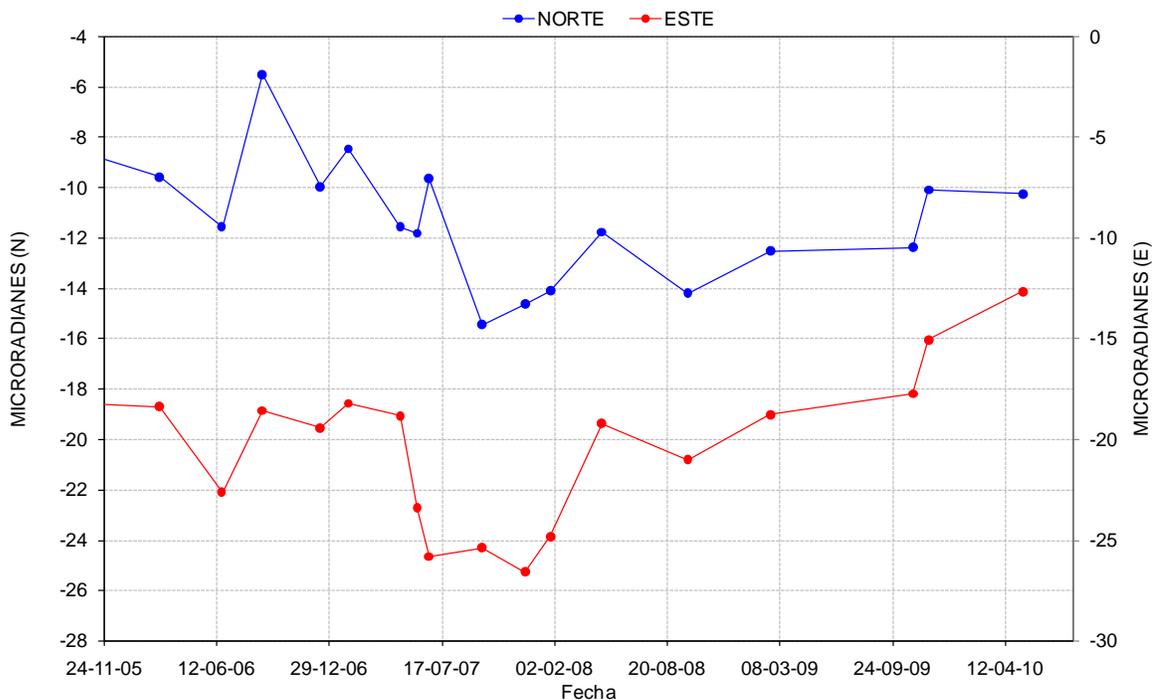


Figura 102. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinico La Laguna desde 2005 hasta Junio de 2010.

3.5.1.4 Inclinico LA SECRETA

Desde su Instalación en 1987 el inclinico LA SECRETA ha venido manifestando un comportamiento inflacionario en la componente Norte y un comportamiento deflacionario en la componente Este, registrado hasta Junio de 2010 un cambio acumulado de +410 μrad y de -537 μrad respectivamente (figura 103).

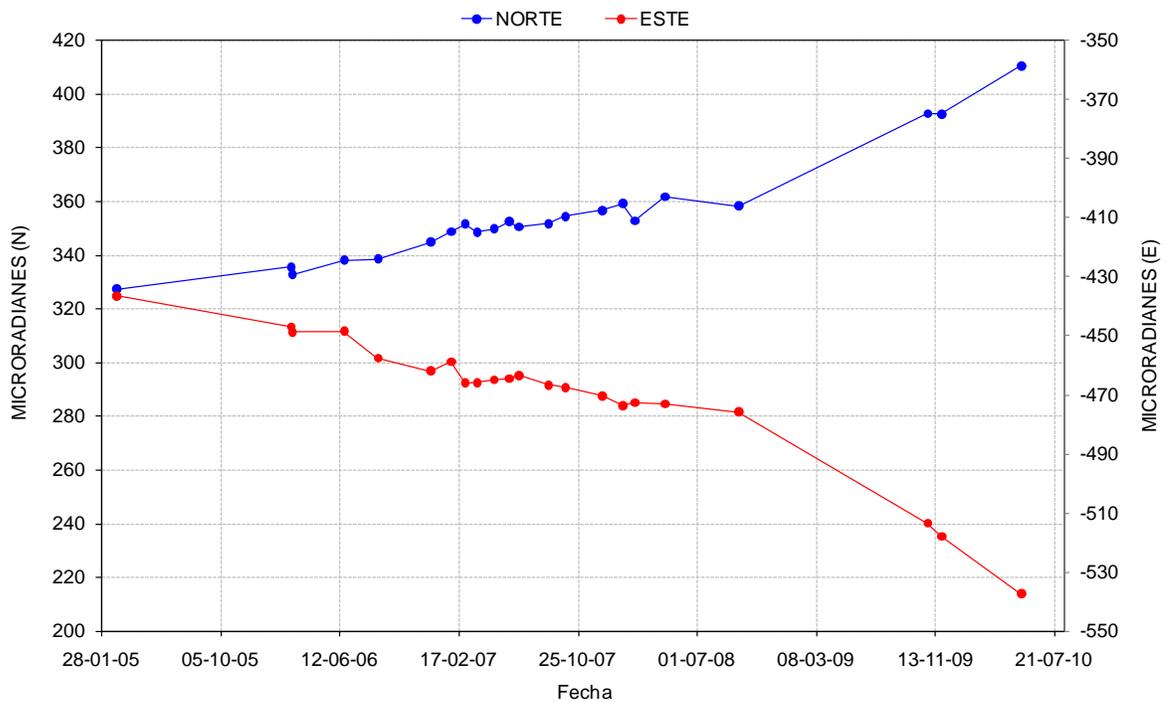


Figura 103. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro La SECRETA desde 2005 hasta Junio de 2010.

3.5.2 Comportamiento vectores de nivelación

3.5.2.1 Vector de nivelación DOMO

Esta estación ha mostrado una clara tendencia inflacionaria desde su instalación en 2007 con registro de un cambio vertical acumulado de 4 mm hasta Junio de 2010 (figura 104).

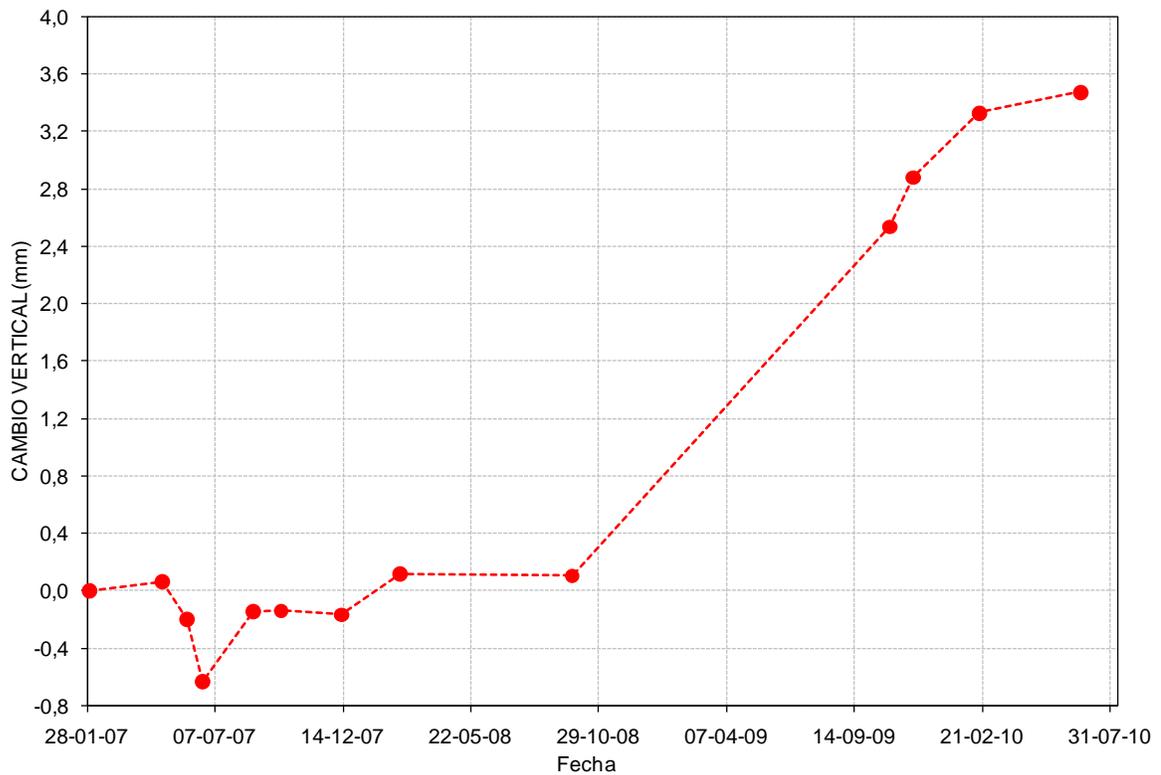


Figura 104. Comportamiento acumulado del vector de nivelación DOMO desde 2007 hasta Junio de 2010.

3.5.2.2 Vector de nivelación El Rodeo

En general el comportamiento de este vector se ha caracterizado por mostrar datos muy fluctuantes dentro de un rango de variación de 1mm, sin embargo las mediciones realizadas desde 2008 muestran un comportamiento muy estable (Figura. 105)

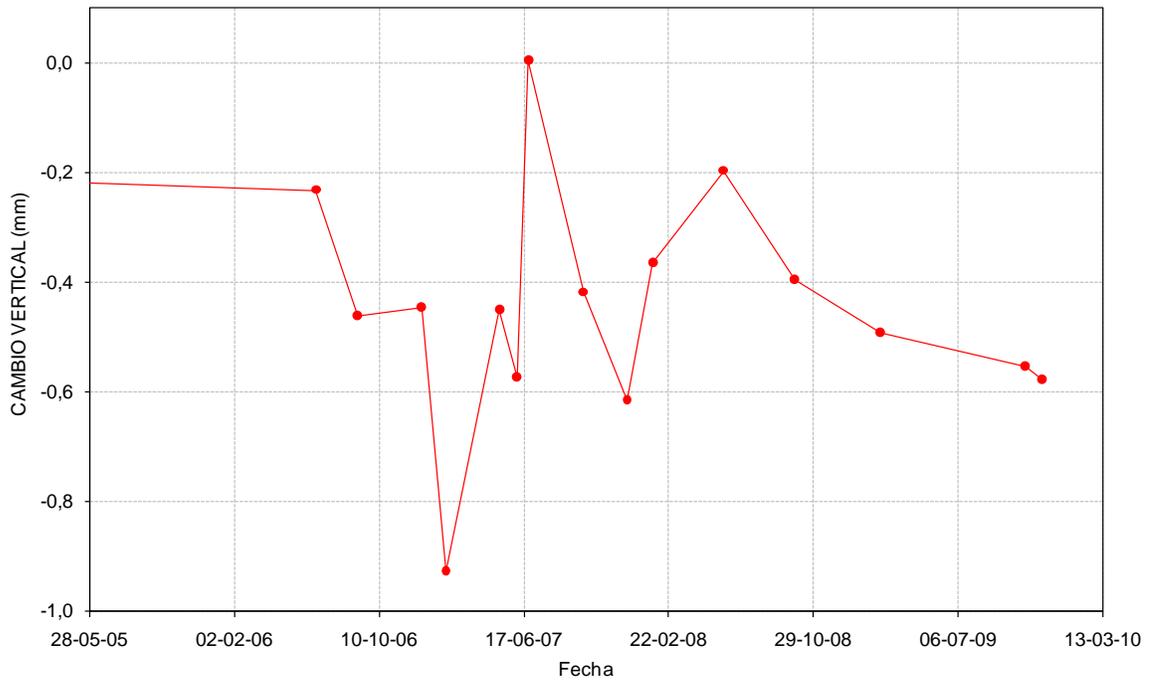
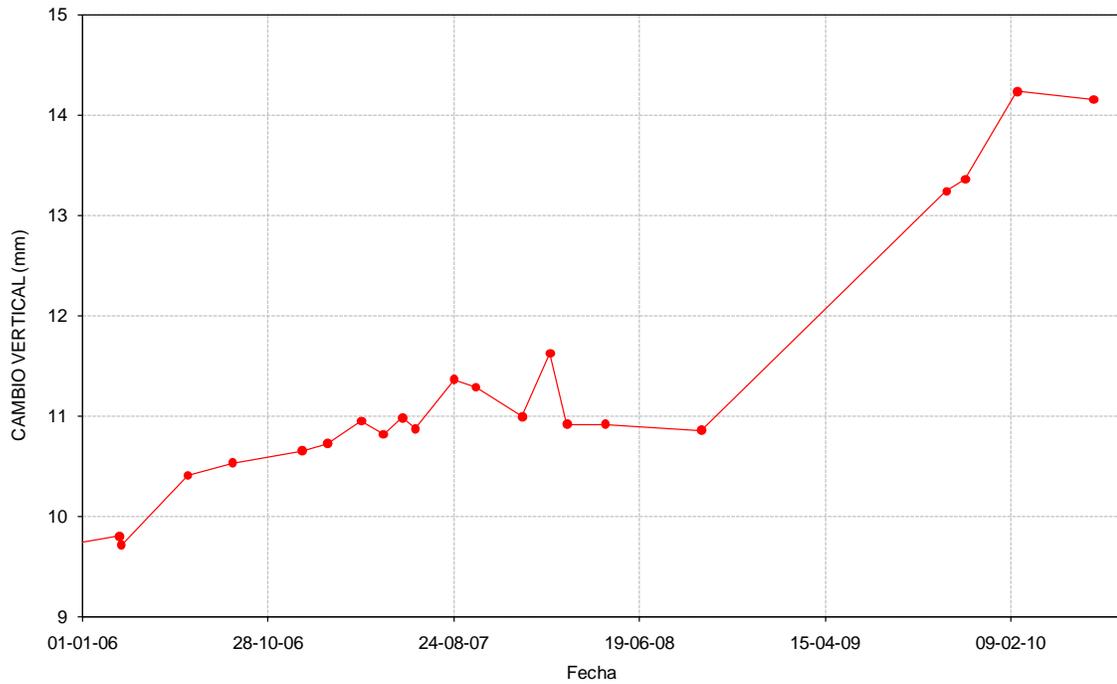


Figura 105. Comportamiento acumulado del vector de nivelación El RODEO desde 2005 hasta Junio de 2010.

3.5.2.3 Vector de nivelación EUCALIPTO

El vector Eucalipto desde su instalación en 1989 ha venido mostrando un claro comportamiento Inflacionario que se mantiene hasta Junio de 2010, con registro de un cambio vertical acumulado de 15 mm (figura 106).



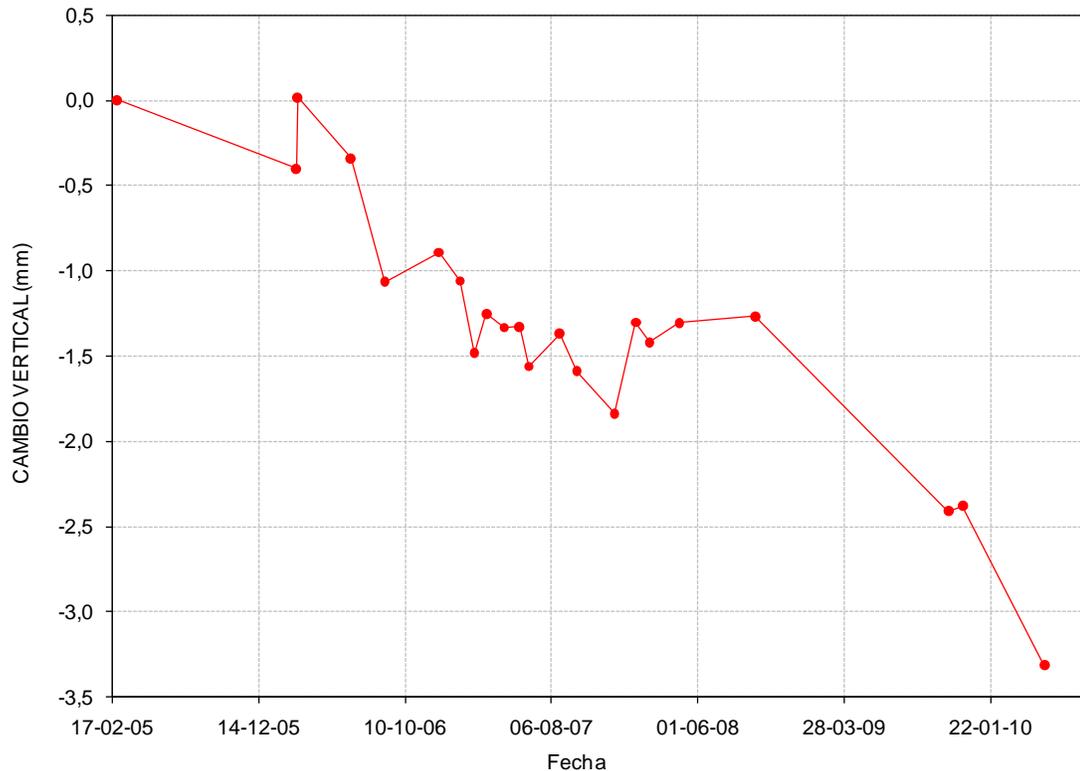


Figura 107. Comportamiento acumulado del vector de nivelación la SECRETA desde 2005 hasta Junio de 2010.

3.5.3 Comportamiento inclinómetros electrónicos

En el VCM se tienen instalados 4 inclinómetros electrónicos de plataforma nivelante de 2 ejes, provisto de un sensor de temperatura. Cada estación de inclinometría cuenta con un sistema de alimentación (batería y panel solar), una tarjeta digitalizadora para el registro de los cambios de voltaje asociados a los cambios de inclinación, y un sistema telemétrico (radio y antena de transmisión). 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 del sensor, y cambios positivos se asocian con inclinaciones negativas.

3.5.3.1 Inclinómetro electrónico AGUASCALIENTES

El comportamiento del inclinómetro Aguascalientes durante el primer semestre de 2010 continuó mostrando grandes fluctuaciones y un comportamiento cíclico. La componente Este mantiene la tendencia descendente, mientras que la componente Norte cambio a ser ascendente (figura 108).

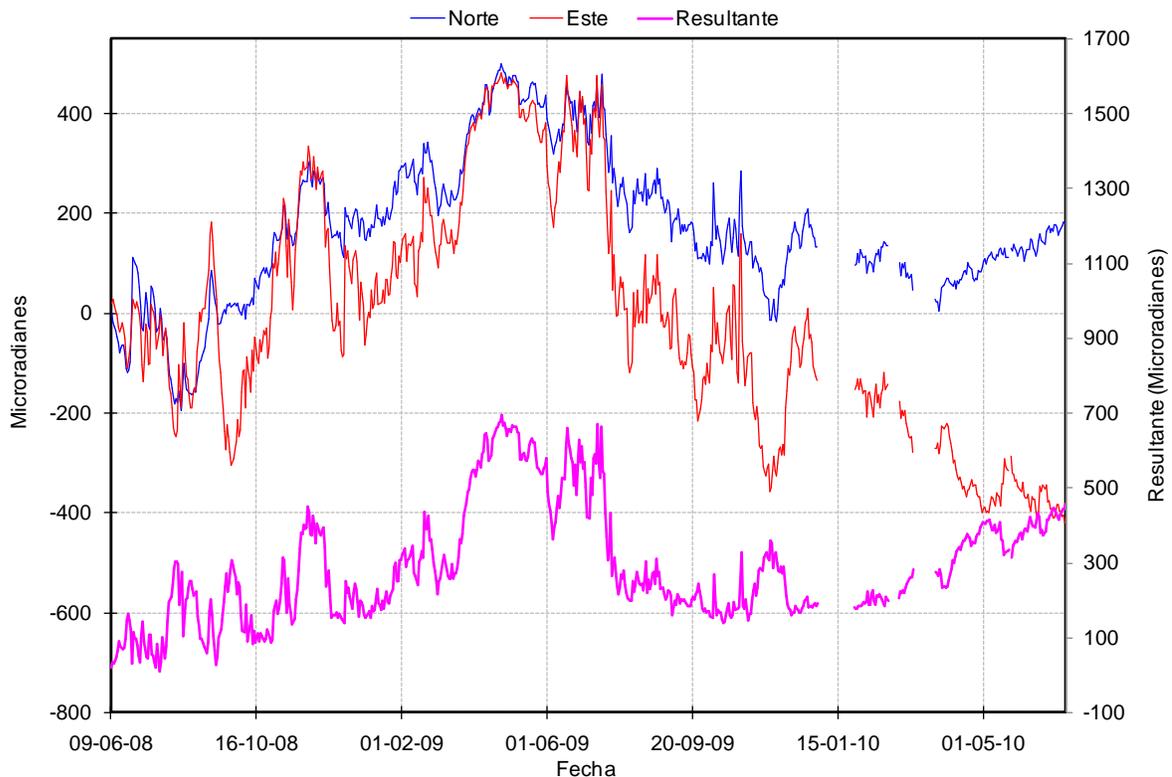


Figura 108. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico AGUASCALIENTES durante en el I semestre de 2010.

3.5.3.2 Inclinómetro Electrónico ANILLO

El comportamiento del inclinómetro Anillo durante el I semestre de 2010 presentó algunos problemas como consecuencia de la fijación del sensor a la roca volcánica con cemento epóxico, lo cual generó que su comportamiento cambiara drásticamente hacia una tendencia inflacionaria y presentara grandes fluctuaciones. En Abril de 2010 se solucionaron los problemas reinstalando el sensor de la forma tradicional con lo cual se recuperó su estabilidad y a partir de esa fecha su comportamiento continuó mostrando la tendencia deflacionaria hacia el SW del volcán que lo ha caracterizado, registrando grandes inclinaciones con cambios acumulados de $-70 \mu\text{rad}$ y $-40 \mu\text{rad}$ en las componentes Norte y Este respectivamente (figura 109).

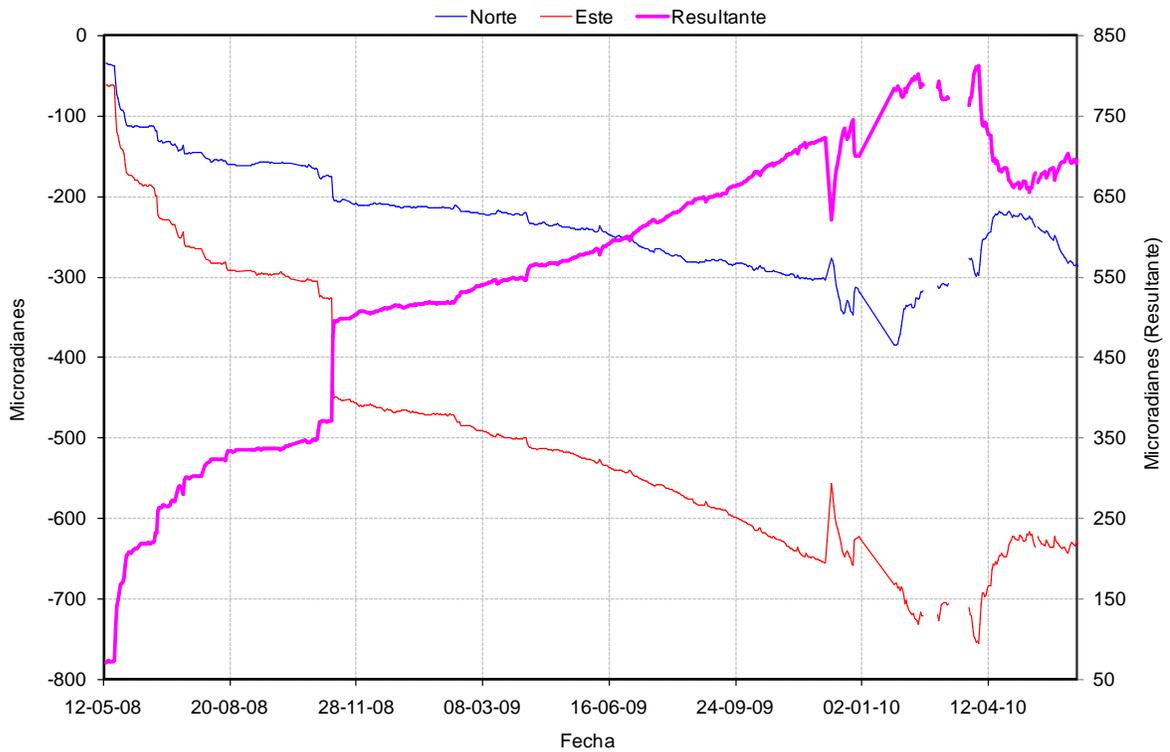


Figura 109. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Anillo durante el I semestre de 2010.

3.5.3.3 Inclinómetro electrónico LAGUNA

El inclinómetro LAGUNA funcionó hasta el 20 de Abril de 2010, fecha en la cual fue retirado de operación debido a los constantes problemas de transmisión. Durante el periodo Enero-Abril de 2010 su comportamiento fue de estabilidad (figura 110).

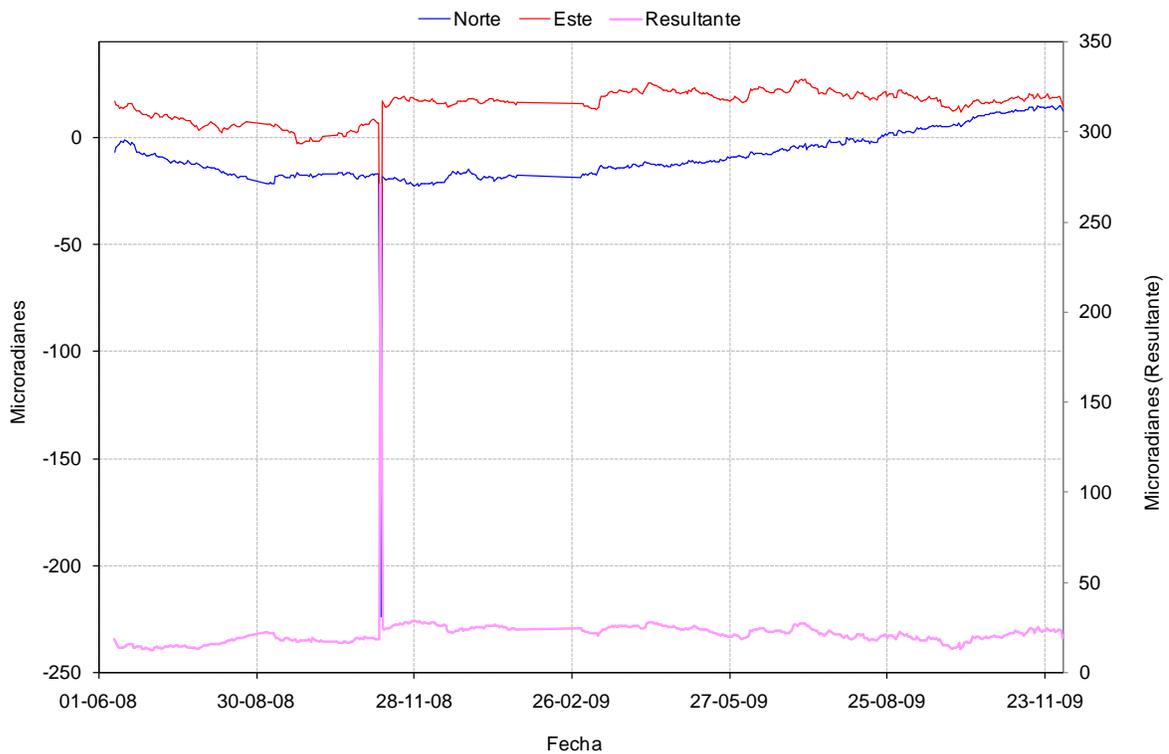


Figura 110. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Laguna durante en el I semestre del 2010.

3.5.3.4 Inclinómetro electrónico RODEO

El inclinómetro RODEO continuó mostrando fluctuaciones, las cuales son más marcadas en la componente Norte. Su comportamiento muestra deflación hacia el SW, con registro de cambios acumulados de $-120 \mu\text{rad}$ y $-72 \mu\text{rad}$ en las componentes Norte y Este respectivamente (figura 111).

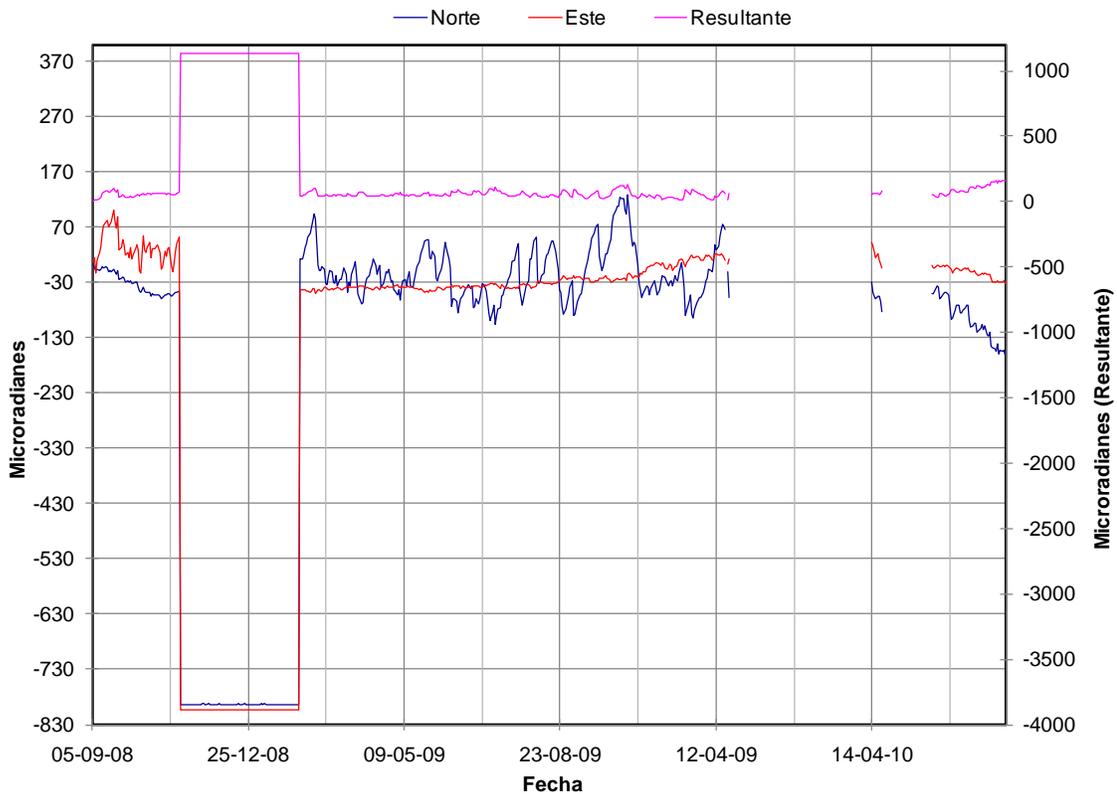


Figura 111. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y la Resultante del inclinómetro electrónico El RODEO durante en el primer semestre del 2010.

3.5.4 Comportamiento de las líneas EDM

Durante el I semestre de 2010 se optimizó la red EDM del VCM, reemplazando todos los reflectores de la red, los cuales presentaban problemas de reflectividad. Adicionalmente, se realizó un reforzamiento estructural de algunas pilastras.

En cuanto a las mediciones de control topográfico, se realizaron 6 mediciones de los reflectores EDM del VCM a partir de las bases EDM SAN LORENZO, ANILLO ALTO y LA PALMA.

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 desde su instalación el 15 de Octubre de 2008 (figura 112). El comportamiento de las líneas EDM observadas desde las bases ANILLO ALTO y LA PALMA, muestra el proceso de estabilización.

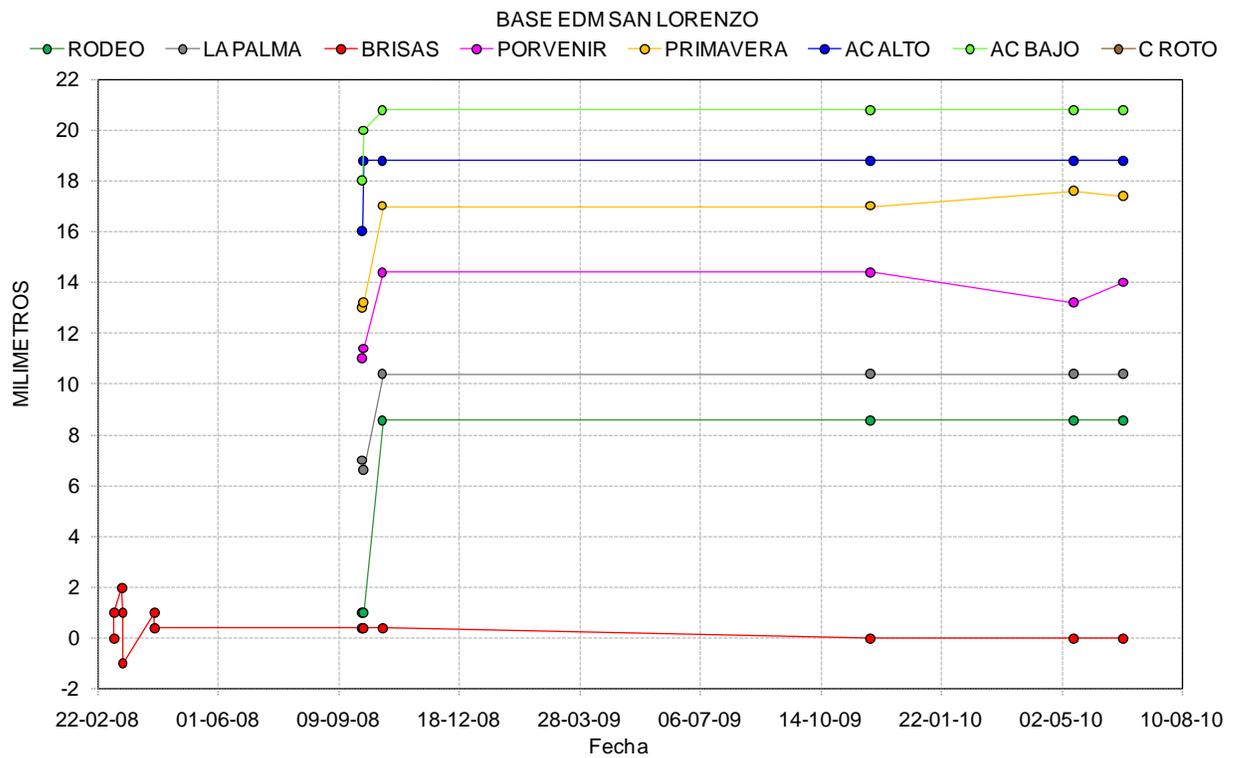


Figura 112. Comportamiento de los reflectores AGUACALIENTE-ALTO, AGUACALIENTE-BAJO, BRISAS, CIELO ROTO, LA PALMA, PORVENIR, PRIMAVERA y RODEO durante el I semestre de 2010.

4 VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)

4.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre del 2010 las estaciones de la red de vigilancia del Volcán Cerro Bravo presentaron, en general, un buen funcionamiento. Las estaciones sismológicas tuvieron un funcionamiento normal, aunque con algunas interferencias y ruidos que no afectaron de manera importante la vigilancia volcánica.

4.1.1 Mantenimiento estaciones Corto periodo

El 09 de junio se visitó la estación sismológica triaxial de corto período CERRO BRAVO (figura 113), en la que se hicieron trabajos de revisión y mantenimiento, tareas de calibración, cambio y arreglo de conectores de antena que estaban en mal estado y generando ruido. Se realizaron pruebas de calibración y pruebas de alta y baja frecuencia con el sensor.

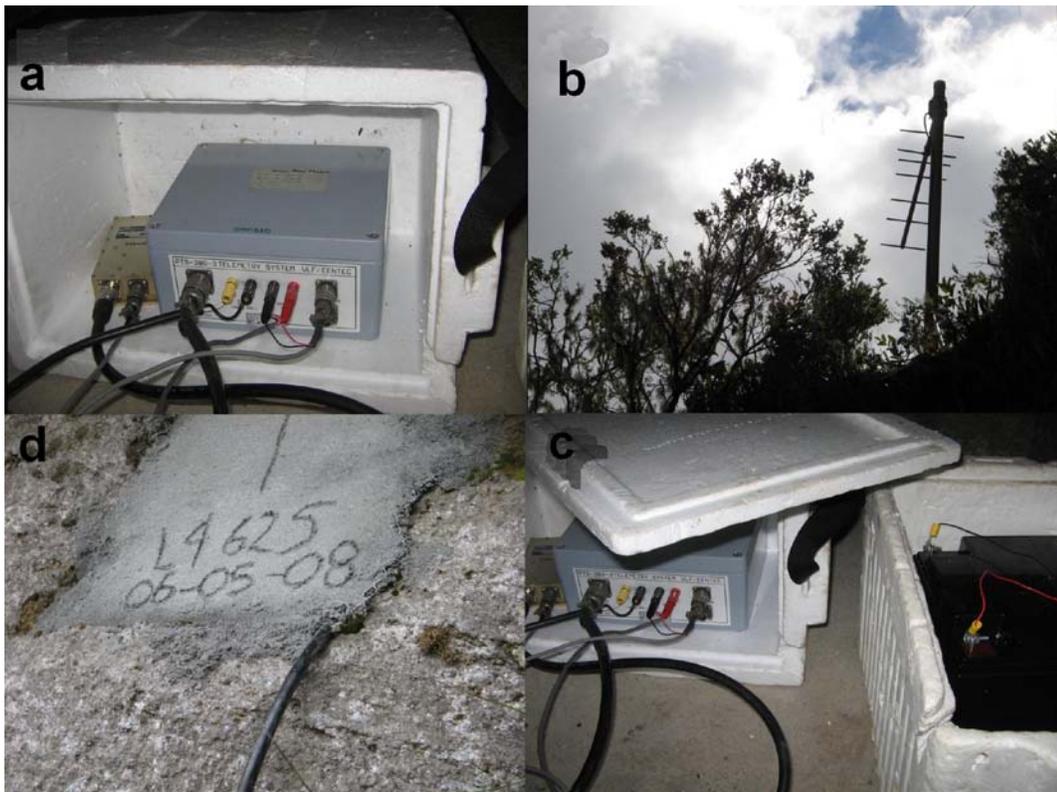


Figura 113. a) Radio y VCO. b) Antena. c) Sensor incrustado en la roca. d) sistema eléctrico y electrónico.

La estación sismológica de corto periodo CAJONES carecía de panel solar, razón por la cual transmitía señal al OVSM sólo mientras los niveles de la batería estuvieran en óptimas condiciones. Una vez que los niveles de batería estuvieran por debajo de los niveles mínimos de operación de los módulos de la estación, se interrumpía el funcionamiento de la misma. Para solucionar este problema, la estación fue movida de su ubicación original el 09 de julio, siendo reinstalada en otro sitio cercano, donde pudo conectarse un panel solar asegurado en una base

de concreto para evitar el hurto del mismo. Se realizaron pruebas de calibración y pruebas de alta y baja frecuencia con el sensor. La estación desde ese momento presenta funcionamiento normal (figuras 114 y 115)



Figura 114. Antigua estación de corto periodo de CAJONES



Figura 115. Instalaciones del nuevo sitio para la estación de corto periodo CAJONES

4.2 SISMOLOGÍA

El Volcán Cerro Bravo (VCB) durante el primer semestre de 2010 presentó un nivel bajo de actividad sísmica. En total se registraron 13 eventos sísmicos de los cuales 2 eventos fueron asociados a fracturamiento de roca dentro del edificio volcánico (Tipo VT) con una magnitud máxima de 1.2 en la escala de Richter y 11 relacionados con el tránsito de gases y fluidos al interior de los conductos volcánicos (Tipo LP), con una magnitud máxima de 2.4 en la escala de Richter, correspondiente a la máxima magnitud registrada del semestre el día 3 de Junio. Las figuras 116, 117 y 118 muestran la red de vigilancia sísmica en el Volcán Cerro Bravo, la energía y el número de sismos diarios registrados durante el semestre.

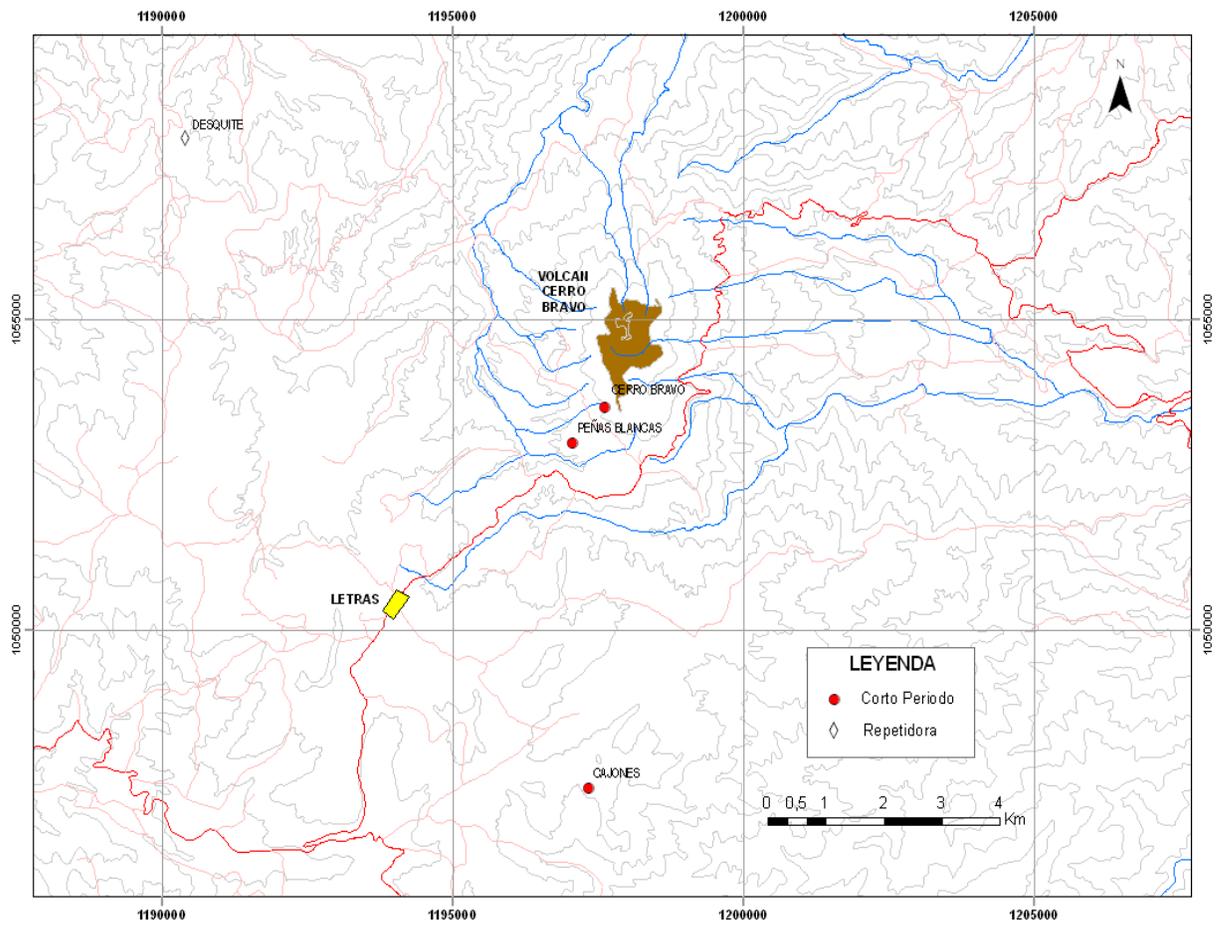


Figura 116. Red sísmológica Volcán Cerro Bravo. Primer semestre 2010

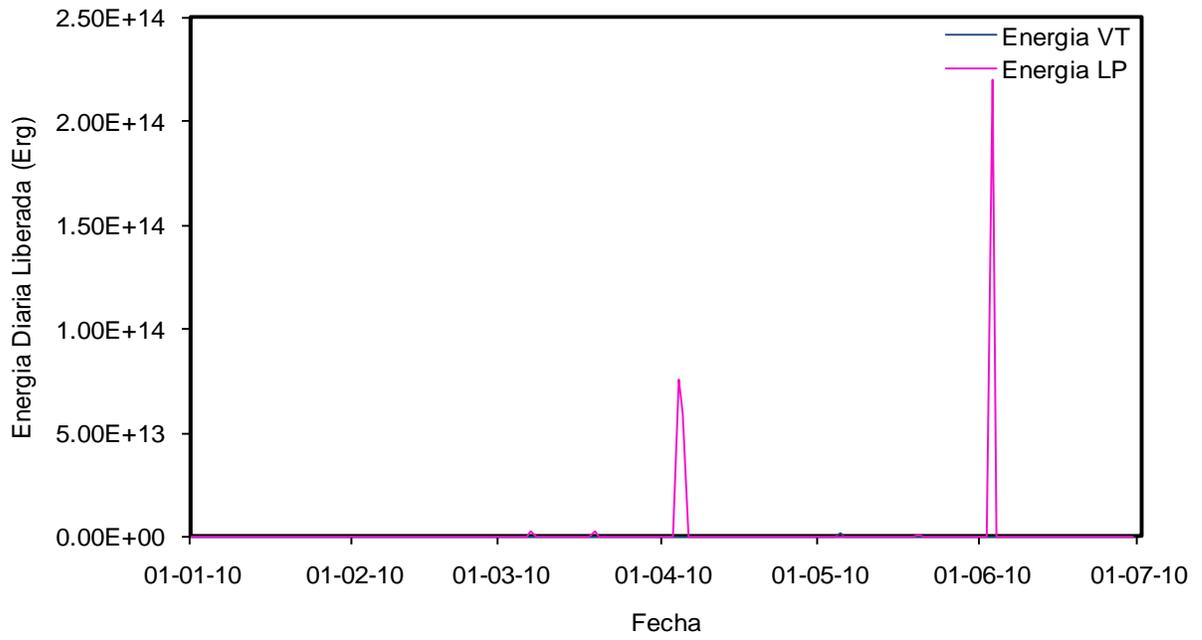


Figura 117. Energía sísmica diaria liberada por el VCB, primer semestre 2010

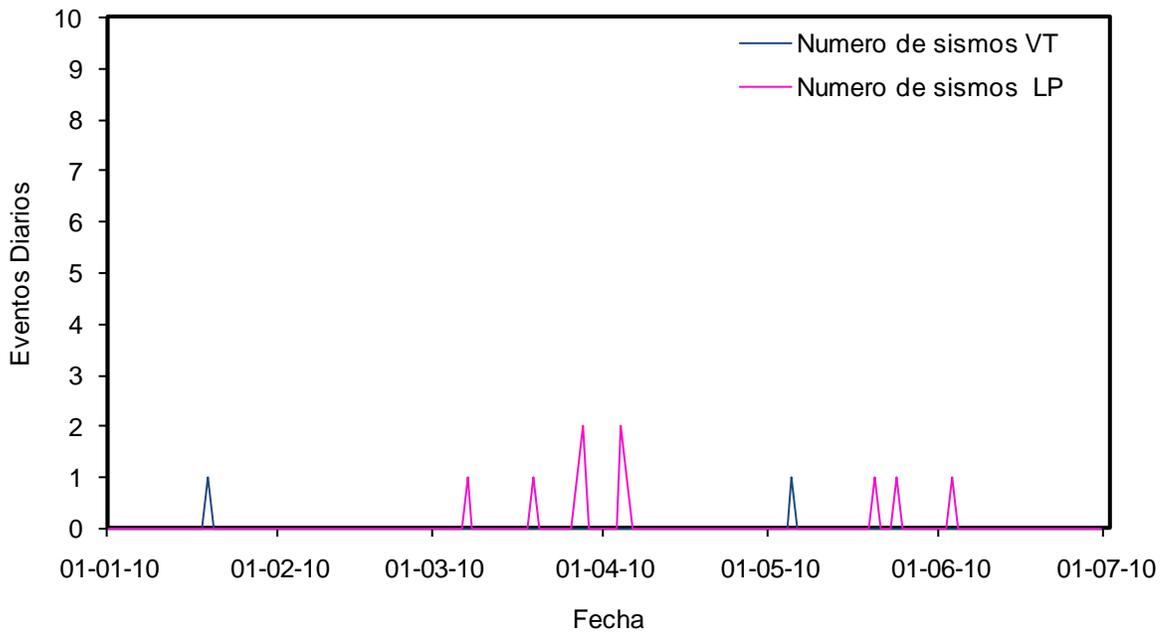


Figura 118. Número de sismos diarios ocurridos en el VCB, primer semestre de 2010

4.3 GEOQUÍMICA

En la figura 119 se aprecia la red de geoquímica del VCB (Junio de 2010), la cual está constituida por dos estaciones de gas Radón (CERRO BRAVO 1, CERRO BRAVO 2).

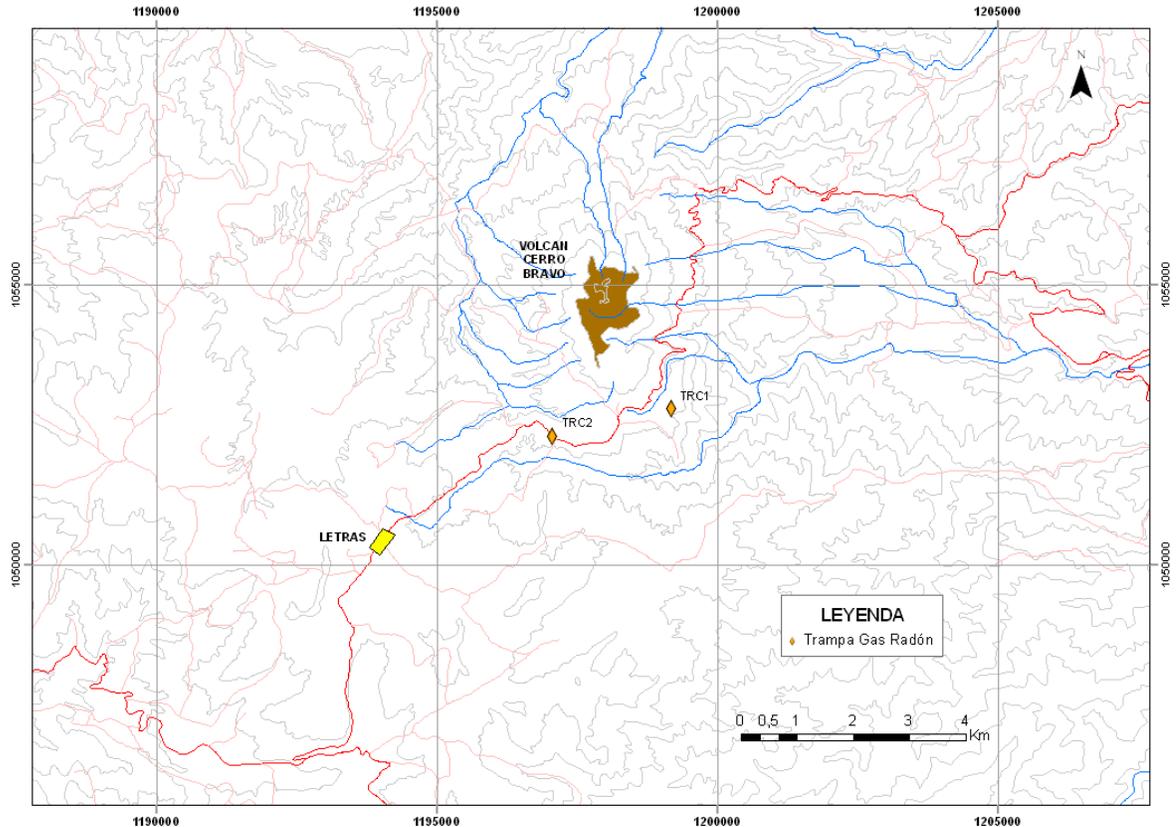


Figura 119. Red geoquímica Volcán Cerro Bravo

4.3.1 Medidas de Gas Radón.

Durante el primer semestre de 2010 se realizó monitoreo periódico en las estaciones de gas radón CERRO BRAVO 1 y CERRO BRAVO 2. Los resultados del análisis de gas difuso mostraron que los valores en la concentración radón en CERRO BRAVO 1 presentaron estabilidad, aunque se presentó un pico anómalo el mes de Marzo con un registro de 1678.92 pCi/L y su promedio en general fue de 59.35 pCi/L. La estación CERRO BRAVO 2 presentó en promedio una concentración de 87.47 pCi/L en sus emisiones durante el primer semestre del 2010. Solo se presentó un incremento el mes de Mayo en donde alcanzó un registro de 170.67 pCi/L (figura 120).

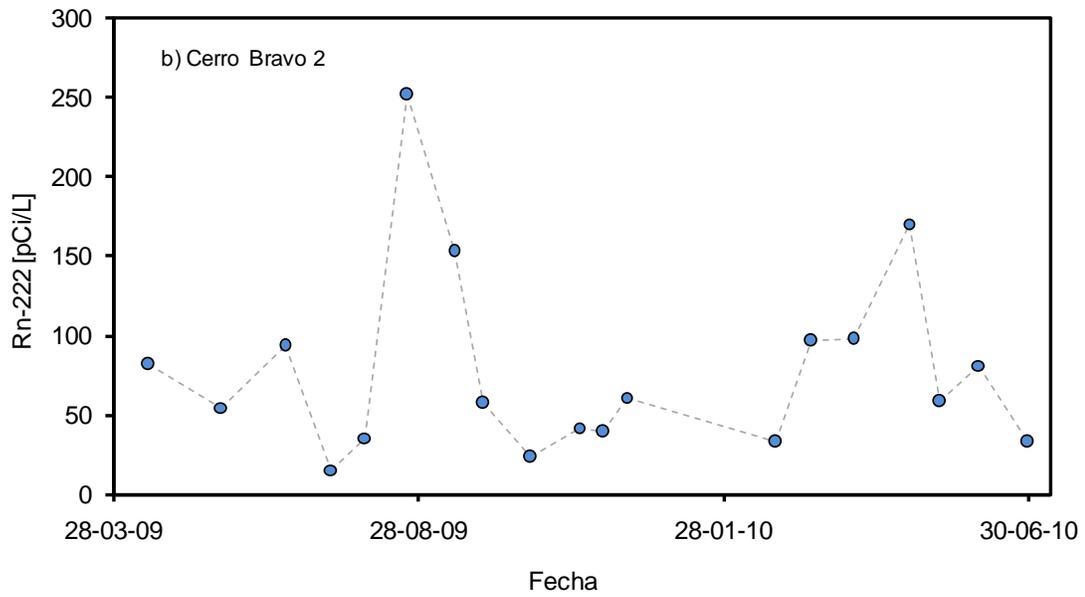
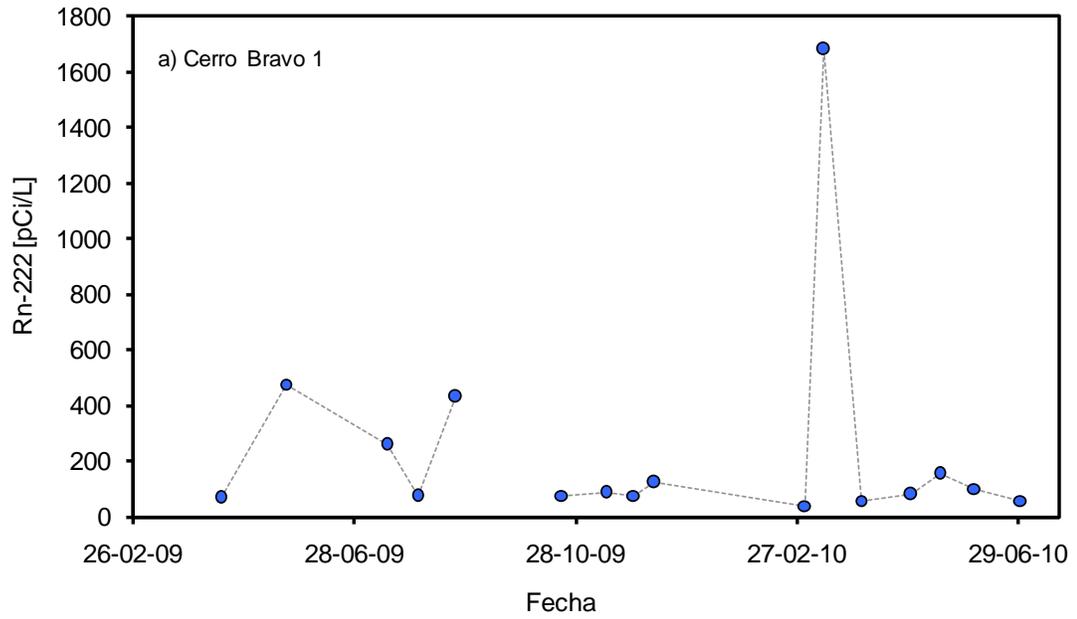


Figura 120. Variación de los Niveles de Radón en suelo. Estaciones a) CERRO BRAVO 1, CERRO BRAVO 2. Volcán Cerro Bravo. Primer Semestre de 2010.

5 VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VPSR)

5.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre del 2010 las estaciones de la red de vigilancia del Paramillo de Santa Rosa presentaron, en general, un buen funcionamiento. La estación sismológica tuvo un funcionamiento normal, aunque con algunas interferencias y ruidos que no afectaron de manera importante la vigilancia volcánica.

5.2 SISMOLOGÍA

El Paramillo de Santa Rosa no mostró actividad sísmica durante el primer semestre de 2010.

6 PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ)

6.1 RED DE VIGILANCIA

Durante el primer semestre del 2010 las estaciones de la red de vigilancia del Paramillo del Quindío presentaron, en general, un buen funcionamiento.

6.2. SISMOLOGÍA

El Paramillo del Quindío no mostró actividad sísmica durante el primer semestre de 2010. A lo largo de este período de tiempo no se registraron señales sísmicas en el interior del Volcán.

7. ACTIVIDAD SÍSMICA REGIONAL

En cuanto a la actividad sísmica asociada con fracturas y fallas en la región central de Colombia, durante el primer semestre de 2010 estuvo caracterizada por la ocurrencia de 1217 eventos sísmicos de carácter local, con una magnitud máxima registrada en la escala de Richter de 4.72, registrado el día 29 de Enero a las 12:52 y localizado en Argelia (Valle). Estos eventos se localizaron en las siguientes zonas:

Cordillera Occidental, Armenia, (4) Romeral, Ibagué, Anzoategui - Alvarado y sector Honda – Pulí. La figura 121 muestra la localización epicentral de los sismos de carácter tectónico, registrados por las estaciones del CVCBCM durante el primer semestre de 2010.

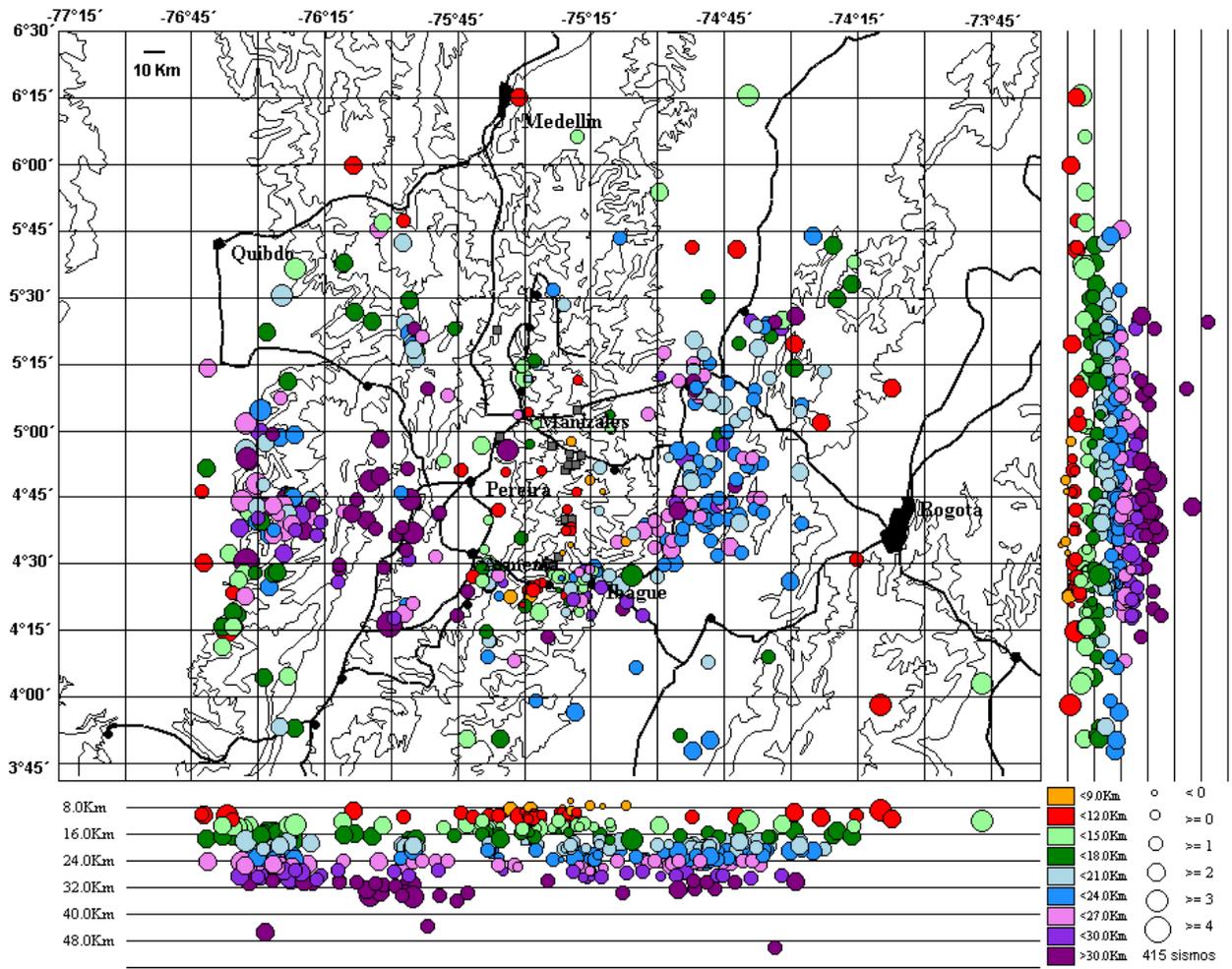


Figura 121. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el primer semestre de 2010.

CONCLUSIONES

- ✓ La actividad sísmica de los volcanes del CVCMCB durante el primer semestre de 2010, se mantuvo en términos generales en niveles estables. Sin embargo, se resalta los diferentes incrementos en la actividad sísmica durante el semestre en los Volcanes Cerro Machín y el Volcán Nevado del Ruiz
- ✓ 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 (Tipo VT), entre los cuales se destaca el ocurrido el día 31 de Marzo el cual alcanzó una magnitud máxima de 2.38 en la escala de Richter.
- ✓ El monitoreo geoquímico que se realizó en el Primer Semestre del 2010 en el CVCMCB muestra que se han presentado variaciones importantes en los parámetros fisicoquímicos y en la composición química de las aguas, especialmente las FT del VNR. Los cambios que se presentaron en las FT del VNR pueden ser atribuidos a una posible mezcla con recarga de agua meteórica de circulación profunda o a posibles interacciones fluido-roca que pueden afectar la composición química de aniones y cationes, lo cual es muy probable dada la acidez de las fuentes termales.
- ✓ La concentración de gases provenientes de las descargas fumarólicas presentaron algunas fluctuaciones durante el periodo de muestreo en trampas alcalinas, ya que la absorción de los gases depende de la capacidad de absorción de la solución alcalina y de la dirección y velocidad del viento. La capacidad de absorción de la solución alcalina utilizada en la trampa disminuye con el tiempo, por lo tanto este parámetro debe ser en lo posible periódico, en este caso el tiempo osciló entre 22 y 27 días.
- ✓ Las estaciones SCAN DOAS funcionaron de manera correcta durante todo el primer Semestre del 2010, se logró obtener un buen número de escaneos con pluma lo cual permitió la cuantificación y análisis de flujo de SO₂.
- ✓ Las estaciones para el monitoreo de gas Radón en el VCM funcionaron de manera correcta, se realizaron mediciones periódicas que permitieron establecer las variaciones presentadas en algunas estaciones, lo cual permitió establecer su relación con la sismicidad volcano-tectónica en inmediaciones del Volcán.
- ✓ Las mediciones de deformación en los volcanes CB, NR y CM se vienen realizando periódicamente desde 1985 utilizando la técnica de nivelación de precisión (inclinometría seca y vectores de nivelación). A partir de 2007 se inició la implementación de las técnicas de inclinometría electrónica y medición electrónica de distancias (EDM). En general todas las estaciones de la red de deformación de los volcanes NR y CB mantienen estabilidad sin registrar cambios de inclinación de la superficie volcánica
- ✓ En el VCM 6 estaciones de la red de deformación están construidas sobre los anillos piroclásticos del volcán y 2 estaciones sobre los domos volcánicos. Los resultados del análisis de los datos recolectados durante el I semestre de 2010, muestran que las estaciones construidas sobre los anillos piroclásticos del Volcán Cerro Machín, mantienen un constante comportamiento deflacionario y las estaciones construidas sobre los domos muestran una tendencia inflacionaria. El proceso deformativo más

representativo se registra en el sector sur occidental del volcán, donde los anillos piroclásticos están rotos. El inclinómetro seco y el vector La SECRETA, así como el inclinómetro electrónico ANILLO ubicados en este sector, mantienen una constante tendencia deflacionaria con registro de cambios acumulados significativos. El inclinómetro electrónico EI RODEO ubicado en el sector NE del VCM, empezó a mostrar en este semestre un proceso deflacionario hacia el SW del volcán

- ✓ La sismicidad regional de la parte central de Colombia, permaneció en términos generales estables en cuanto a las magnitudes registradas pero en cuanto al número de sismos este aumento notablemente.