



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 MACHÍN – CERRO BRAVO**

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

II SEMESTRE DE 2009



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 RED DE VIGILANCIA.....	1
1.3. VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR).....	6
1.3.1 SISMOLOGÍA.....	6
1.3.2 GEOQUÍMICA.....	9
1.3.2.1 Emisiones de Gas Radón.....	10
1.3.2.2 Fuentes termales (FT).....	10
1.3.2.3 Gases volcánicos (Trampas alcalinas).....	17
1.3.3 DEFORMACIÓN.....	21
1.3.3.1 RED DE DEFORMACIÓN.....	21
1.3.3.2 Comportamiento inclinómetros secos.....	22
1.3.3.3 Comportamiento vectores de nivelación.....	24
1.3.3.4 Comportamiento electrónicos.....	24
1.3.3.5 Comportamiento líneas EDM.....	28
1.4 VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT).....	29
1.4.1 SISMOLOGÍA.....	29
1.5 VOLCÁN CERRO MACHÍN.....	30
1.5.1 SISMOLOGÍA.....	30
1.5.2 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS.....	34
1.5.3 GEOQUÍMICA.....	34
1.5.3.1 Emisiones de Gas Radón.....	37
1.5.3.2 Fuentes termales.....	39
1.5.3.3 Gases volcánicos.....	39
1.5.3.4 Monitoreo temperatura del campo fumarólico.....	40
1.5.4 DEFORMACIÓN.....	41
1.5.4.1 Red de deformación.....	41
1.5.4.2 Comportamiento inclinómetros secos.....	44
1.5.4.3 Comportamiento vectores de nivelación.....	46
1.5.4.4 Comportamiento inclinómetros electrónicos.....	49
1.5.4.5 Comportamiento de las líneas EDM.....	50
1.6 VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB).....	50
1.6.1 SISMOLOGÍA.....	50
1.6.2 GEOQUÍMICA.....	50
1.7 VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VCB).....	51
1.7.1 GEOQUIMICA.....	511
1.8 PARAMILLO DEL QUINDIO.....	56
1.8.1 SISMOLOGÍA.....	558
1.9 ACTIVIDAD SÍSMICA REGIONAL.....	58
1.9.1 SISMOLOGÍA.....	58
1.10 CONCLUSIONES.....	59



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Funcionamiento de estaciones de vigilancia CVCMCB, segundo semestre 2009	2
Figura 1.2. Redes de vigilancia sísmológica, CVCMCB segundo semestre de 2009	3
Figura 1.3. Energía sísmica liberada diariamente por el VNR, segundo semestre 2009.....	6
Figura 1.4. Número de sismos ocurridos diariamente en el VNR, segundo semestre de 2009.....	6
Figura 1.5. Magnitud local de sismos VT para el VNR, segundo semestre 2009.....	7
Figura 1.6. Magnitud local de sismos LP para el VNR, segundo semestre 2009	7
Figura 1.7. Período predominante de sismos LP, VNR segundo semestre 2009.....	8
Figura 1.8. Localización hipocentral de sismos VT, VNR segundo semestre 2009.....	9
Figura 1.9. Localización epicentral de sismos LP, VNR segundo semestre 2009.....	9
Figura 1.10. Variación de los niveles de Radón en suelo VNR. Segundo Semestre de 2009.....	11
Figura 1.11. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Hotel Termales VNR. Segundo Semestre del 2009.....	12
Figura 1.12. Variación de aniones mayoritarios en la FT Hotel Termales VNR. Segundo Semestre de 2009.	13
Figura 1.13. Variaciones en el contenido de cationes mayoritarios FT Hotel. VNR. Segundo Semestre de 2009.....	13
Figura 1.14. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Gualí VNR. Segundo Semestre de 2009.	14
Figura 1.15. Variación de iones mayoritarios en la FT Gualí VNR. Segundo Semestre de 2009.....	15
Figura 1.16. Variación de Parámetros Fisicoquímicos FT Aguas calientes. VNR. Segundo Semestre de 2009.....	16
Figura 1.17. Variación en el contenido de aniones FT Aguas Calientes. VNR. Segundo Semestre de 2009.	16
Figura 1.18. Variación del contenido de SO ₂ , HCl y CO ₂ en Fluidos Volcánicos de las Fuentes Termales. VNR. Segundo semestre de 2009	18
Figura 1.19. Instrumentación de una estación SCAN DOAS para el monitoreo de SO ₂ en el VNR	19
Figura 1.20. Llegada de datos y cálculo de flujo de SO ₂ , Programa NOVAC	20
Figura 1.21. Variación del flujo de SO ₂ en la Pluma del VNR	20
Figura 1.22. Número de escaneos en estaciones SCAN DOAS VNR	21
Figura 1.23. Red de deformación del VNR (Diciembre de 2009).....	22
Figura 1.24. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Nereidas desde Enero del 2004 hasta Diciembre de 2009.....	23
Figura 1.25. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Piraña desde 1993 hasta Diciembre de 2009.....	23
Figura 1.26. Comportamiento Acumulado del vector de nivelación Piraña desde Junio de 2005 hasta Diciembre de 2009.....	24
Figura 1.27. Comportamiento Acumulado del Vector de Nivelación Nereidas desde Abril de 2005 hasta Diciembre de 2009.....	25
Figura 1.28. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Azufrado durante el II semestre de 2009.....	25
Figura 1.29. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Bis durante el II semestre de 2009.	26
Figura 1.30. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Lisa durante el II semestre de 2009.	27

Figura 1.31. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Recio durante el II semestre del año 2009 .	27
Figura 1.32. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Refugio durante el II semestre de 2009.	28
Figura 1.33. Comportamiento de los reflectores Refugio-1, Refugio-2, Refugio-3, Refugio-4, "Refugio-5, Refugio-6 y Olleta medidos desde la base EDM Refugio, desde Septiembre de 2008 hasta Diciembre de 2009.	28
Figura 1.34. Energía sísmica liberada diaria, VNT segundo semestre 2009	29
Figura 1.35. Número de sismos diarios, VNT segundo semestre 2009.	29
Figura 1.36. Número de avalanchas diarias en el VNT. Segundo semestre 2009.	30
Figura 1.37. Número diario de sismos VCM, segundo semestre 2009	31
Figura 1.38. Energía sísmica liberada diaria VCM, segundo semestre 2009	31
Figura 1.39. Distribución de magnitudes VCM, segundo semestre 2009.	32
Figura 1.40. Localización hipocentral de sismos VT en el VCM, segundo semestre 2009	32
Figura 1.41. Variaciones del campo magnético en el VCM. Estación AGUAS CALIENTES, segundo semestre de 2009.	33
Figura 1.42. Variaciones del campo magnético en el VCM. Estación DOMO segundo semestre de 2009	34
Figura 1.43. Variación de los Niveles de Radón en suelo en Nuevas estaciones instaladas. VCM. Segundo Semestre de 2009.	35
Figura 1.44. Variación de los niveles de Radón en suelo VNR. Segundo Semestre de 2009.	36
Figura 1.45. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Piscina VCM. Segundo Semestre de 2009	38
Figura 1.46. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Estatuas VCM. Segundo semestre de 2009.	38
Figura 1.47. Variación de iones mayoritarios en la FT Piscina VCM. Segundo semestre de 2009	39
Figura 1.48. Variación de iones mayoritarios en la FT Estatuas VCM. Segundo Semestre de 2009.	39
Figura 1.49. Variación en el contenido parcial de la descarga de Gases en Fumarola La macha. VCM. Segundo Semestre de 2009.	40
Figura 1.50. Variación de la temperatura en el campo fumarólico. VCM. Segundo Semestre de 2009.	40
Figura 1.51. Red de deformación del VCM (Diciembre de 2009)	41
Figura 1.52. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro Aguascalientes desde 2005 hasta Diciembre de 2009	42
Figura 1.53. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro La Laguna desde 2005 hasta Diciembre de 2009	42
Figura 1.54. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro Eucalipto desde 2005 hasta Diciembre de 2009	43
Figura 1.55. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro La Secreta desde 2005 hasta Diciembre de 2009	43
Figura 1.56. Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Rodeo desde 2005 hasta Diciembre de 2009	44
Figura 1.57. Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Domo desde 2007 hasta Diciembre de 2009.	44
Figura 1.58. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Eucalipto desde 2006 hasta Diciembre de 2009.	45
Figura 1.59. Comportamiento acumulado del vector de nivelación La Secreta desde 2005 hasta Diciembre de 2009.	45
Figura 1.60. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Anillo durante el segundo semestre de 2009	46
Figura 1.61. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Aguascalientes durante en el segundo semestre de 2009	47
Figura 1.62. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Laguna durante en el segundo semestre del 2009	48
Figura 1.63. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y la Resultante del inclinómetro electrónico El Rodeo durante en el segundo semestre del 2009	49



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

Figura 1.64. Comportamiento de los reflectores Aguacaliente-Alto, Aguacaliente-Bajo, Brisas, Cielo Roto, La Palma, Porvenir, Primavera y Rodeo durante el segundo semestre de 2009	50
Figura 1.65. Energía liberada en el VCB. Segundo semestre 2009	51
Figura 1.66. Número de sismos VCB. Segundo semestre 2009	51
Figura 1.67. Variación de los Niveles de Radón en suelo. VCB. Segundo Semestre de 2009	52
Figura 1.68. Variación de parámetros Fisicoquímicos Nacimientos Termales San Vicente. Paramillo de Santa Rosa. Segundo semestre de 2009	53
Figura 1.69. Variación de parámetros Fisicoquímicos Nacimientos Termales Santa Elena. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2009	54
Figura 1.70. Variación en el contenido de Cloruros en Nacimientos Termales. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2009	55
Figura 1.71. Variación en el contenido de Sulfatos en Nacimientos Termales. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2009	56
Figura 1.72. Número de sismos PQ. Segundo semestre 2009	57
Figura 1.73. Energía liberada en el PQ. Segundo semestre 2009	57
Figura 1.74. Localización hipocentral de sismos VT, PQ segundo semestre 2009	58
Figura 1.75. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el segundo semestre de 2009	59



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Coordenadas de las nuevas estaciones para el monitoreo de gas radón y CO ₂ en suelo, VCM	35
Tabla 1.2. Medida de la concentración de CO ₂ (%v/v) en nuevas estaciones VCM	37



ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CERRO MACHÍN – CERRO BRAVO (CVCMCB)

II SEMESTRE 2009.

1.1 INTRODUCCIÓN

La actividad de los volcanes del CVCMCB durante el segundo semestre de 2009 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 31 de Julio y el 25 de Diciembre tanto por el número de sismos como por la energía liberada y un posterior cambio en el contenido de SO₂ en gases fumarólicos. 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 LP, especialmente hacia el final del año. El Volcán Cerro Bravo y el Volcán Nevado del Tolima, igualmente registraron niveles muy bajos de actividad durante el semestre. Se destaca también la ocurrencia de eventos sísmicos localizados en el Paramillo del Quindío.

1.2 RED DE VIGILANCIA

Las redes de vigilancia del CVCMCB, presentaron, en general un buen funcionamiento. Las estaciones sísmicas funcionaron apropiadamente, aunque con algunas interferencias y ruidos que no afectaron de manera significativa la vigilancia volcánica.

En la red del Volcán Nevado del Ruiz fue complementada durante el segundo semestre con la instalación el 2 de Diciembre de la estación de corto período de PIRAÑA y con el restablecimiento de la estación de corto período de RECIO en el mes de Octubre. El 17 de Julio el sensor de corto período de la estación de Alfombrales es reemplazado por uno banda ancha. En los meses de Septiembre y Octubre se llevaron a cabo tareas de mantenimiento de las estaciones. En cuanto a la red de geoquímica, durante Julio se ocuparon nuevas estaciones de Radón, y el 2 de Diciembre se instalaron equipos para la medición del flujo de SO₂, estaciones de Alfombrales y Bruma. A partir del 10 de Diciembre algunas estaciones de geoquímica salen de funcionamiento, para ser restablecidas en el 2010.

Durante el segundo semestre de 2009 la red de vigilancia del Volcán Cerro Machín presentó problemas en la transmisión de datos, los cuales fueron solucionados oportunamente por el grupo de electrónica. Entre las acciones correctivas realizadas se instaló una nueva repetidora para las estaciones de TOCHE, SILENCIO, ANILLO y el sistema acústico en el mes de Agosto, posteriormente en Diciembre se abre el enlace de Cielo Roto para separar las estaciones de corto período del sistema acústico y mejorar la transmisión de datos. El 7 de Julio es instalado un segundo magnetómetro denominado AGUAS CALIENTES, este equipo y el de DOMO presentaron problemas a lo largo de los últimos meses; a partir del 14 de Noviembre luego de las labores de mantenimiento, mejora ostensiblemente el funcionamiento y la transmisión de datos, sin embargo durante las últimas semanas de Diciembre se pierde la transmisión de datos del magnetómetro de DOMO. En cuanto a la red de geoquímica, durante los meses de



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

Septiembre y Octubre se ocuparon seis estaciones más para mediciones de Radón; al igual que la red del VNR, las estaciones salen de funcionamiento el 10 de Diciembre para ser restablecidas a principios de 2010.

A lo largo del semestre dos modificaciones se presentaron en la red de vigilancia del Volcán Cerro Bravo. El día 9 de Septiembre cuando se encontró desmantelada y dañada la estación para muestreo de Radón CERRO-1, la cual fue restablecida el 22 del mismo mes. El 31 de Octubre se pierde la señal de la estación sísmológica CAJONES, en visita posterior se detecta que la estación fue objeto de vándalos que la desmantelaron y dañaron, por lo que se decide recoger los equipos y llevarlos al observatorio para ser reinstalados en los próximos meses. En la red de vigilancia del Volcán Nevado del Tolima solo se reporta el restablecimiento de la transmisión de datos de la estación de corto período de ESMERALDA.

En cuanto a las estaciones que sirven en la monitoreo de la actividad tectónica, el 20 de Julio se instaló la estación de corto período de GUYANA, y las estaciones de MARSELLA y LA DIVISA fueron reubicadas en el mes de Octubre.

La Figura 1.1 muestra en porcentaje el funcionamiento general de las estaciones durante el semestre, y la Figura 1.2 muestra las redes de vigilancia del CVCMCB.

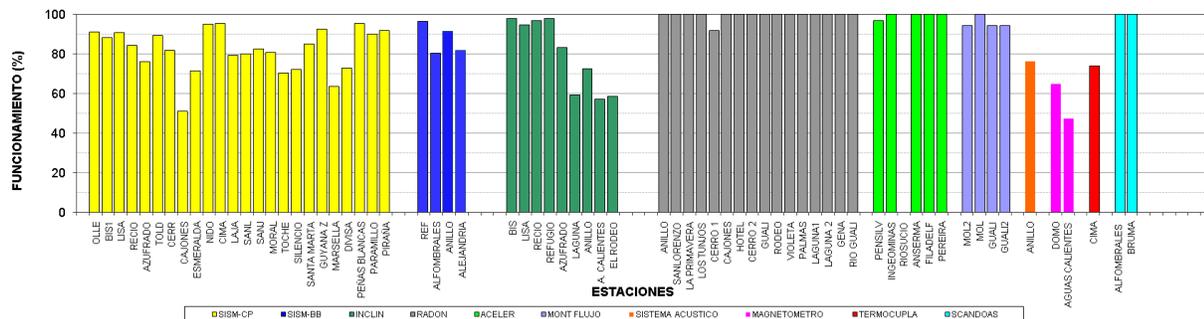
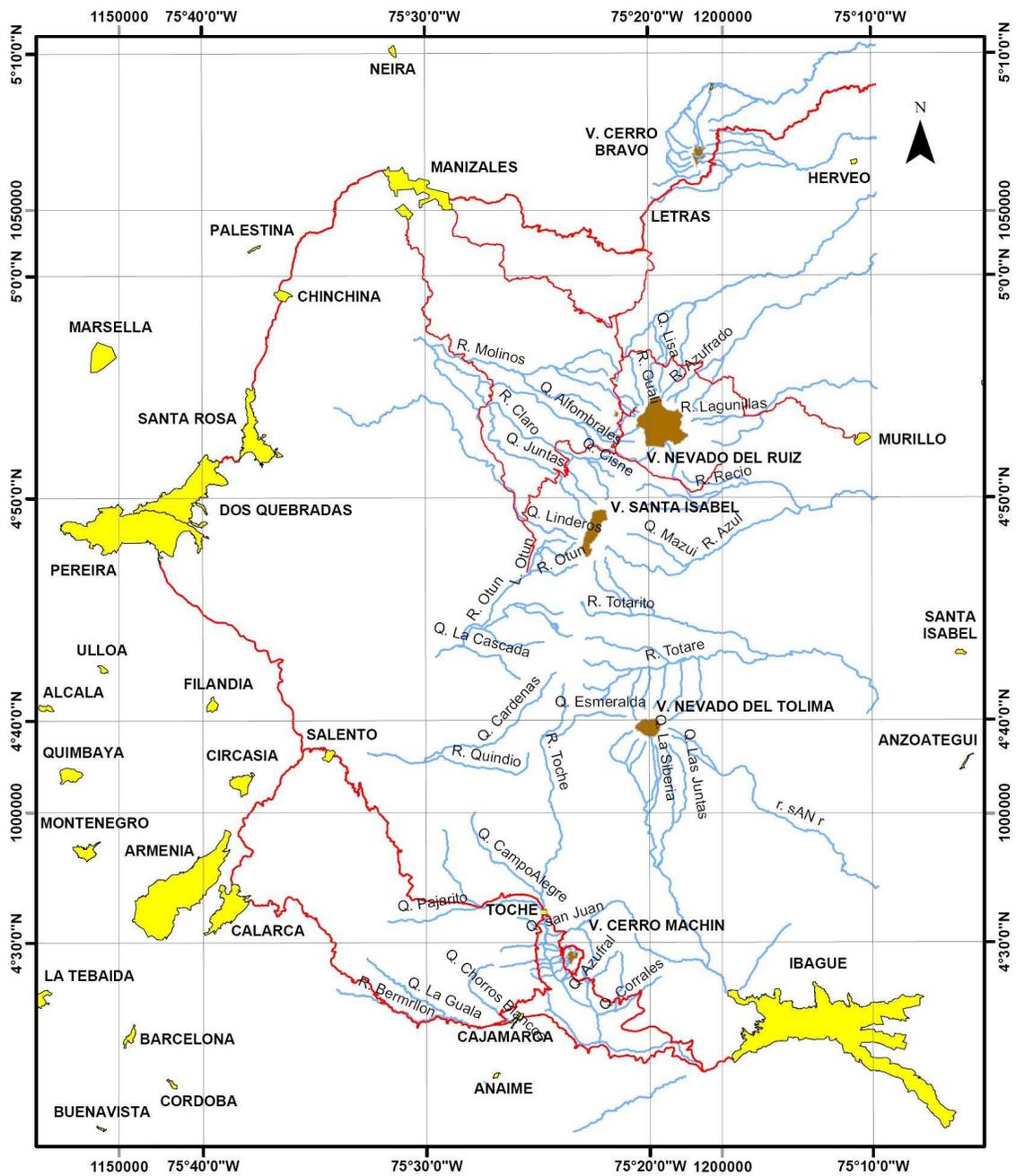


Figura 1.1. Funcionamiento de estaciones de vigilancia CVCMCB, segundo semestre 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

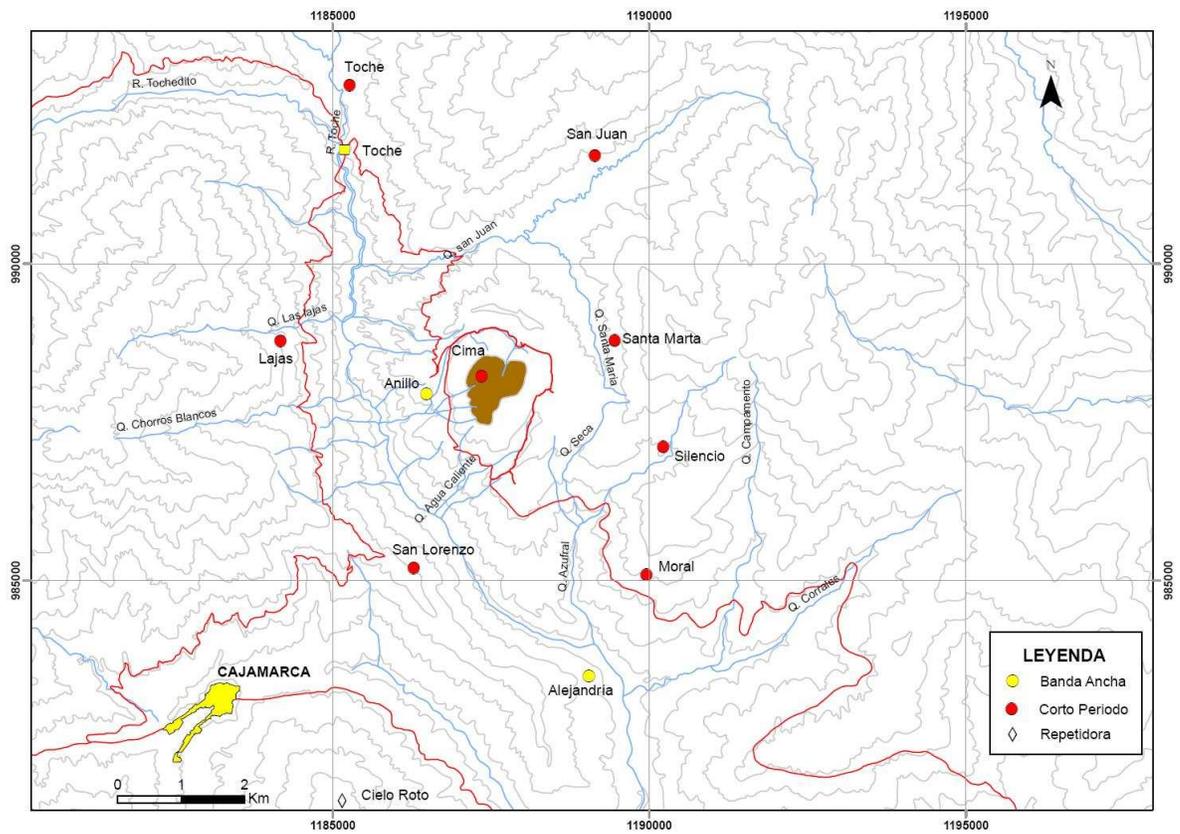


a)



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL



c)

Figura 1.2. Redes de vigilancia sísmológica, CVCMCB segundo semestre de 2009 a) Complejo Volcánico Cerro Machín – Cerro Bravo, b) Red de Vigilancia VCM, c) Red de Vigilancia VNR.



1.3 VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR)

1.3.1 SISMOLOGÍA

La actividad sísmica del Volcán Nevado del Ruiz (VNR) permaneció estable en términos generales durante el segundo semestre de 2009; el número de sismos registrados, así como la energía sísmica liberada mostraron niveles bajos. La actividad sísmica asociada al tránsito de gases y fluidos (tipo LP) liberó mayores niveles de energía sísmica que la actividad relacionada con el fracturamiento de roca (tipo VT), Fig 1.3. La sismicidad tipo LP presentó un incremento tanto en el número de sismos (Fig. 1.4) como en sus magnitudes con respecto al primer semestre del 2009. En cuanto a la sismicidad tipo VT, durante el segundo semestre de 2009, mostró una disminución en la energía diaria liberada comparativamente con el primer semestre, ya que aunque la ocurrencia de sismos presentó un leve aumento, se trató de sismos de baja magnitud.

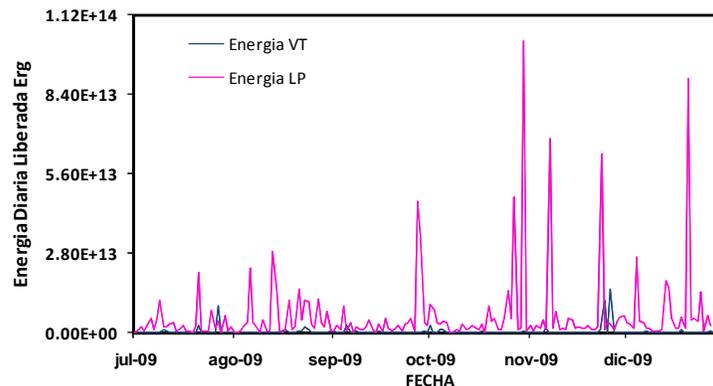


Figura 1.3. Energía sísmica liberada diariamente por el VNR, segundo semestre 2009.

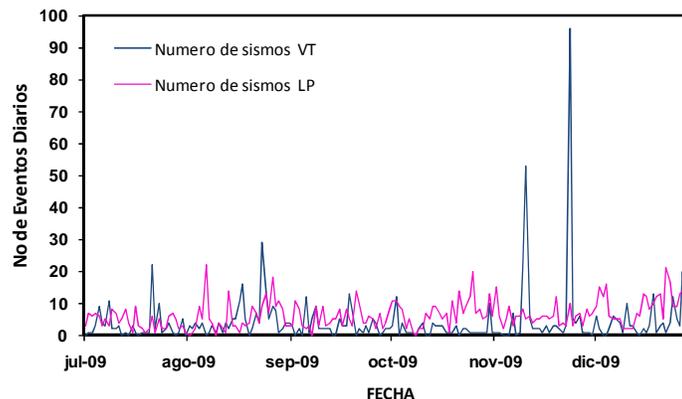


Figura 1.4. Número de sismos ocurridos diariamente en el VNR, segundo semestre de 2009.

Las magnitudes locales de los sismos volcano-tectónicos (VT) variaron entre -2.59 y 1.76 (Fig.1.5), mientras que las magnitudes de los sismos de largo-período (LP) oscilaron entre -0.12 y 2.22 (Fig.1.6).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

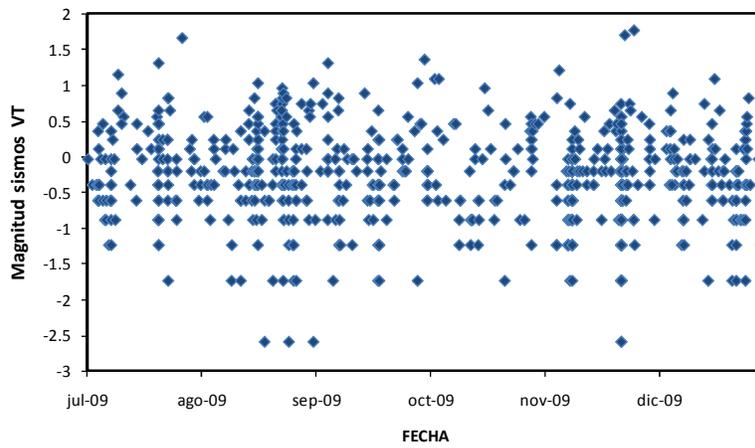


Figura 1.5. Magnitud local de sismos VT para el VNR, segundo semestre 2009.

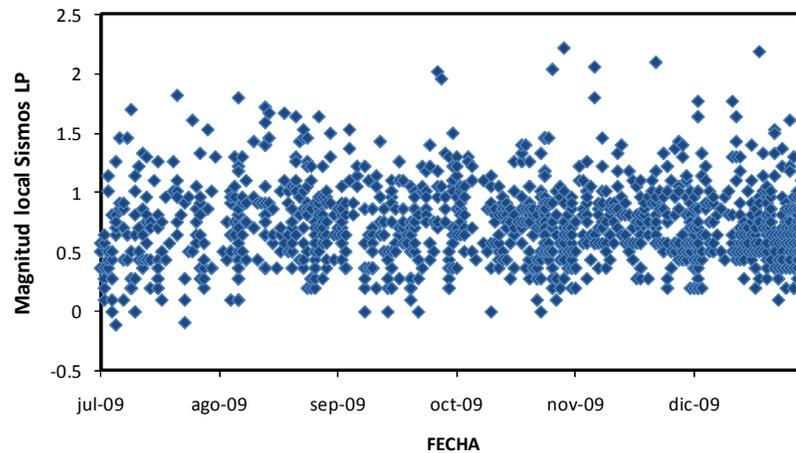


Figura 1.6. Magnitud local de sismos LP para el VNR, segundo semestre 2009.

Al analizar el período predominante (T) de los sismos LP, se observó que éste no presentó variaciones o tendencias importantes durante el segundo semestre (Fig. 1.7), sin embargo es notable un leve incremento de los períodos con relación al primer semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

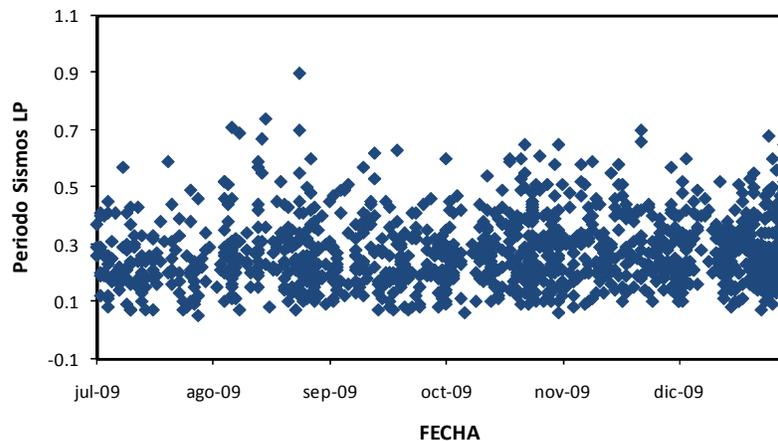


Figura 1.7. Período predominante de sismos LP, VNR segundo semestre 2009.

La actividad sísmica tipo VT se concentró principalmente en el cráter a profundidades entre 0.5 y 2.5 km, y al sureste del cráter con profundidades que oscilaron entre 2 y 4 km (Fig.1.8). En otros tres sectores se presentaron concentraciones hipocentrales; durante el mes de Noviembre se registró una sismicidad localizada entre 4 y 7 km de profundidad al Oeste del cráter Arenas, muy cercana al cráter de la Olleta. La segunda concentración de sismos VT, la más profunda de todas, se localizó al noroeste del cráter a profundidades que variaron entre 6 y 8 km. La tercera concentración se localizó al noreste del cráter Arenas y al suroeste del cráter Piraña con profundidades no mayores a 5 km y superiores a 2 km. En total se localizaron 373 sismos tipo VT.

En cuanto a la sismicidad tipo LP, las localizaciones epicentrales (1029 en total), realizadas utilizando la atenuación de las amplitudes relativas, muestran que la actividad se concentró principalmente hacia el sector suroeste del cráter activo (Fig. 1.9). Es importante señalar que durante el segundo semestre del año 2009, las localizaciones de los LP mostraron una mayor ocurrencia al oeste del cráter que durante el primer semestre del mismo año.

Durante el segundo semestre de 2009, no se presentaron en el VNR enjambres de sismos LP, y se registraron tres enjambres de sismos VT los días 9 y 10 de Noviembre, y el 23 de Noviembre. En general, la actividad sísmica del VNR permaneció estable durante el segundo semestre de 2009.



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

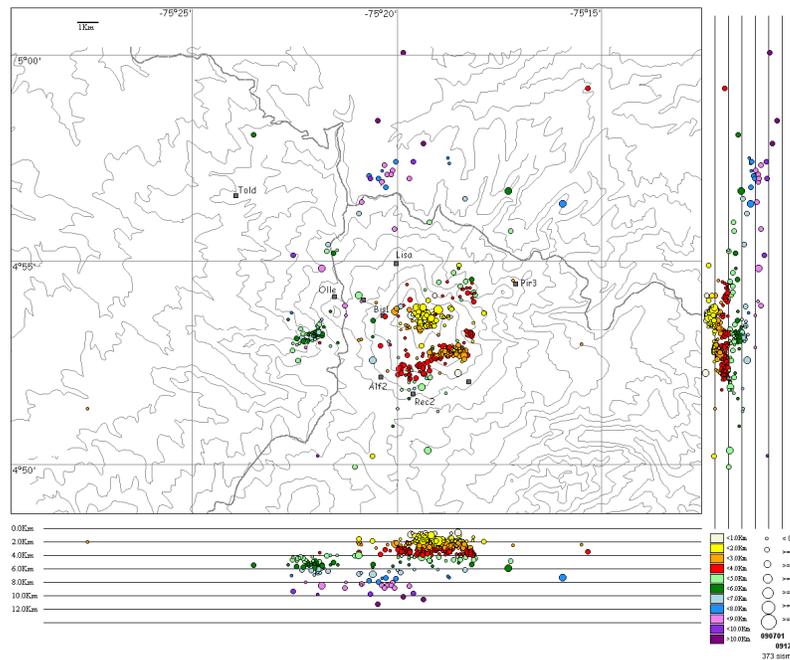


Figura 1.8. Localización hipocentral de sismos VT, VNR segundo semestre 2009.

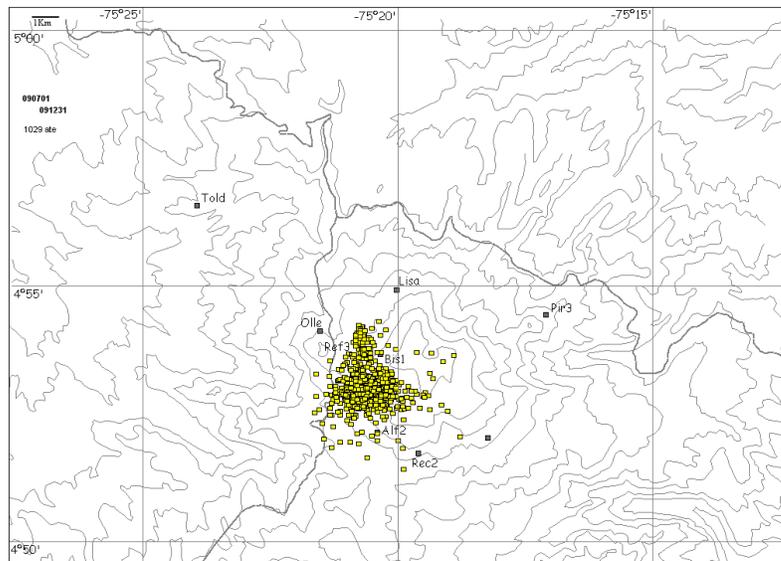


Figura 1.9. Localización epicentral de sismos LP, VNR segundo semestre 2009.

1.3.2 GEOQUÍMICA

Durante el segundo semestre del 2009 se realizaron muestreos y análisis in situ y en laboratorio de tres fuentes termales aledañas al VNR (Hotel, Gualí y Aguas Calientes). Se analizaron gases de las trampas alcalinas ubicadas en las estaciones Gualí, Refugio 1, Refugio 2, Olleta, FT Gualí, FT Hotel, en total se



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

recolectaron durante el segundo semestre del año 120 muestras. También se realizó monitoreo a las estaciones de Gas Radón y CO₂: Cajones, Gualí, Río Gualí y Hotel.

1.3.2.1 Emisiones de Gas Radón

Se tomaron muestras de gases difusos de cada una de las estaciones, los resultados de la concentración de Radón manifiestan pequeños incrementos en las últimas mediciones, especialmente en las estaciones Gualí y Hotel. Las demás estaciones (Río Gualí y Cajones) no mostraron cambios importantes durante el segundo semestre, sus concentraciones permanecieron casi constantes a lo largo de las mediciones realizadas. En la Figura 1.10 se aprecia el comportamiento de las estaciones en el segundo semestre del 2009.

1.3.2.2 Fuentes Termales (FT)

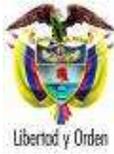
- Hotel Termales

Los parámetros fisicoquímicos medidos in situ durante el segundo semestre del año muestran que se presentaron algunas variaciones en los valores de pH y conductividad eléctrica, la temperatura se mantuvo entre 59 y 61°C.

El valor de pH durante el segundo semestre del año fluctuó entre 1,37 y 1,51. La conductividad presentó variaciones importantes en el segundo semestre, ya que de acuerdo a las mediciones realizadas desde Febrero a Junio el promedio en su valor fue de 5.72 mS/cm y a partir del mes de Julio hasta Diciembre su promedio estuvo en 16.21 mS/cm, estos cambios en la conductividad pueden ser consecuencia de la permeabilización del acuífero con aguas superficiales. Las variaciones mencionadas se pueden observar en la Figura 1.11.

En lo referente al contenido de aniones mayoritarios: Cloruros y Sulfatos, éstos se han visto afectados por posibles procesos de mineralización ya que en algunas mediciones se han presentado cambios en su concentración; en la Figura 1.12 se aprecia que durante el segundo semestre la concentración promedio de iones cloruro fue de 1140 ppm excepto para el mes de Noviembre, la cual bajó a 794 ppm. Para la concentración de iones sulfato, se presentaron fluctuaciones durante todas las medidas realizadas en el segundo semestre su concentración estuvo entre 1000 y 4480 ppm; estos valores son más bajos que los que venía mostrando en el primer semestre del año. Los cambios en los valores de concentración pueden ser atribuidos a posibles interacciones fluido-roca que afectan la composición química del agua. La Figura 1.12 muestra el comportamiento de la concentración de aniones con el tiempo.

Para la concentración de cationes mayoritarios (ver Fig.1.13) no se observó cambios significativos; los valores permanecieron casi constantes a lo largo de las medidas realizadas en el segundo semestre.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

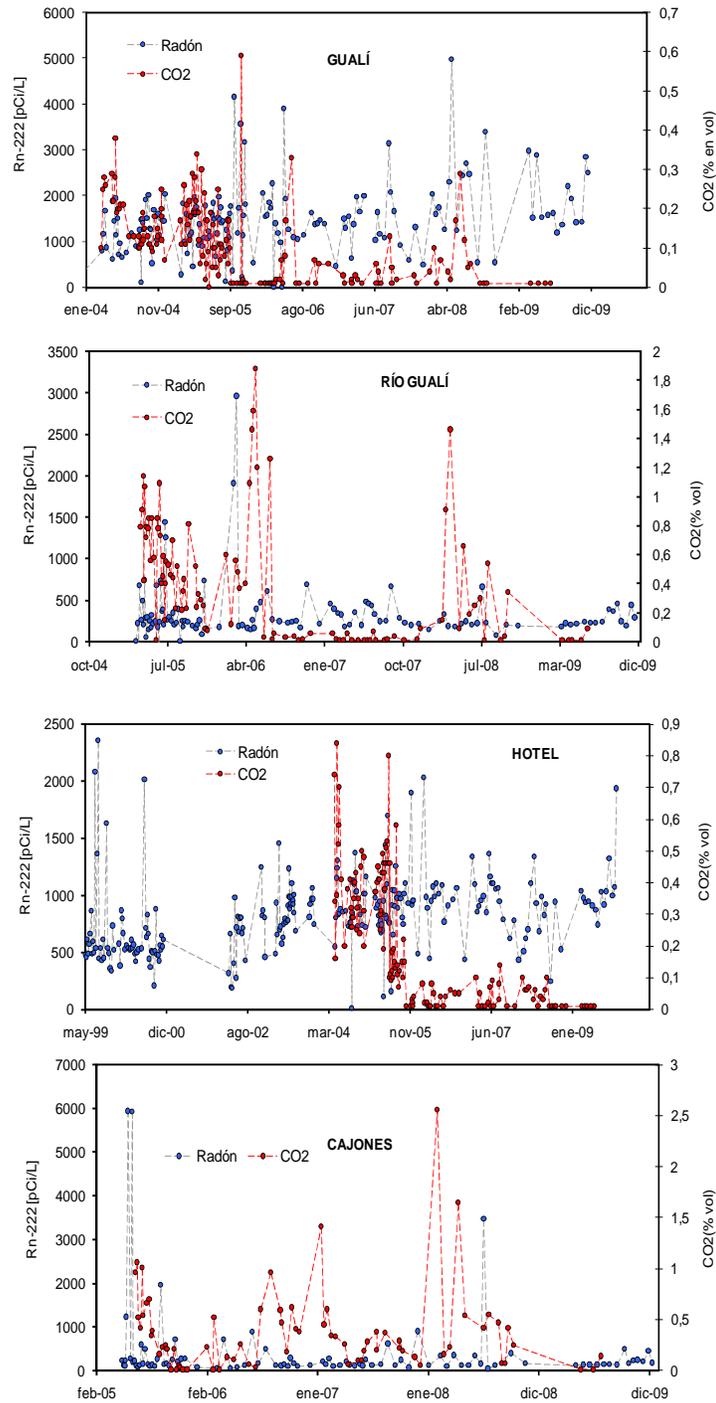


Figura 1.10. Variación de los niveles de Radón en suelo VNR. Segundo Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

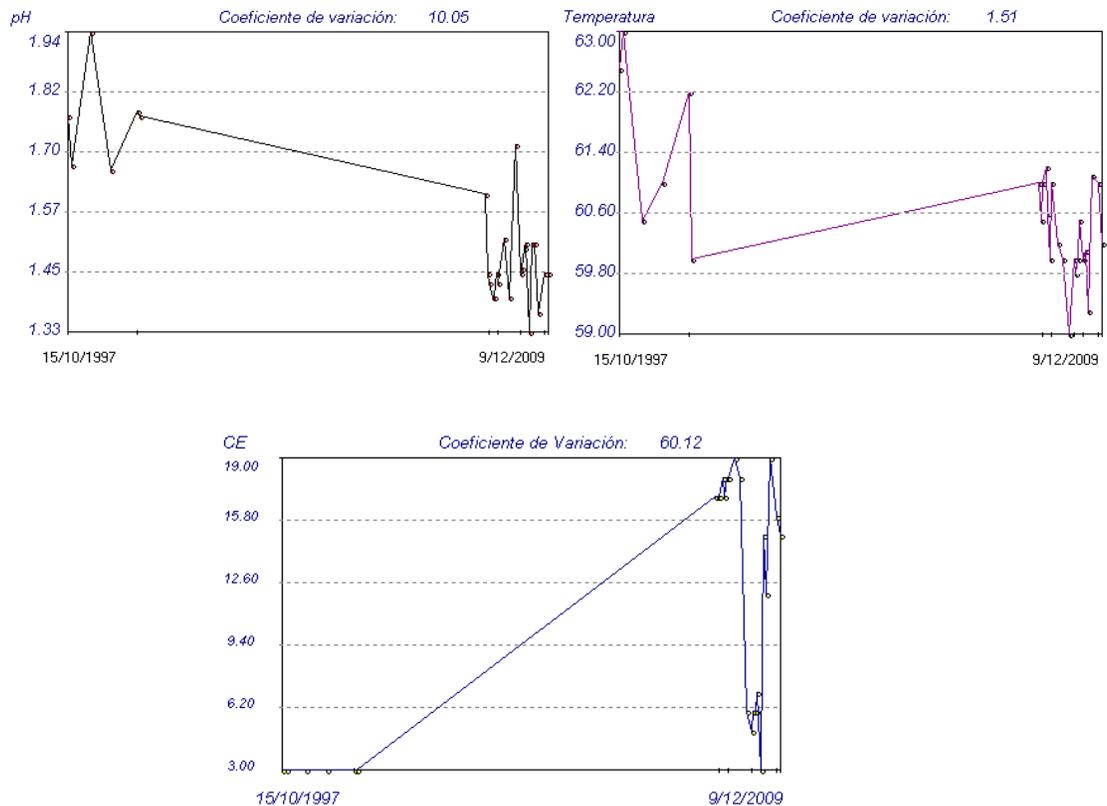


Figura 1.11. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Hotel Termales VNR. Segundo Semestre del 2009.

- Gualí

La FT Gualí presentó algunas variaciones en sus parámetros fisicoquímicos (ver Fig.1.14), la temperatura en promedio durante este primer semestre se mantuvo en 58°C, mostró un pequeño incremento en el mes de Diciembre alcanzando los 60°C; el pH fluctuó entre 2.4 y 2.75 y la conductividad eléctrica en los últimos meses del año presentó un incremento en sus valores.

El contenido de aniones mayoritarios en la fuente termal Gualí (ver Fig.1.15), no presentó variaciones importantes durante las mediciones realizadas el segundo semestre del 2009, el contenido de cloruros y sulfatos se estabilizó luego de los incrementos súbitos presentados en el primer semestre. En lo referente al contenido de cationes, la concentración de Calcio (Ca) fue constante durante las medidas realizadas, mientras que el contenido de Sodio (Na) disminuyó considerablemente en la medida del 20 de Octubre, empezó a mostrar valores muy cercanos a su línea base, pues en las medidas del primer semestre se mostraron incrementos muy grandes en su concentración; de igual manera los iones Potasio (K) y Magnesio (Mg) mostraron que sus medidas se vuelven a acercar a sus valores base promedio. En la Figura 1.15 se aprecia las variaciones ocurridas durante el segundo semestre del 2009 en el contenido de cationes.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

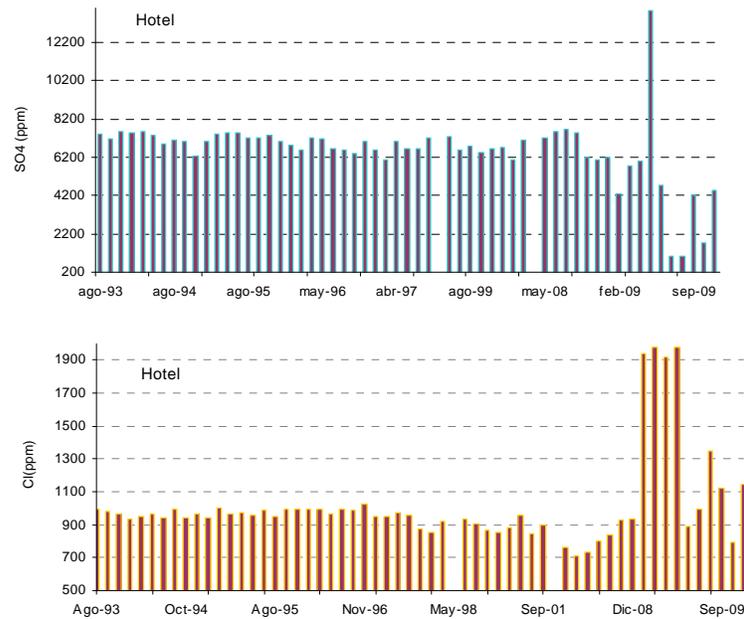


Figura 1.12. Variación de aniones mayoritarios en la FT Hotel Termales VNR. Segundo Semestre de 2009.

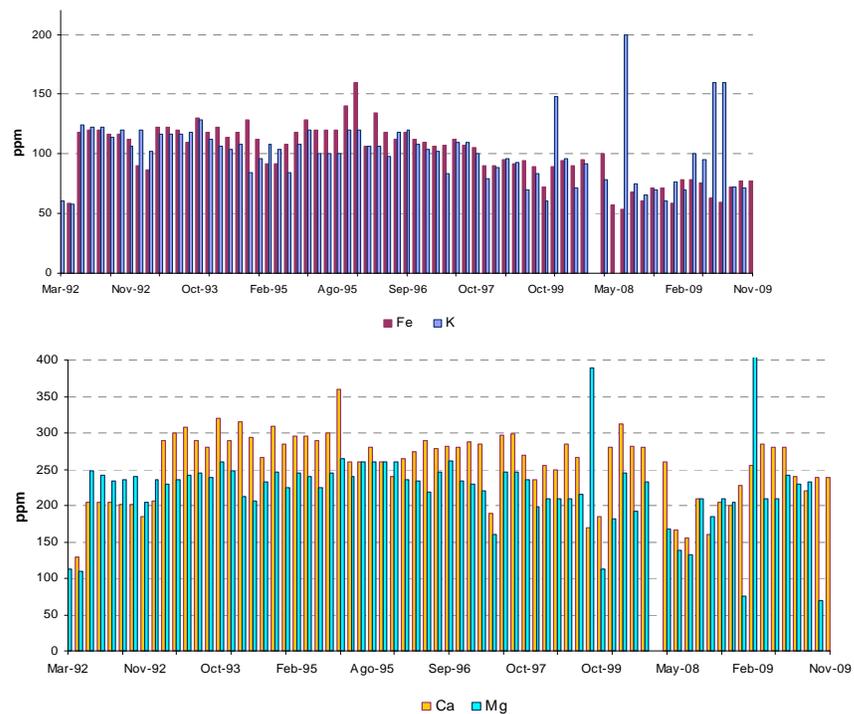


Figura 1.13. Variaciones en el contenido de cationes mayoritarios FT Hotel. VNR. Segundo Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

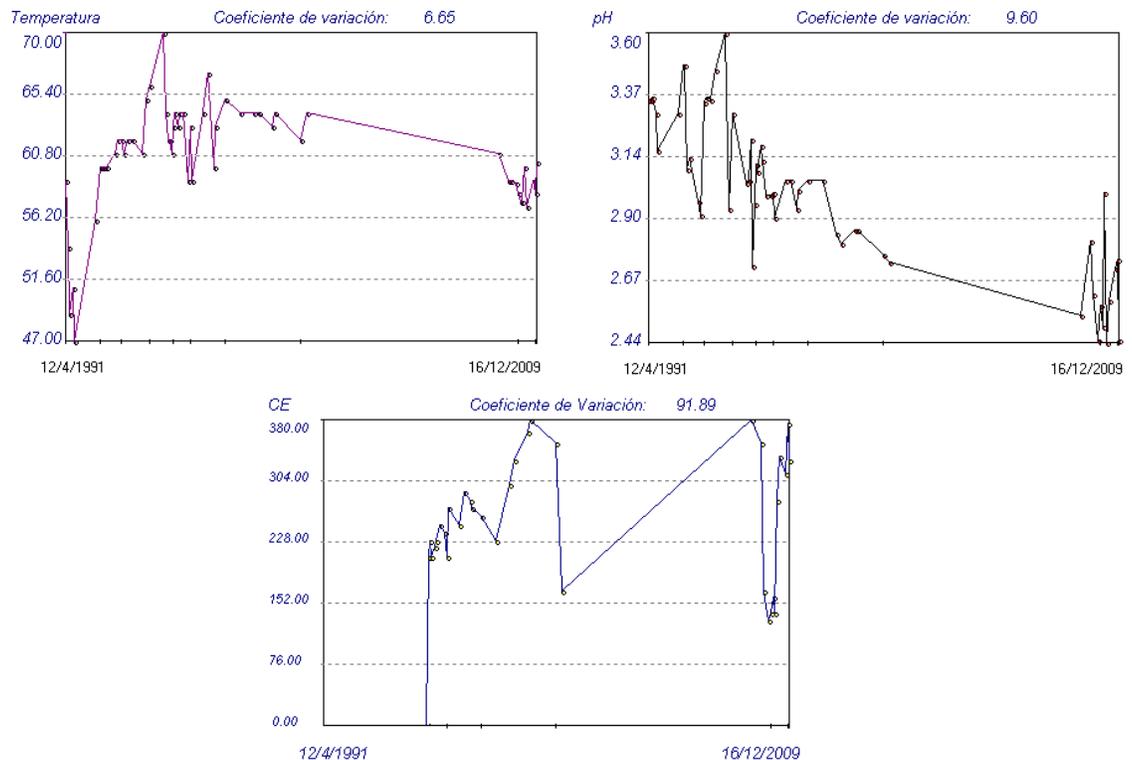


Figura 1.14. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Gualí VNR. Segundo Semestre de 2009.

- Aguas Calientes

Durante las medidas de los parámetros fisicoquímicos de la fuente termal Aguas Calientes se presentaron algunas variaciones en su conductividad eléctrica, ya que los valores promedio para el primer semestre fueron de 12 mS/cm, mientras que para el segundo semestre fluctuaron entre 27 y 32 ms/cm, lo cual sugiere que la fuente pudo haber sido alimentada por aguas superficiales que arrastran gran cantidad de electrolitos hasta ser depositadas en el acuífero y por lo tanto se encuentran más iones en solución.

Respecto a la temperatura y pH éstos parámetros no sufrieron cambios, se mantuvieron en sus valores base; la Figura 1.16 muestra el comportamiento mencionado anteriormente.

Los resultados encontrados para la determinación de la concentración de aniones mayoritarios muestran leves variaciones en su contenido, el contenido de cloruros se mantuvo dentro de su línea promedio mientras que el contenido de iones sulfato presentó un descenso brusco en el mes de Julio, la cual puede estar asociada a la reacción $H_2S_{(aq)} + 2O_{2(aq)} \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^{2-}$ en donde se presume que los iones sulfato sufren reducción a H_2S lo cual afecta su contenido en el agua. En la Figura 1.17 se observa el comportamiento en el contenido de aniones durante el segundo semestre del 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

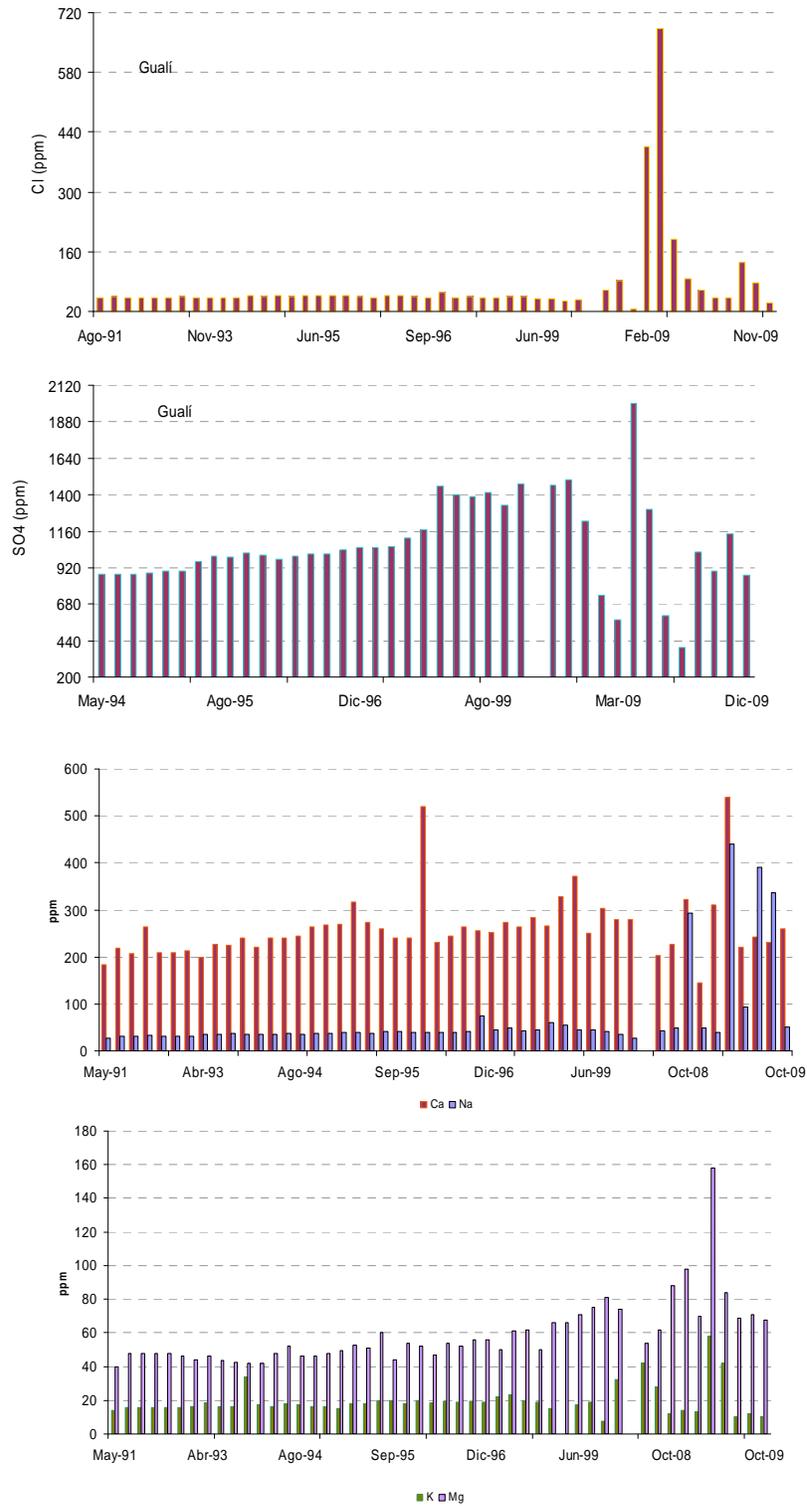


Figura 1.15. Variación de iones mayoritarios en la FT Guali VNR. Segundo Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

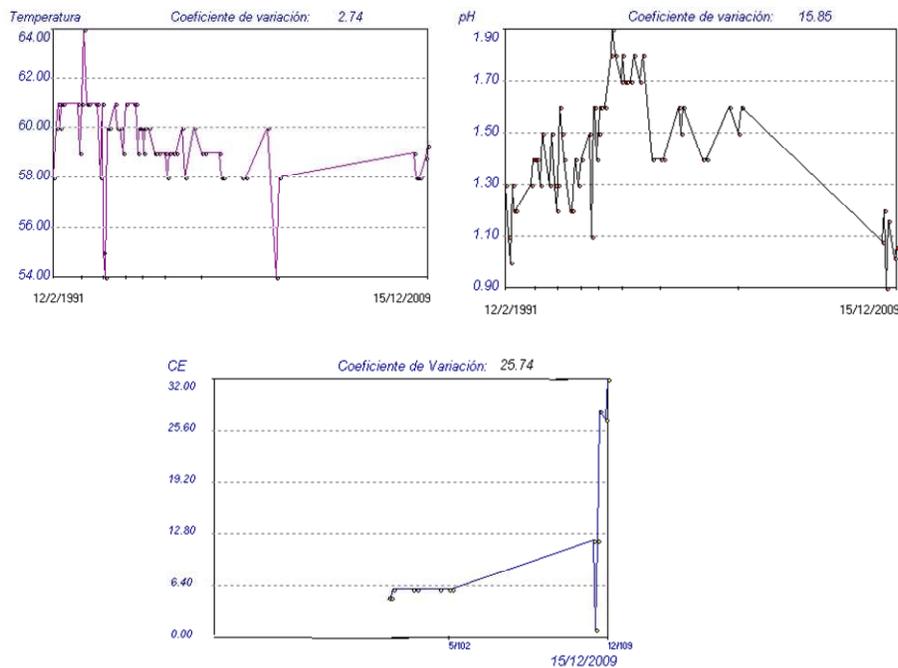


Figura 1.16. Variación de Parámetros Fisicoquímicos FT Aguas calientes. VNR. Segundo Semestre de 2009.

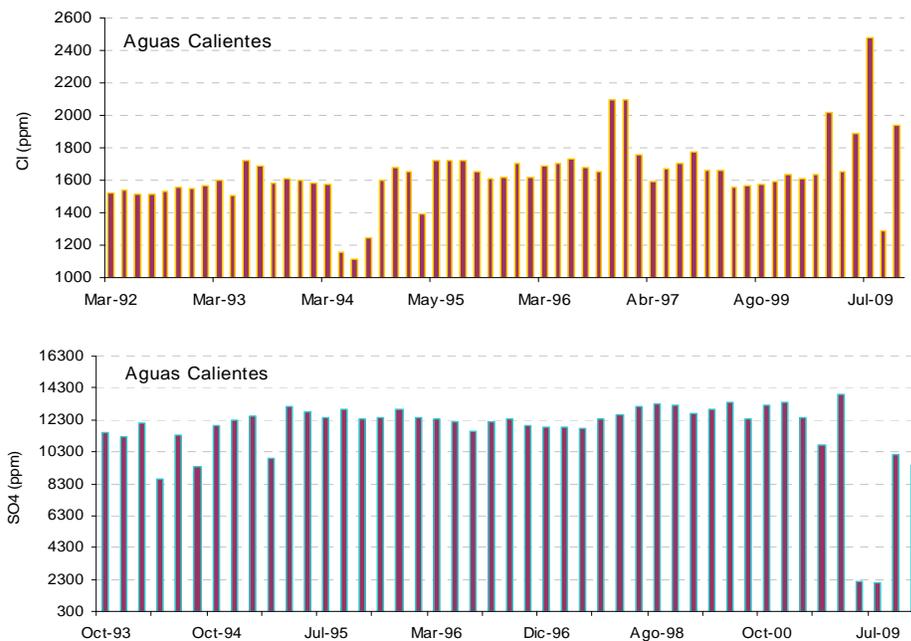


Figura 1.17. Variación en el contenido de aniones FT Aguas Calientes. VNR. Segundo Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

1.3.2.3 Gases volcánicos (Trampas alcalinas)

Los resultados parciales de los parámetros geoquímicos evaluados en los fluidos volcánicos del VNR muestran que las concentraciones de CO₂ y HCl en las estaciones Refugio 1, Refugio 2 y Olleta no presentaron variaciones importantes, sus contenidos fueron estables con el tiempo, especialmente el contenido de HCl que en las tres estaciones fue muy constante, no obstante en la estación Gualí, el contenido de CO₂ presentó un descenso brusco en su concentración molar pasó en el mes de Noviembre de tener 92% a mostrar un valor de 72,5% en el mes de diciembre, esta caída brusca está ligada con el aumento progresivo en el contenido de HCl en los gases volcánicos, su promedio estaba en 0,08% y pasó en Diciembre a 0,34% , de igual manera ocurrió con el contenido de SO₂ que pasó en Noviembre de 10% a 33,21%, estos valores muestran que se presentó un aporte de origen magmático en los gases procedentes del Volcán Nevado del Ruiz y la estación Gualí que se encuentra en la misma dirección que la del viento capturó estos cambios, (ver Fig. 1.18).

- Gases en Fuentes Termales

En la Figura 1.18 se aprecia los resultados parciales de la cuantificación del contenido de CO₂, HCl y SO₂ en las fuentes termales Gualí y Hotel. Al igual que la estación Gualí la estación FT Gualí presenta el mismo comportamiento, su contenido en CO₂ disminuyó considerablemente mientras que el contenido de HCl y SO₂ presentó incrementos en las últimas mediciones. La FT Hotel no presentó variaciones importantes, el aporte de gases magmáticos no es percibido en esta estación.

- Medidas de SO₂ mediante sistema SCAN DOAS

En el mes de Diciembre de 2009 se instalaron en el Volcán Nevado del Ruiz dos estaciones SCAN DOAS (Fig. 1.19) para el monitoreo de SO₂. A continuación se presenta las coordenadas y características de cada uno de los equipos instalados.

Estación: Alfombrales

Coordenadas: 4.87616 N, 75.3534 E
Altitud 4491msnm

Comunicación: Radio Freewave
Serial Number: 875-5881

Componentes: Espectrometro D2J2201
Scanner Cónico
GPS BR-355

Óptica : Fibra 4 m y 600 μm

Descripción del Sistema:
Escáner Cónico con un espejo

Estación: Bruma

Coordenadas : 4.9009 N, 75.3351E
Altitud 4856 m

Comunicación: Radio Freewave
Serial Number: 875-5881

Componentes: Espectrometro D2J2200
Scanner Plano
GPS BR-355

Óptica : Fibra 4 m y 600 μm

Descripción del Sistema:
Escáner Plano con un prisma



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

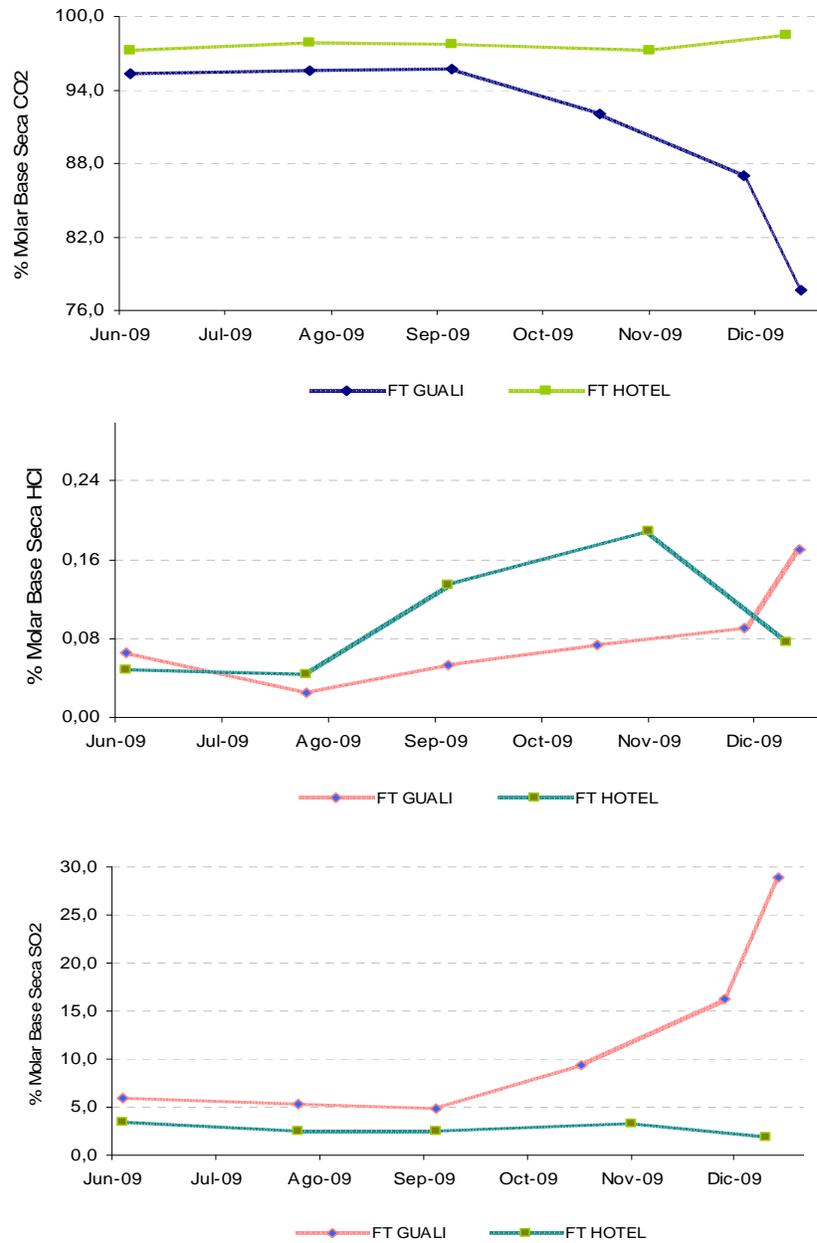


Figura 1.18. Variación del contenido de SO₂, HCl y CO₂ en Fluidos Volcánicos de las Fuentes Termales. VNR. Segundo semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL



Figura 1.19. Instrumentación de una estación SCAN DOAS para el monitoreo de SO₂ en el VNR.

La cuantificación de las emisiones de SO₂ se realiza mediante el programa NOVAC, el cual presenta el flujo en forma de columnas, el procesamiento de los datos incluye los valores de dirección y velocidad del viento y de la altura de la pluma. En la Figura 1.20 se aprecia la forma como llegan los datos al OVSM.

Los resultados parciales de emisiones de SO₂ se aprecian en la Figura 1.21, allí se puede observar que en la estación Bruma los días 22 y 31 de Diciembre se midieron las mayores emisiones con 554 y 593 ton/día, el promedio durante el mes fue de 180 ton/día. La estación Alfombrales cuantificó las mayores emisiones los días 30 y 31 de Diciembre, cuyo promedio durante las medidas del mes estuvo por debajo de las 120 ton/día. El comportamiento en cada una de las estaciones está ligado a la dirección y velocidad del viento, se puede apreciar que el viento estuvo predominantemente en la dirección de la estación Bruma.

En cada una de las estaciones se registran un número promedio de escaneos de los cuales se cuantifica el flujo máximo en cada día, en la gráfica de la Figura 1.22 se aprecia el número de escaneos promedio que realiza cada estación durante su funcionamiento diario. Se aprecia que la estación Bruma es la que mayor número de escaneos registra, en promedio se están recibiendo 110, mientras que de la estación Alfombrales se reciben en promedio 86.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

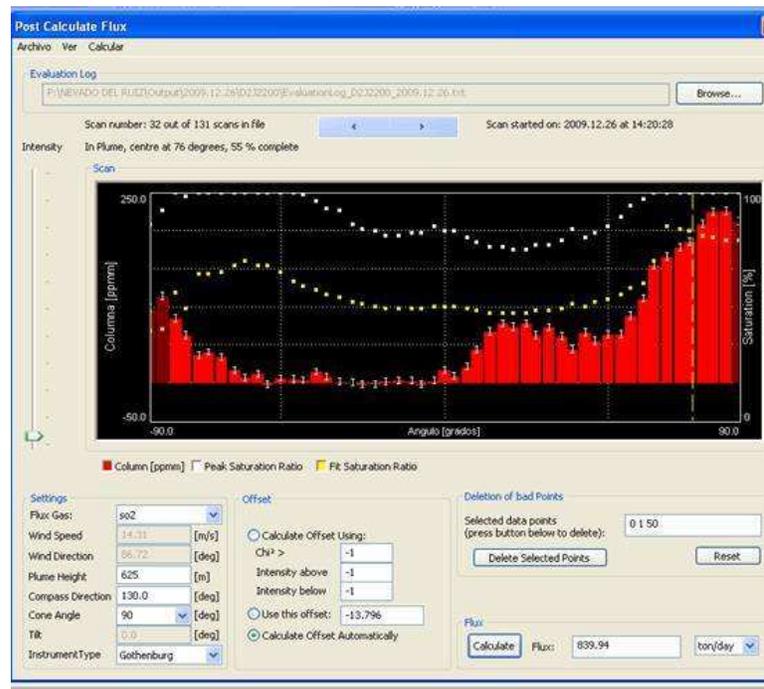


Figura 1.20. Llegada de datos y cálculo de flujo de SO₂, Programa NOVAC.

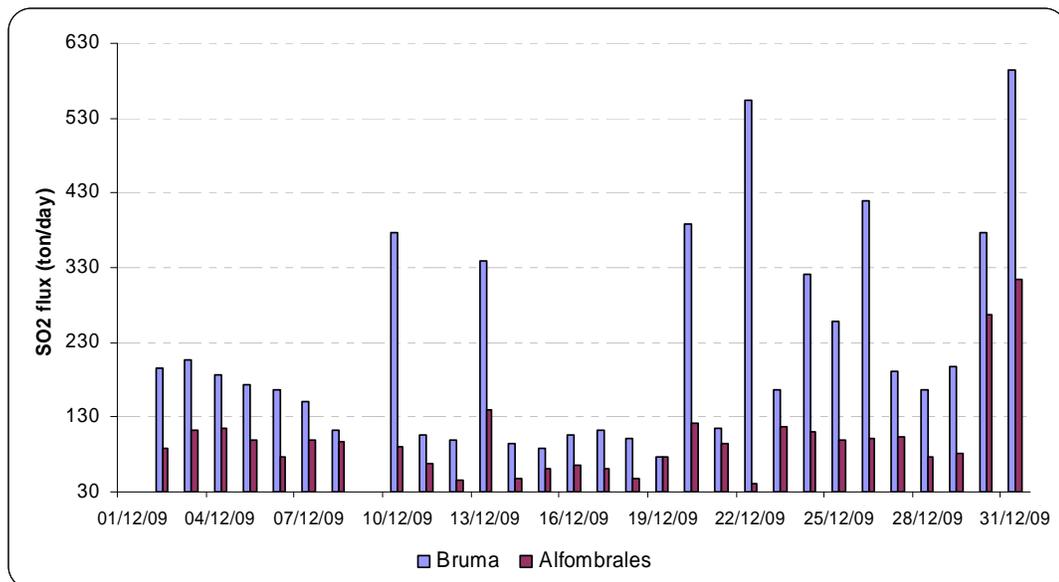


Figura 1.21. Variación del flujo de SO₂ en la Pluma del VNR.

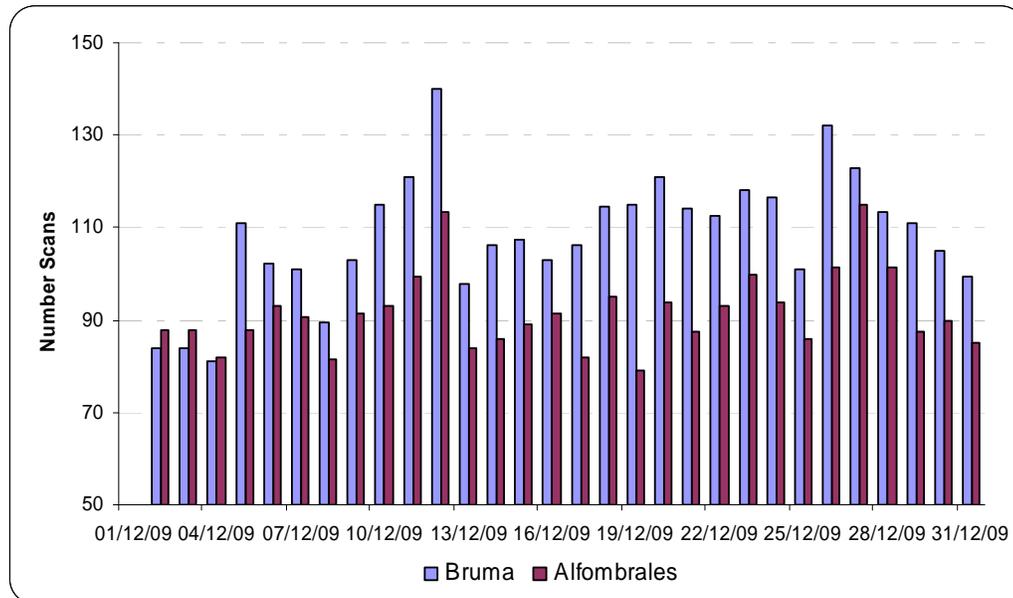


Figura 1.22. Número de escaneos en estaciones SCAN DOAS VNR.

1.3.3 DEFORMACION.

Durante el segundo semestre de 2009 en el marco del proyecto denominado Evaluación y Monitoreo de Amenazas Geológicas y en el desarrollo de la actividad Investigación y Monitoreo de la Actividad Volcánica, el grupo de deformación del Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales realizó mediciones para conocer la deformación de los volcanes Nevado del Ruiz, Cerro Machín y Cerro Bravo por medio de la ocupación periódica de algunas estaciones de control topográfico (inclinómetros secos, vectores de nivelación y líneas EDM), así como el registro continuo de inclinómetros electrónicos telemétricos. La información obtenida permitió mantener actualizadas las bases de datos, conocer el comportamiento deformacional que registra cada estación y verificar los cambios inflacionarios o deflacionarios que muestran algunas estaciones.

1.3.3.1 Red de deformación

En la Figura 1.23 se aprecia la red de deformación del VNR (Diciembre de 2009), la cual está constituida por 5 inclinómetros electrónicos telemétricos (Azufrado, Bis, Lisa, Recio y Refugio), 5 inclinómetros secos (Bis, Nereidas, Piraña, Refugio y Tumbas), 5 vectores de nivelación (Bis, Nereidas, Peñas Blancas, Piraña y Tumbas), 2 bases EDM (Refugio y Olleta) y 8 reflectores EDM (Refugio-1, Refugio-2, Refugio-3, Refugio-4, Refugio-5, Refugio-6, Olleta-1 y Olleta-2).

Durante el segundo semestre de 2009 se contó con el funcionamiento permanente desde el 1 de Julio hasta el 31 de Diciembre de los 5 inclinómetros electrónicos. Algunas estaciones presentaron problemas electrónicos que impidieron la transmisión de datos, los cuales fueron reparados oportunamente por el equipo de electrónica del OVSM.



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

En cuanto a las ocupaciones de campo, se realizó una medición de control topográfico en los inclinómetros secos: Nereidas y Piraña, así como en los vectores de nivelación: Nereidas y Piraña. Adicionalmente se realizaron 3 mediciones de las líneas EDM observadas a partir de la base Refugio.

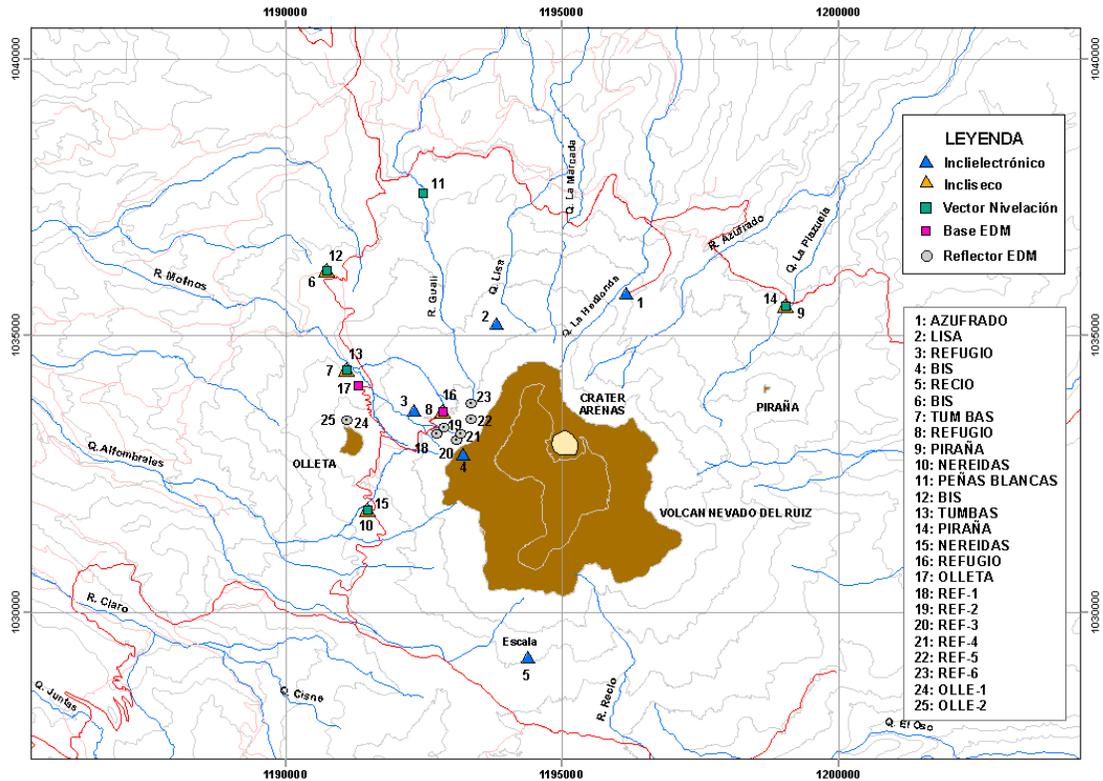


Figura 1.23. Red de deformación del VNR (Diciembre de 2009), mostrando la distribución de inclinómetros secos (triángulos naranja), vectores de nivelación (cuadros verdes), bases EDM (cuadros magenta) y reflectores EDM (círculos grises).

1.3.3.2 Comportamiento inclinómetros secos

- Inclinómetro Seco Nereidas

El comportamiento del inclinómetro seco Nereidas durante el segundo semestre de 2009 muestra una tendencia muy estable, que viene manifestándose desde Enero del 2004 (Fig. 1.24).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

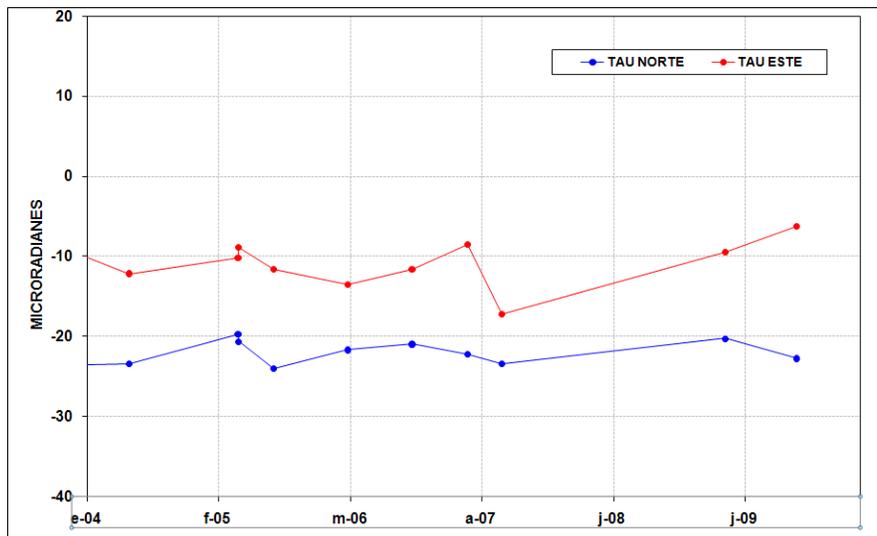


Figura 1.24. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Nereidas desde Enero del 2004 hasta Diciembre de 2009.

Inclinómetro Seco Piraña

El comportamiento del inclinómetro seco Piraña durante el segundo semestre de 2009 estuvo caracterizado por registrar pequeñas fluctuaciones y continuar definiendo una tendencia inflacionaria en la componente Norte y una ligera tendencia deflacionaria en la componente Este, con registro de cambios acumulados de +18 y -3.9 μ rad respectivamente (Fig. 1.25).

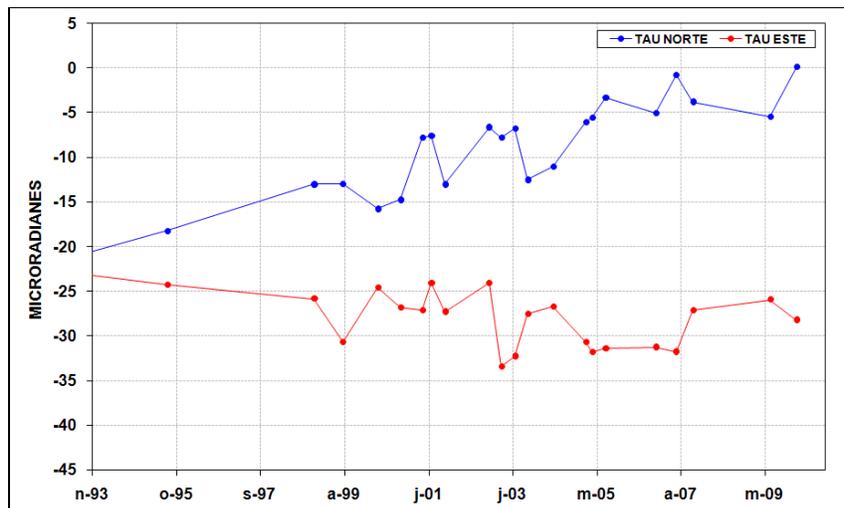


Figura 1.25. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Piraña desde 1993 hasta Diciembre de 2009.



1.3.3.3 Comportamiento vectores de nivelación

Vector de Nivelación Piraña

El comportamiento del vector de nivelación Piraña durante el segundo semestre 2009 continuó mostrando una ligera tendencia inflacionaria con la que viene desde el Junio de 2005, registrando un cambio acumulado de +2.16 μ rad (Fig. 1.26)

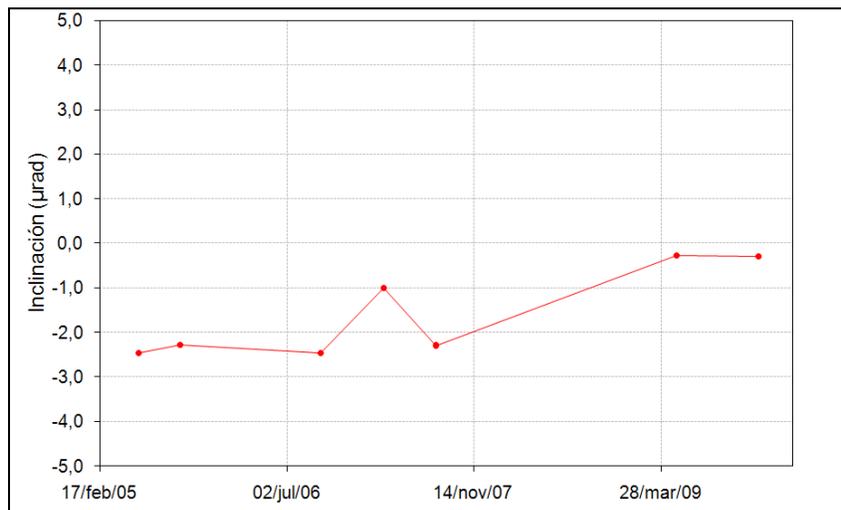


Figura 1.26. Comportamiento Acumulado del vector de nivelación Piraña desde Junio de 2005 hasta Diciembre de 2009.

Vector de Nivelación Nereidas

El comportamiento del vector de nivelación Nereidas durante el II semestre de 2009, continuó mostrando una leve tendencia descendente que se viene registrando desde Septiembre de 2006, con registro de un cambio acumulado de -1.77 μ rad (Fig. 1.27).

1.3.3.4 Inclínómetros electrónicos

En el VNR 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 electrónica para el registro 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.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

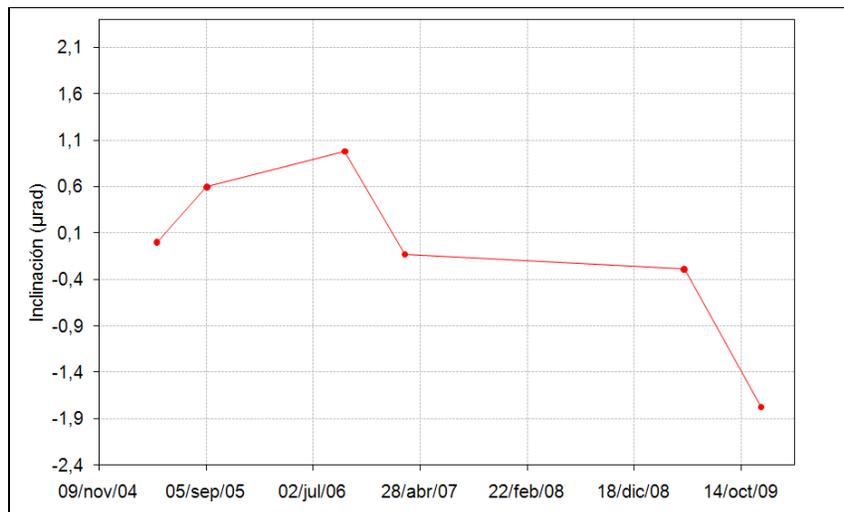


Figura 1.27. Comportamiento Acumulado del Vector de Nivelación Nereidas desde Abril de 2005 hasta Diciembre de 2009.

Inclinómetro Electrónico Azufrado

El comportamiento de esta estación durante el segundo semestre de 2009 se caracterizó por presentar fluctuaciones, siendo más marcadas en la componente Este. Desde el 1 de Julio hasta el 1 de Octubre se registró una tendencia inflacionaria en las componentes Norte y Este, con registro de cambios descendentes acumulados de -103.9 y de -97.23 µrad respectivamente. A partir de Octubre se mantiene una tendencia de estabilidad. En el período comprendido entre el 24 de Octubre y el 24 de Noviembre no se registraron datos debido a fallas en el equipo (Fig. 1.28).

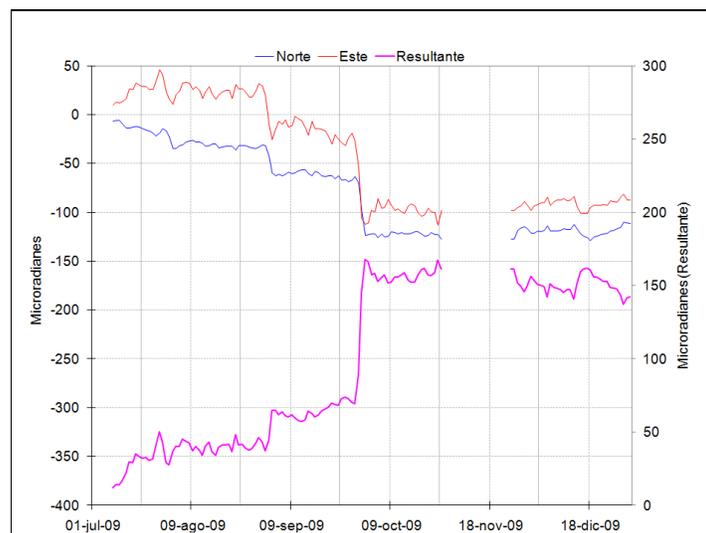


Figura 1.28. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Azufrado durante el segundo semestre de 2009.



Inclinómetro Electrónico Bis

El comportamiento del inclinómetro electrónico Bis durante el segundo semestre de 2009 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 31 de Diciembre de 2009 de +30 μ rad. La componente Este mostró una tendencia de estabilidad (Fig. 1.29).

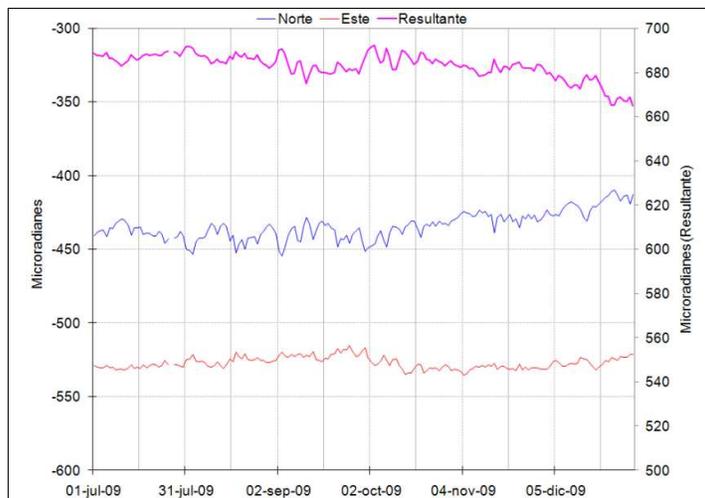


Figura 1.29. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Bis durante el segundo semestre de 2009.

Inclinómetro Electrónico Lisa

Esta estación continua mostrando fluctuaciones en sus 2 componentes. El comportamiento deflacionario mostrado en el primer semestre de 2009 continuó hasta Septiembre de 2009, con registro de cambios acumulados para este semestre de 171.88 y 99.53 μ rad en las componentes Norte y Este respectivamente. A partir de esta fecha, la componente Norte presentó un comportamiento cíclico, mientras la componente Este registró una tendencia descendente con un cambio de -15 μ rad (Fig. 1.30).

Inclinómetro Electrónico Recio

El comportamiento de esta estación durante el segundo semestre de 2009 se caracterizó por mostrar fluctuaciones, las cuales fueron más marcadas en la componente Este. En general las 2 componentes mantienen estabilidad (Fig. 1.31).



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

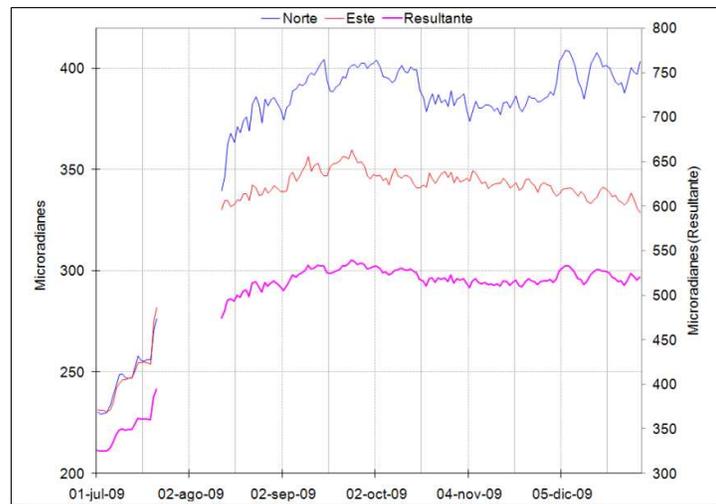


Figura 1.30. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Lisa durante el segundo semestre de 2009.

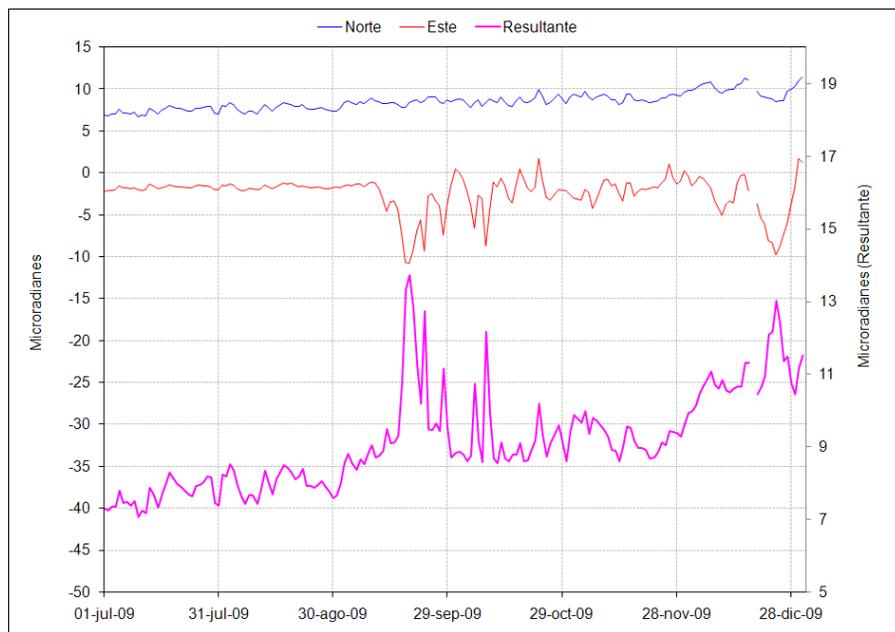


Figura 1.31. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Recio durante el segundo semestre del año 2009.

Inclinómetro Electrónico Refugio

El inclinómetro electrónico Refugio mostró un comportamiento fluctuante durante el segundo semestre de 2009. La componente Norte mantuvo estabilidad hasta finales de Octubre, fecha a partir de la cual se aprecia un ligero ascenso con registro de un cambio de +15.35 μ rad. La componente Este mostró un comportamiento cíclico, con ascenso durante Julio y Agosto y registro de un cambio acumulado de



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

+47.95 μ rad; descenso durante Septiembre y Octubre y registro de un cambio acumulado de -44.36 μ rad; y registro de muchas fluctuaciones finalizando el semestre (Fig. 1.32).

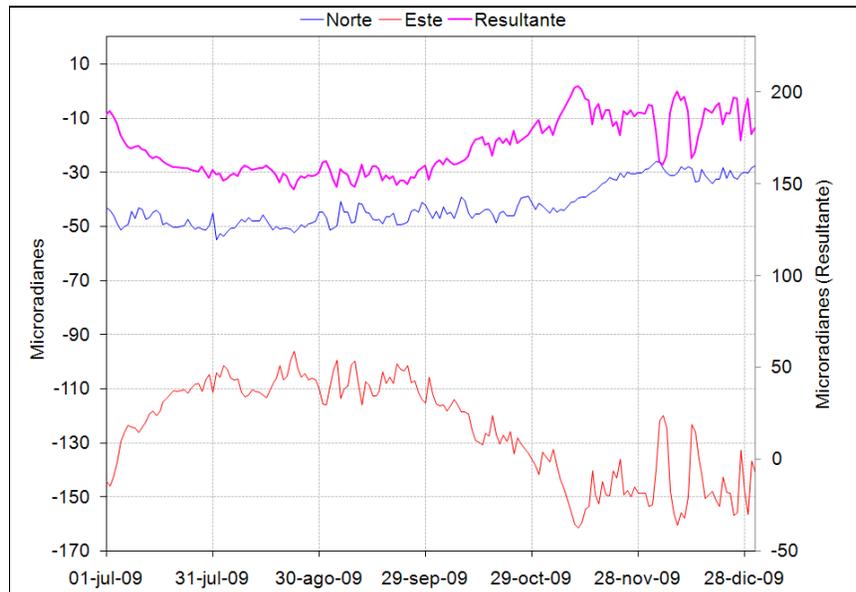


Figura 1.32. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Refugio durante el segundo semestre de 2009.

1.3.3.5 Comportamiento de líneas EDM

Durante el segundo semestre del 2009 se realizaron 3 mediciones de los reflectores EDM del VNR a partir de la base EDM Refugio. En general todas las líneas muestran estabilidad (Fig. 1.33).

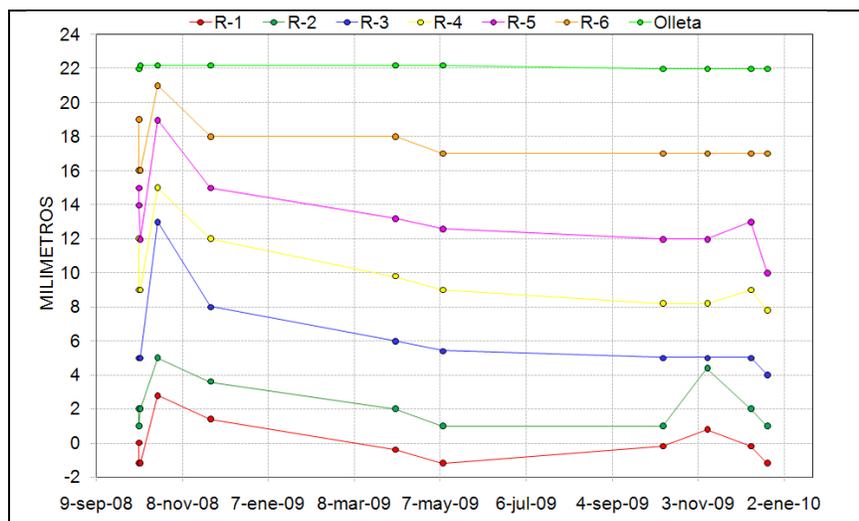


Figura 1.33. Comportamiento de los reflectores Refugio-1, Refugio-2, Refugio-3, Refugio-4, "Refugio-5, Refugio-6 y Olleta medidos desde la base EDM Refugio, desde Septiembre de 2008 hasta Diciembre de 2009.



1.4 VOLCAN NEVADO DEL TOLIMA (VNT)

1.4.1 SISMOLOGIA

El Volcán Nevado del Tolima presentó un nivel bajo de actividad sísmica durante el segundo semestre de 2009. Se registraron un total de 23 eventos sísmicos asociados a fracturamiento de roca (Tipo VT), de bajas magnitudes las cuales oscilaron entre -0.4 y 0.95 en la escala de Richter, a excepción de un evento registrado el día 26 de Agosto, el cual tuvo una magnitud de 2.2 en la escala de Richter y se localizó al noreste del cráter a una profundidad de 3.9 km; este evento sísmico marca el máximo pico de energía durante el semestre (Fig. 1.34). La Figura 1.35 muestra el número de sismos diarios.

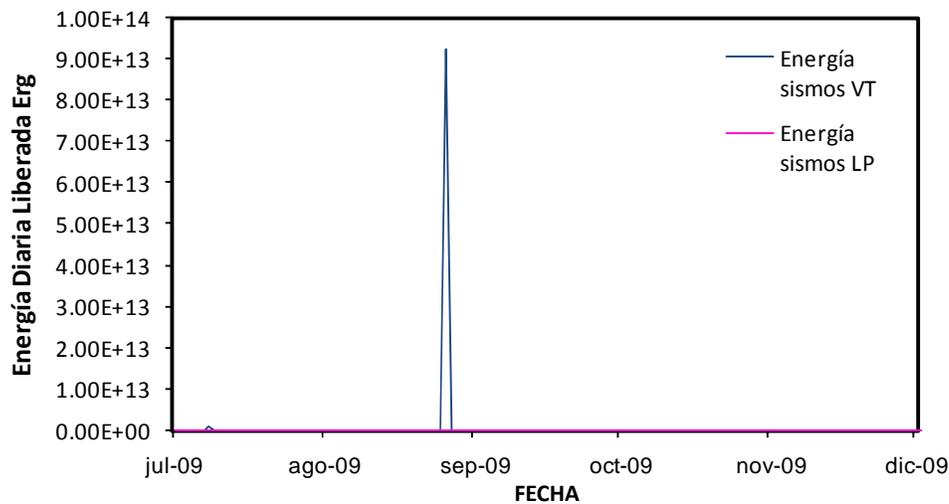


Figura 1.34. Energía sísmica liberada diaria, VNT segundo semestre 2009.

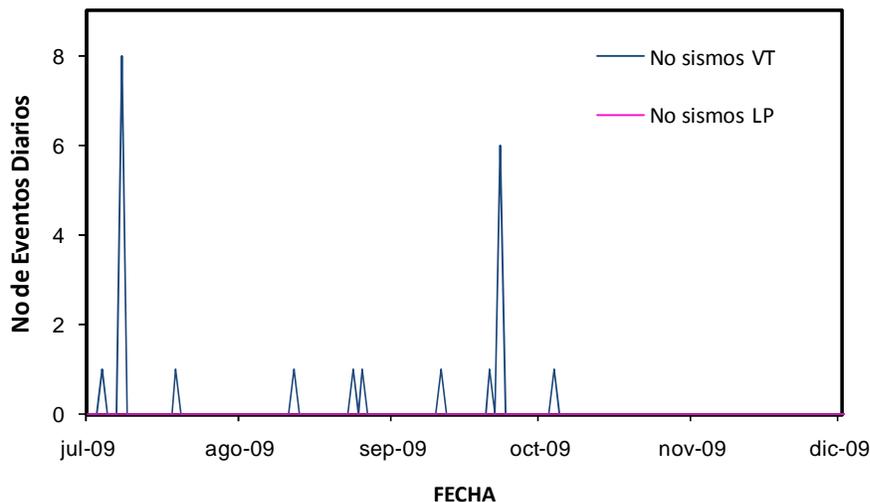


Figura 1.35. Número de sismos diarios, VNT segundo semestre 2009



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

Por otra parte, fueron registradas una gran cantidad de pequeñas avalanchas de roca, producidas por el deshielo del casquete glaciar. Un total de 1289 señales sísmicas asociadas a avalanchas fueron registradas durante el segundo semestre de 2009 (Figura 1.36), presentando un considerable incremento con relación al primer semestre del mismo año, y al mismo semestre del año 2008. Las altas temperaturas registradas en la región y en el país conllevan a una aceleración del deshielo del glaciar, y por consiguiente a la generación de avalanchas.

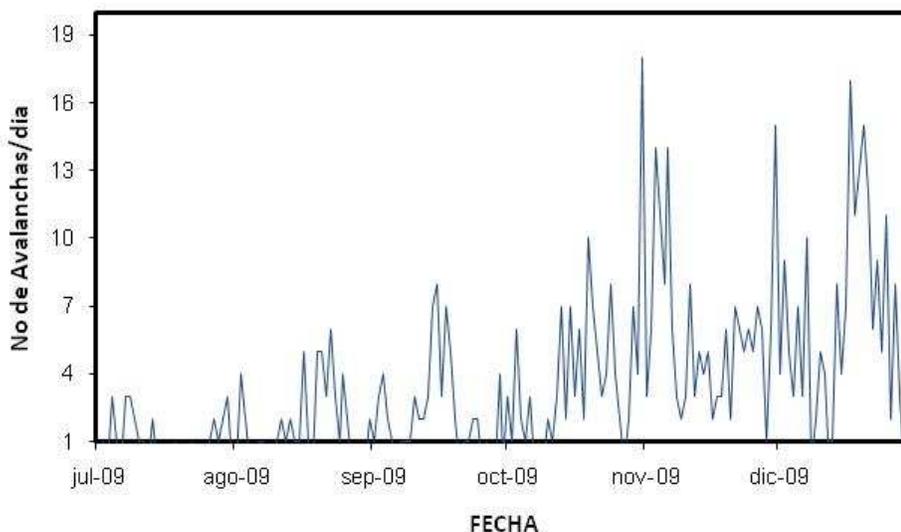


Figura 1.36. Número de avalanchas diarias en el VNT. Segundo semestre 2009

En general, la actividad sísmica del VNT se mantiene en niveles bajos.

1.5 VOLCAN CERRO MACHIN (VCM)

1.5.1 SISMOLOGIA

El VCM mostró un nivel bajo a medio en la actividad sísmica durante el segundo semestre de 2009, mostrando un incremento tanto en el número de sismos como en la energía liberada con relación al primer semestre de 2009. La actividad sísmica se caracterizó básicamente por la ocurrencia de sismos asociados a fracturamiento de roca (Tipo VT), presentándose incrementos en la actividad sísmica en los meses de Julio, Agosto, Septiembre, Octubre y Diciembre (Fig. 1.37 y 1.38). Durante el semestre se presentaron nueve enjambres sísmicos, entre los que se destaca el ocurrido el día 31 de Julio, fecha en la que se registraron 195 sismos entre las 10:14 y las 23:02 (hora local). El evento de mayor magnitud del enjambre coincide con el de mayor magnitud del semestre, y corresponde a la señal sísmica registrada el 31 de Julio a las 16:47 de magnitud 2.78 en la escala de Richter (Fig. 1.39), el cual se reportó sentido por los habitantes de la zona. Esta sismicidad se localizó al SW del domo principal.

La sismicidad volcano-tectónica (VT) se localizó principalmente bajo del domo principal y al sur del mismo con profundidades que oscilaron predominantemente entre 2 y 4 km (Fig. 1.40). Algunos eventos se localizaron hacia el sureste del edificio volcánico, cerca a la estación de Alejandría con un rango de profundidad mayor entre 5 y 10 km. En total fueron localizados 294 sismos.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

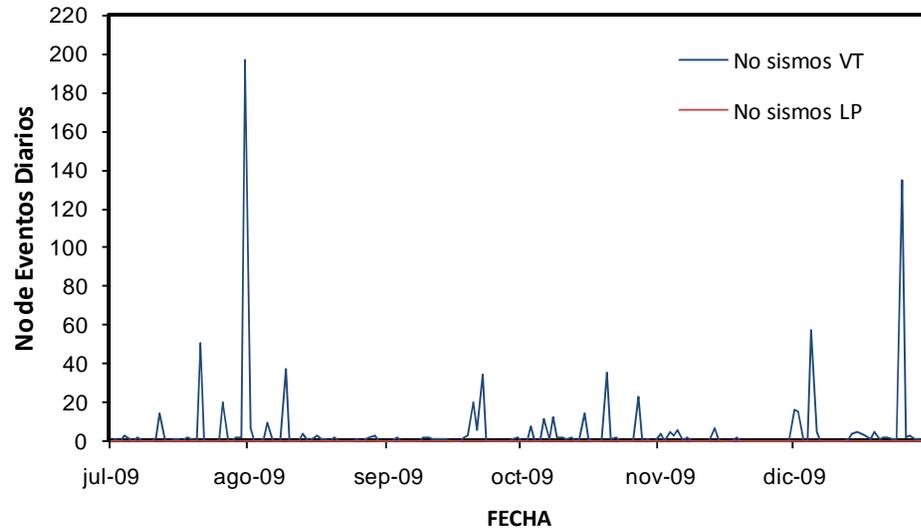


Figura 1.37. Número diario de sismos VCM, segundo semestre 2009.

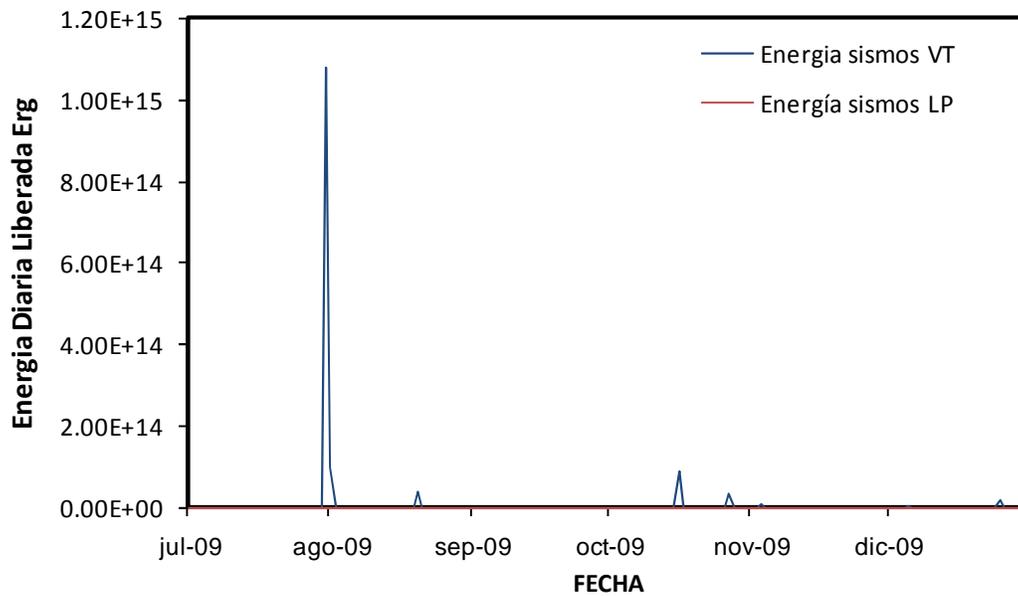


Figura 1.38. Energía sísmica liberada diaria VCM, segundo semestre 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

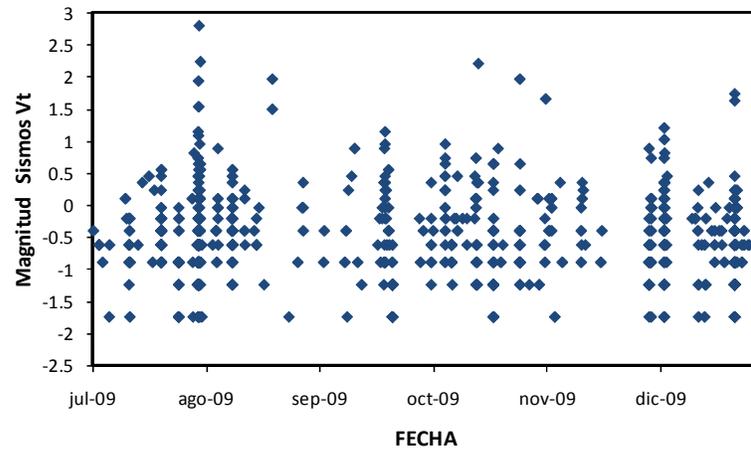


Figura 1.39. Distribución de magnitudes VCM, segundo semestre 2009.

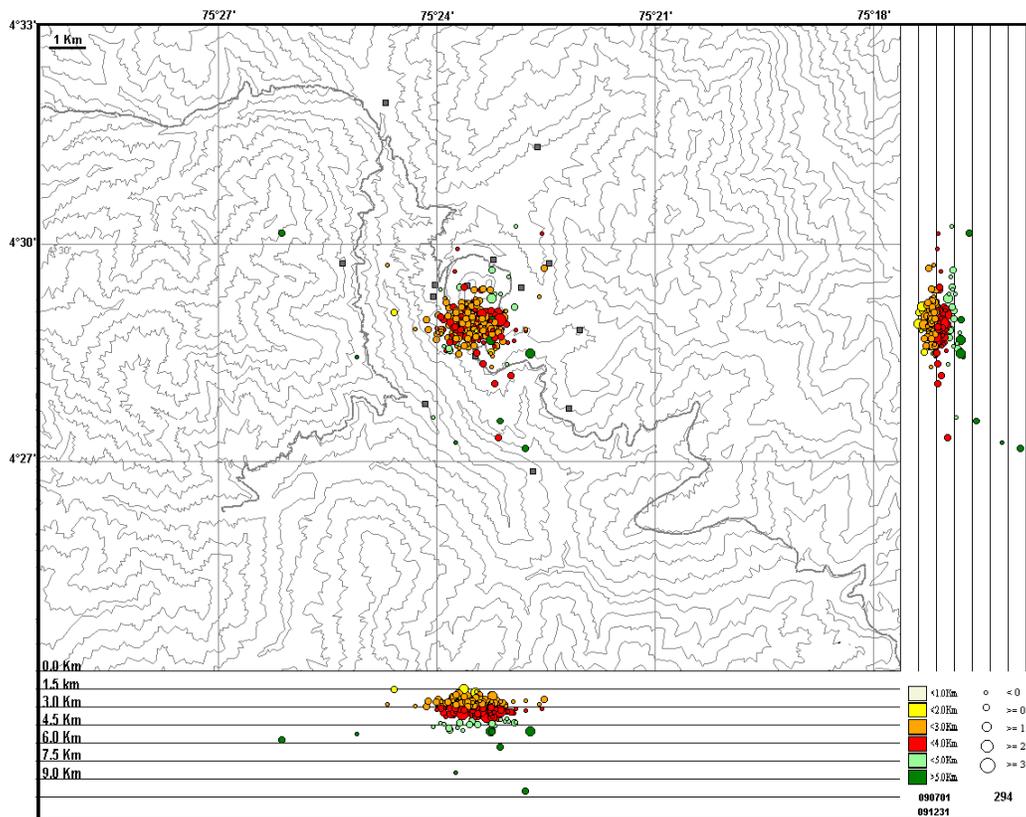


Figura 1.40. Localización hipocentral de sismos VT en el VCM, segundo semestre 2009.



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

1.5.2 OTROS MÉTODOS GEOFÍSICOS

Durante el segundo período de 2009 el sensor acústico (Anillo) registró en Julio algunas señales asociadas a la actividad del VCM. A principios de Diciembre durante las labores de mantenimiento de las estaciones, se detectó una interferencia por la transmisión de datos de inclinometría electrónica en la repetidora, lo que impidió la correcta transmisión de datos del sistema acústico.

El 7 de Julio se instaló un segundo magnetómetro, AGUAS CALIENTES. A lo largo del segundo semestre tanto el magnetómetro de AGUAS CALIENTES como el de DOMO presentan problemas en funcionamiento y en la transmisión de datos, los cuales fueron solucionados definitivamente el 14 de Noviembre. Las gráficas de las figuras 1.41 y 1.42 muestran que ambos instrumentos registran cambios en el campo magnético total.

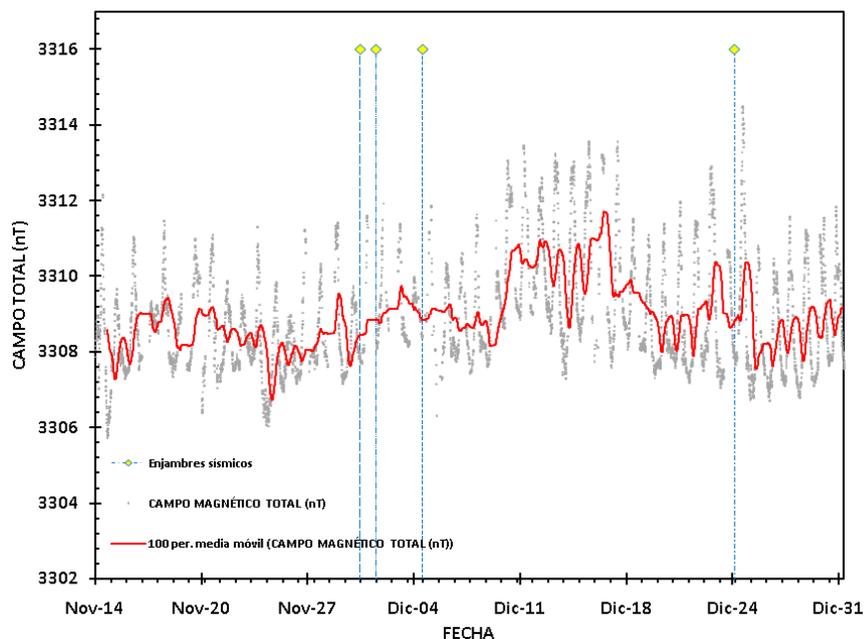


Figura 1.41. Variaciones del campo magnético en el VCM. Estación AGUAS CALIENTES, segundo semestre de 2009.

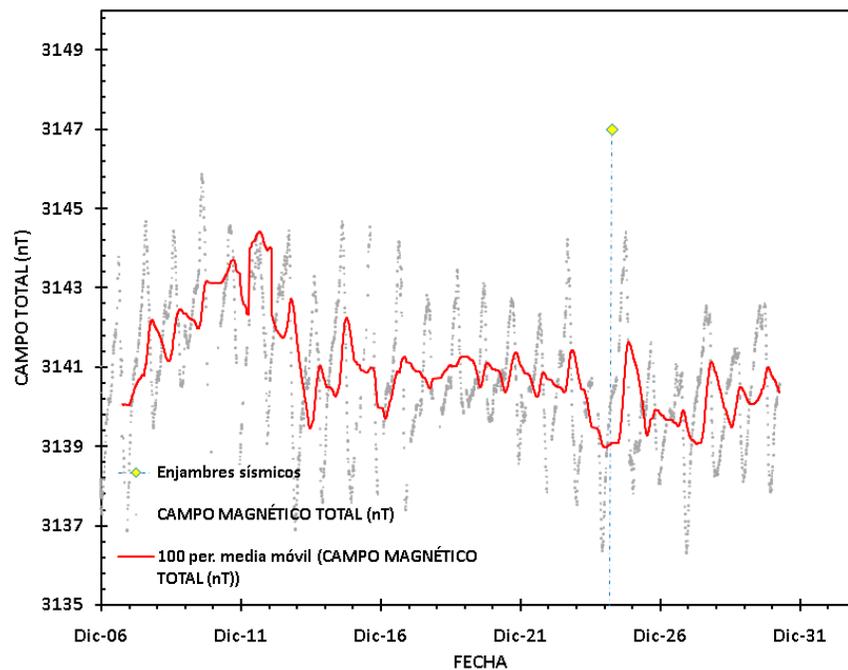


Figura 1.42. Variaciones del campo magnético en el VCM. Estación DOMO segundo semestre de 2009.

1.5.3 GEOQUÍMICA

Durante el segundo semestre del 2009 se realizaron muestreos y análisis in situ y en laboratorio de 2 fuentes termales aledañas al VCM. Se tomaron muestras de gases utilizando Botellas de Giggenbach en la Fumarola la Macha y se analizó la difusión de gas radón en suelo en diez estaciones.

1.5.3.1 Emisiones de Gas Radón

Durante el segundo semestre del 2009 se instalaron 6 nuevas estaciones para el monitoreo de gas radón y CO₂ en suelo. En la Tabla 1.1 se aprecia las coordenadas de cada una de las estaciones mencionadas.

Los resultados parciales hasta Diciembre se aprecian en la Figura 1.43, allí se observa que la difusión de gas radón fue constante para cinco estaciones. Se presentaron picos de difusión en la estación Las Palmas en el mes de Noviembre, donde pasó de 800 pCi/L a 2300 pCi/L.

La variación de los niveles de Radón en las estaciones Anillo, Primavera, San Lorenzo y Tunjos se aprecian en la Figura 1.44. Esta figura muestra que los valores medidos fueron constantes durante el segundo semestre. En la estación Anillo se presentó un incremento importante en el mes de Octubre; el día 01 mostró un valor de 1648 pCi/L y para el día 18 descendió a 358 pCi/L.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

Tabla 1.1. Coordenadas de las nuevas estaciones para el monitoreo de gas radón y CO₂ en suelo, VCM.

FECHA	NOMBRE ESTACIÓN	COORDENADAS
090925	Rodeo	4°29.589'N 75°23.587'W 2370 msnm
090925	Las Palmas	4°29.629'N 75°23.170'W 2498 msnm
090925	La Violeta	4°29.521'N 75°23.044'W 2581 msnm
091008	Laguna 1	4°29.608'N 75°22.915'W 2452 msnm
091008	Laguna 2	4°29.367'N 75°22.722'W 2506 msnm
091008	Gena	4°29.078'N 75°22.713'W 2553 msnm

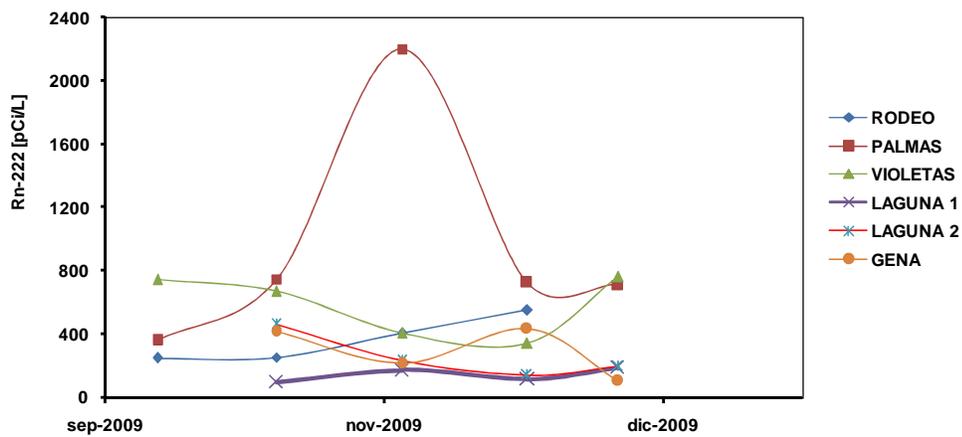


Figura 1.43. Variación de los Niveles de Radón en suelo en Nuevas estaciones instaladas. VCM. Segundo Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

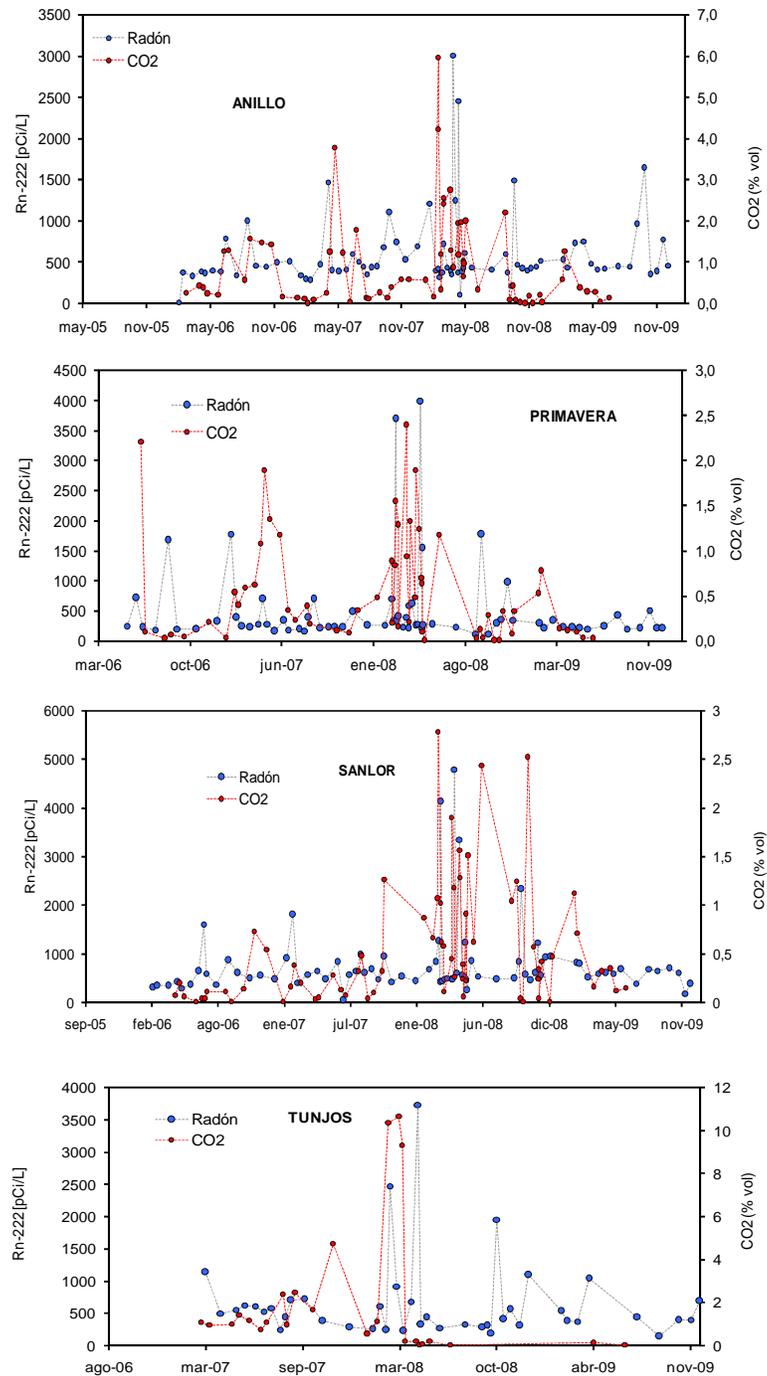


Figura 1.44. Variación de los niveles de Radón en suelo VNR. Segundo Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

En lo referente a la concentración de CO₂ en las estaciones, en la Tabla 1.2. se aprecia los datos de los meses de Octubre y Noviembre. Estos datos sirven de base para realizar medidas de la línea base de difusión de CO₂ en éstos suelos.

Tabla 1.2. Medida de la concentración de CO₂ (%v/v) en Nuevas Estaciones VCM.

FECHA	Rodeo	Palmas	Violetas	Laguna 1	Laguna 2	Gena
29/10/2009	0.12	0.17	5.8	0.35	1.6	0.16
13/11/2009	0.30	0.11	5.53	0.47	3.66	0.63

1.5.3.2 Fuentes termales

Se realizó monitoreo durante el segundo semestre a dos fuentes termales ubicadas en el VCM: La Piscina o Aguas calientes y Estatuas.

- **Piscina**

El análisis de las aguas de la fuente termal Piscina muestran variaciones en su temperatura de acuerdo a mediciones de meses anteriores, su promedio hasta el primer semestre fue de 79°C mientras que para el segundo semestre estuvo en 83°C, el pH mantuvo un promedio de 8.11 y la conductividad se mantuvo estable en las últimas mediciones del semestre (ver Fig. 1.45)

- **Estatuas**

La Fuente Termal Estatuas también presentó cambios en sus parámetros fisicoquímicos, especialmente en el pH el cual disminuyó paulatinamente durante el segundo semestre de 2009, sus valores de los últimos meses fueron: Junio 8.67; Julio 8.63; Agosto 7.81; Septiembre 8.0; Octubre 7.62; Noviembre 7.54 y Diciembre 7.63. La temperatura se mantuvo en promedio en 92°C. En la Figura 1.46 se muestra el comportamiento antes mencionado.

En lo referente a la concentración de iones mayoritarios, durante las mediciones realizadas el segundo semestre no se presentaron variaciones; los valores medidos en partes por millón (ppm) fueron constantes en la Fuente Termal Piscina tanto para el contenido de Cloruros como para el contenido de Sulfatos (ver Fig.1.47).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

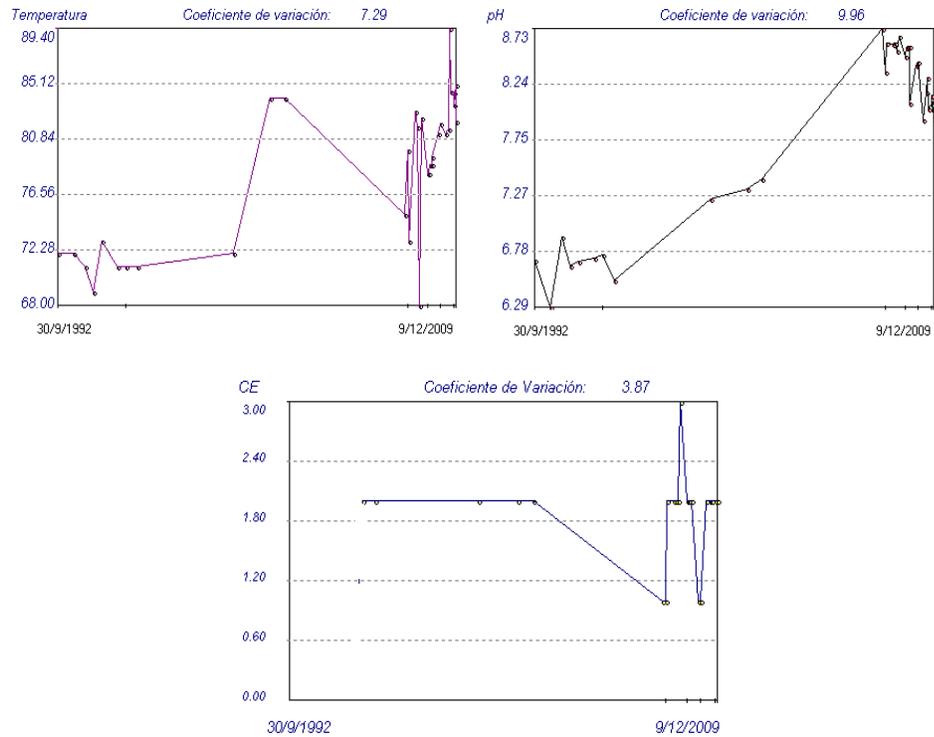


Figura 1.45. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Piscina VCM. Segundo Semestre de 2009.

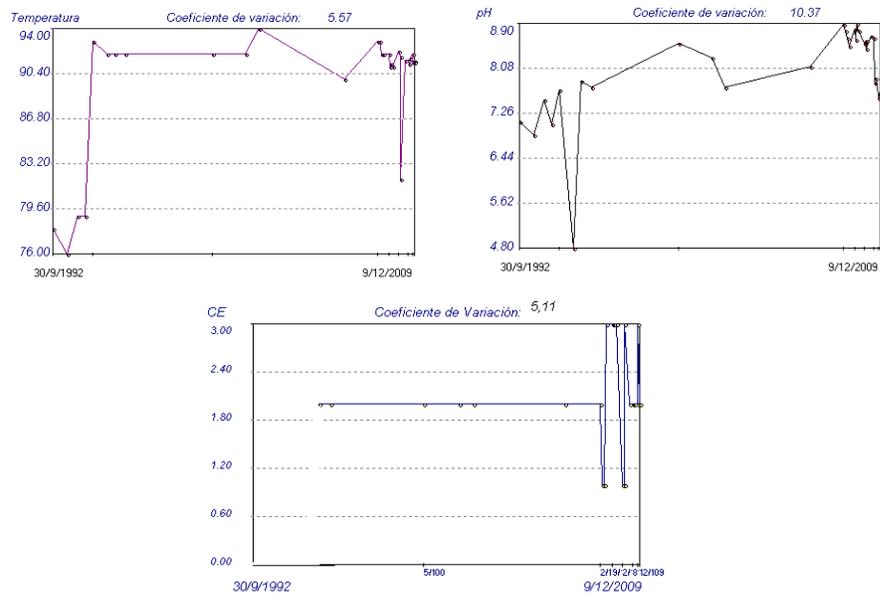


Figura 1.46. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Estatuas VCM. Segundo semestre de 2009.



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

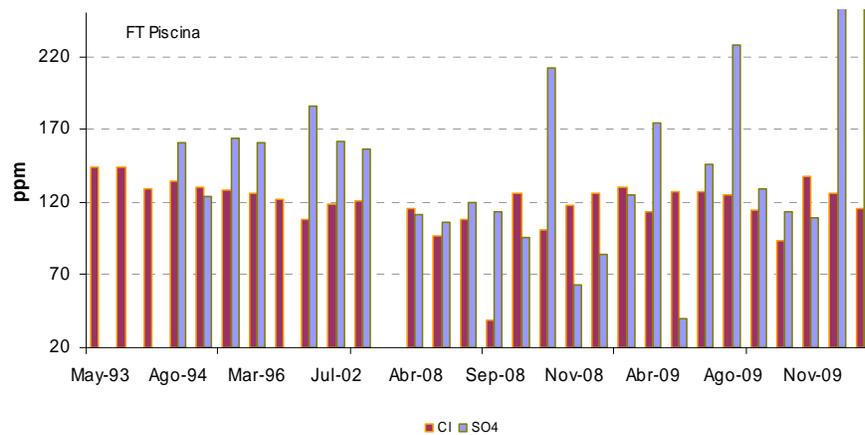


Figura 1.47. Variación de iones mayoritarios en la FT Piscina VCM. Segundo semestre de 2009.

El contenido de aniones mayoritarios de la Fuente Termal Estatuas (Fig.1.48) presentó algunos cambios, especialmente en el contenido de Sulfatos en las medidas realizadas en el mes de diciembre, su promedio hasta el mes de Noviembre fue de 160 ppm y en la última medida superó las 300 ppm. Este incremento puede estar relacionado a posibles reacciones de los iones sulfato con iones H⁺ ya que como se mostró anteriormente el pH ha disminuido lo cual afecta el contenido de iones sulfato disueltos. El contenido de Cloruros permaneció constante en el segundo semestre de 2009.

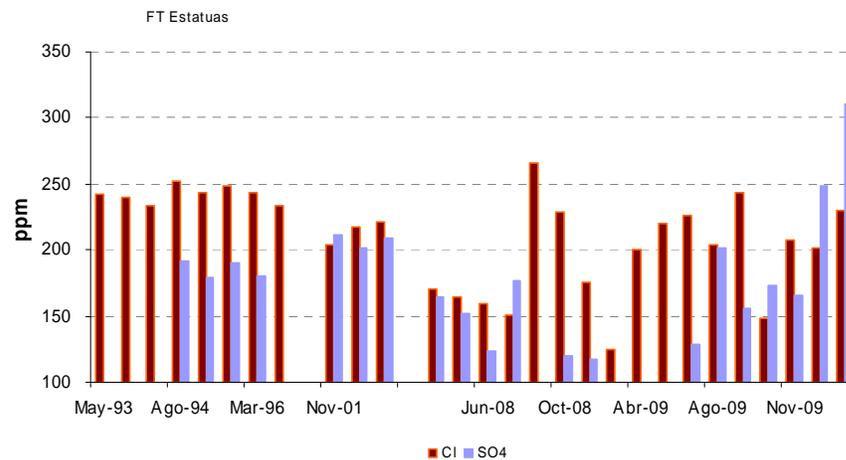


Figura 1.48. Variación de iones mayoritarios en la FT Estatuas VCM. Segundo Semestre de 2009.

1.5.3.3 Gases volcánicos

Para el segundo semestre del 2009 se realizó muestreo directo en fumarola utilizando Botellas de Giggenbach (BG); los resultados parciales de los análisis muestran que se presentaron cambios importantes en el porcentaje Molar en Base Seca del SO₂, especialmente en las medidas realizadas en el mes de Agosto, en donde pasó de ser negativo a contener un 18%. Luego en el mes de Septiembre, mostró nuevamente un descenso brusco llegando casi al 0.05%, y en las medidas de Octubre, Noviembre y Diciembre sus valores no superaron el 5%, este comportamiento muestra que se presentó algún tipo de flujo puntual durante el muestreo ya que durante las medidas del primer semestre no se encontró contenido de SO₂ cuantificable. Otro componente que fluctuó durante todo el segundo semestre



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

fue el %H₂S, algunas veces se pudo cuantificar y mostró valores cercanos al 3%; el contenido de St y HCl fue constante durante todas las mediciones (ver Fig. 1.49). Este incremento en el mes de Agosto, es correlacionable con el aumento de la sismicidad a finales del mes de julio, lo que podría estar indicando una intrusión de magma, la cual luego se vio reflejada en un incremento en la liberación de SO₂ en superficie.

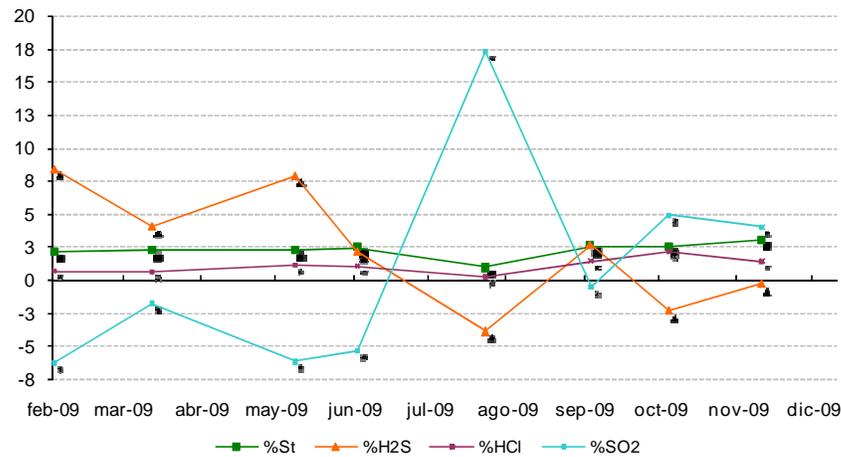


Figura 1.49. Variación en el contenido parcial de la descarga de Gases en Fumarola La Macha. VCM. Segundo Semestre de 2009.

1.5.3.4 Monitoreo de Temperatura en el campo Fumarólico

En el segundo semestre de 2009 la temperatura en el campo fumarólico del Volcán Cerro Machín no mostró variaciones importantes en sus valores, el promedio de la temperatura fue de 88.7°C (ver Fig. 1.50)

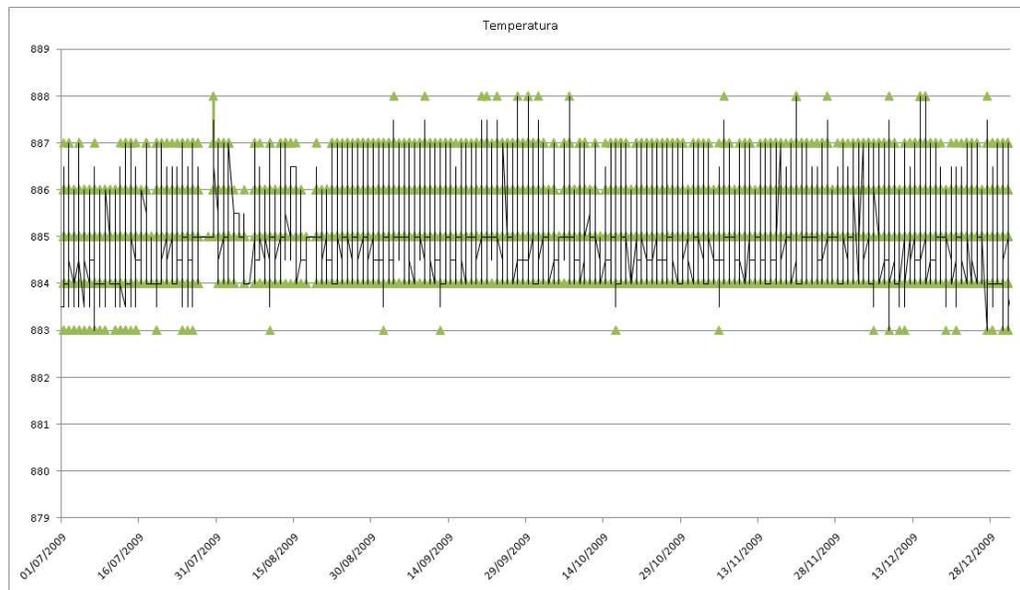


Figura 1.50. Variación de la temperatura en el campo fumarólico. VCM. Segundo Semestre de 2009.



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

1.5.4 DEFORMACIÓN.

1.5.4.1 Red de deformación

En la Figura 1.51 se aprecia la red de deformación del VCM (Diciembre de 2009), la cual está constituida por 4 inclinómetros electrónicos telemétricos (Aguascalientes, Anillo, Laguna y Rodeo), 4 inclinómetros secos (Aguascalientes, Eucalipto, Laguna y La Secreta), 4 vectores de nivelación (Domo, Eucalipto, La Secreta y Rodeo), 6 bases EDM (Anillo Alto, Anillo Bajo, La Palma, Laguna, Rodeo y San Lorenzo) y 8 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.

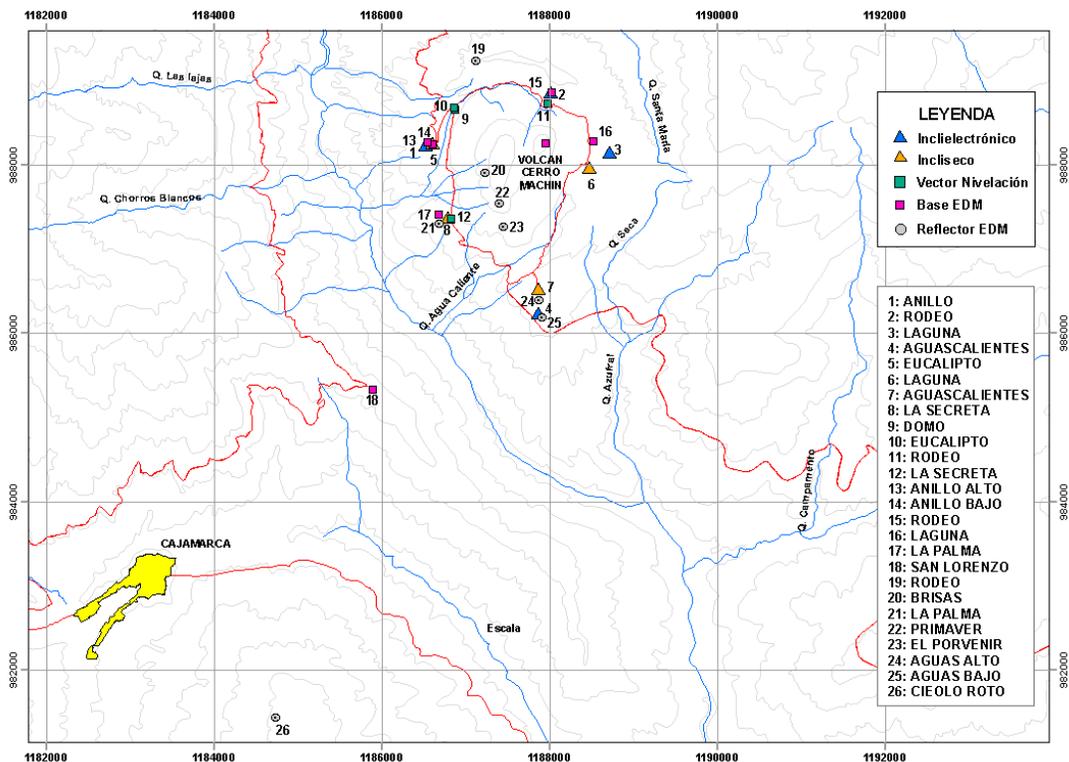
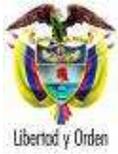


Figura 1.51. Red de deformación del VCM (Diciembre de 2009), mostrando la distribución de inclinómetros secos (triángulos naranja), vectores de nivelación (cuadros verdes), bases EDM (cuadros magenta) y reflectores EDM (círculos grises).

1.5.4.2 Comportamiento inclinómetros secos

Incliseco Aguascalientes

El incliseco Aguascalientes mostró una tendencia descendente desde su instalación hasta Julio de 2007, fecha a partir de la cual se viene registrando una tendencia inflacionaria especialmente en la componente Este, con registro de cambio acumulado de +25 μ rad, mientras la componente Norte presenta algunas fluctuaciones (Fig. 1.52).



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

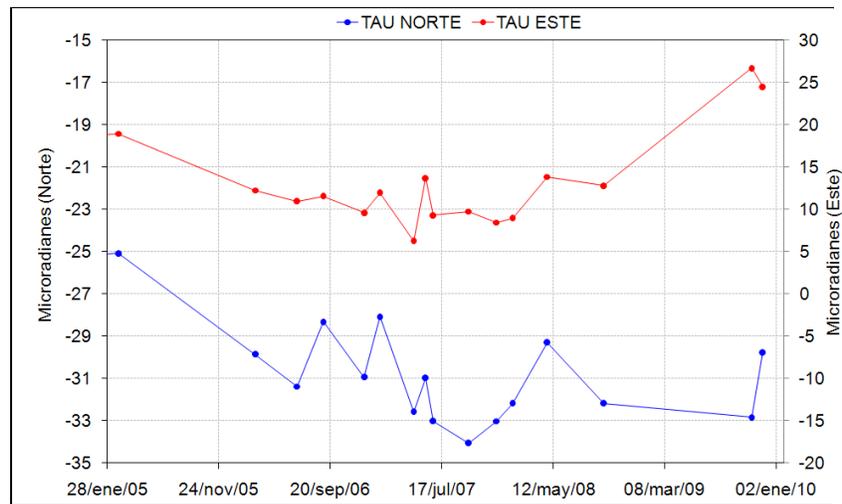


Figura 1.52. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro Aguascalientes desde 2005 hasta Diciembre de 2009.

Inclinómetro Seco Laguna

Esta estación muestra un comportamiento similar al inclinómetro Aguascalientes, registrando una clara tendencia deflacionaria desde 1987 hasta Julio de 2007, fecha en la cual se cambió su comportamiento y se empezó a mostrar una tendencia inflacionaria en las componentes Norte y Este, con registro de cambios acumulados de +5 y +23 µrad respectivamente (Fig. 1.53).

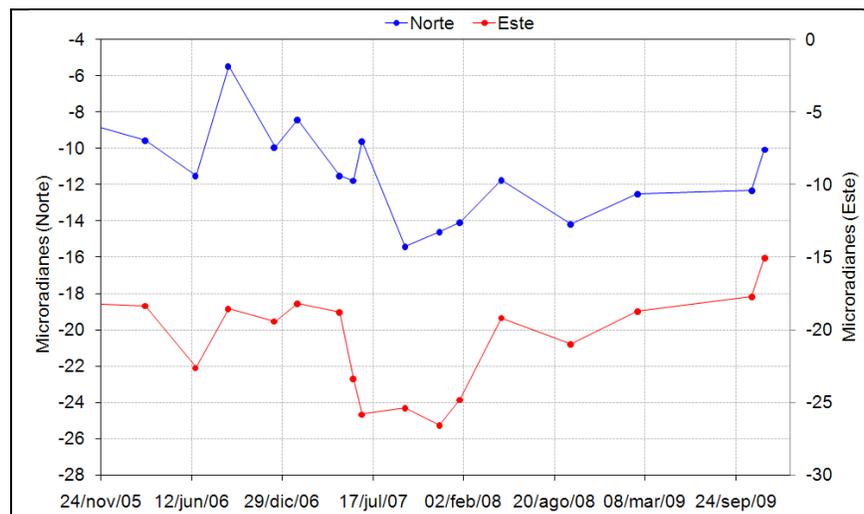


Figura 1.53. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro La Laguna desde 2005 hasta Diciembre de 2009.



INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

Incliseco Eucalipto

Esta estación se mantuvo estable desde 1996 hasta 2006, fecha en la cual hubo un cambio en su comportamiento y se evidenció una marcada tendencia inflacionaria en las componentes Norte y Este, con registro de cambios acumulados de +10 y +11 μrad respectivamente (Fig. 1.54).

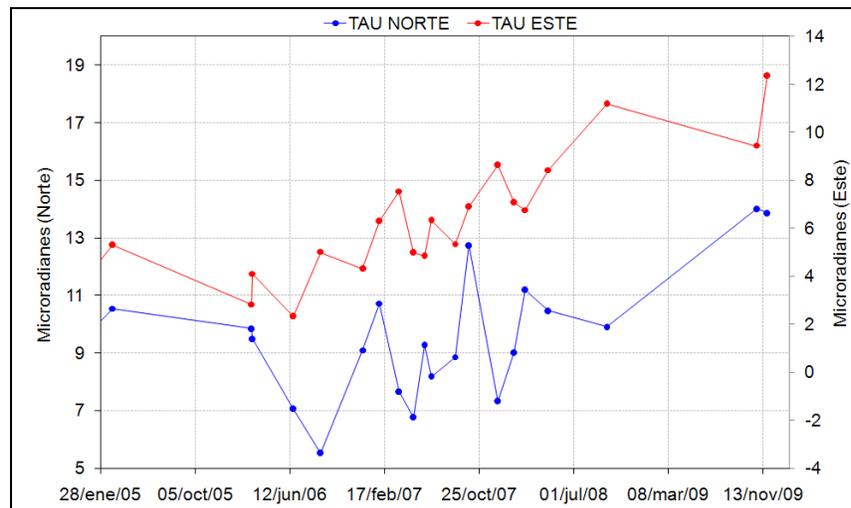


Figura 1.54. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el incliseco Eucalipto desde 2005 hasta Diciembre de 2009.

Incliseco La Secreta

Desde su Instalación en 1987 el incliseco La Secreta ha venido manifestando un comportamiento inflacionario en la componente Norte y un comportamiento deflacionario en la componente Este, con un registro de cambios acumulados de +393 y de -513 μrad respectivamente (Fig. 1.55).

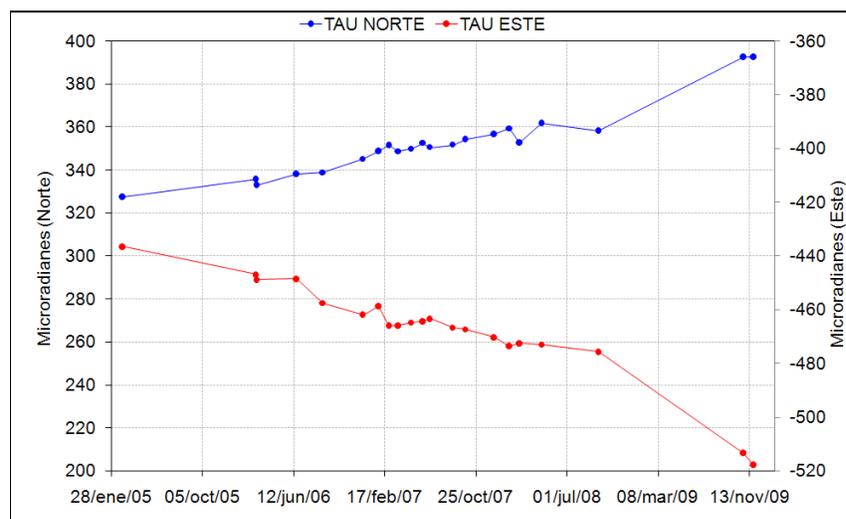


Figura 1.55. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el incliseco La Secreta desde 2005 hasta Diciembre de 2009.



1.5.4.3 Comportamiento vectores de nivelación

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 y una ligera tendencia deflacionaria (Fig. 1.56).

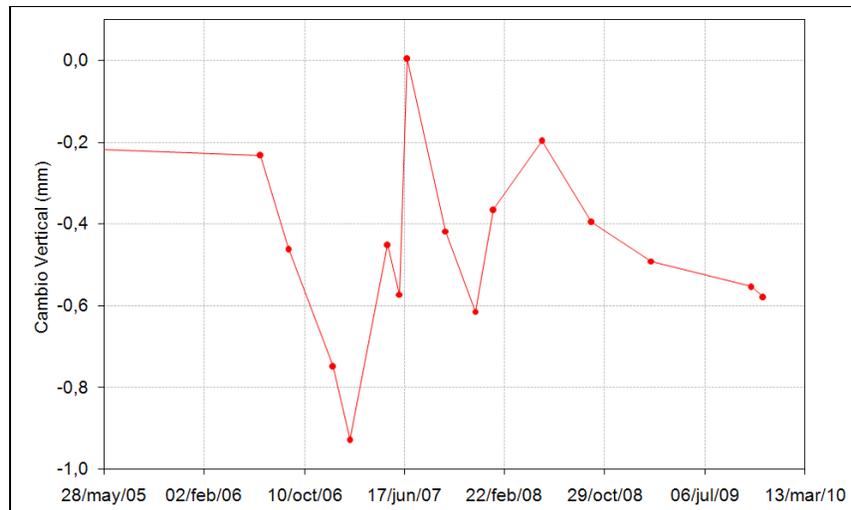


Figura 1.56. Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Rodeo desde 2005 hasta Diciembre de 2009.

Vector de Nivelación Domo

Esta estación ha mostrado una clara tendencia inflacionaria desde su instalación en 2007 con registro de un cambio acumulado de 3 mm hasta Diciembre de 2009 (Fig. 1.57).

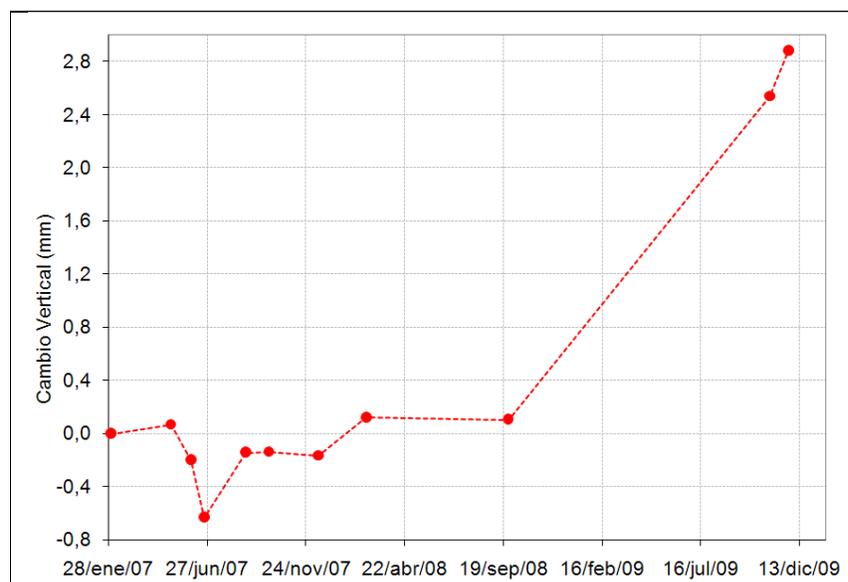


Figura 1.57. Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Domo desde 2007 hasta Diciembre de 2009.



Vector de Nivelación Eucalipto

El vector Eucalipto desde su instalación ha venido mostrando un claro comportamiento Inflacionario con registro de un cambio acumulado de 4 mm (Fig. 1.58).

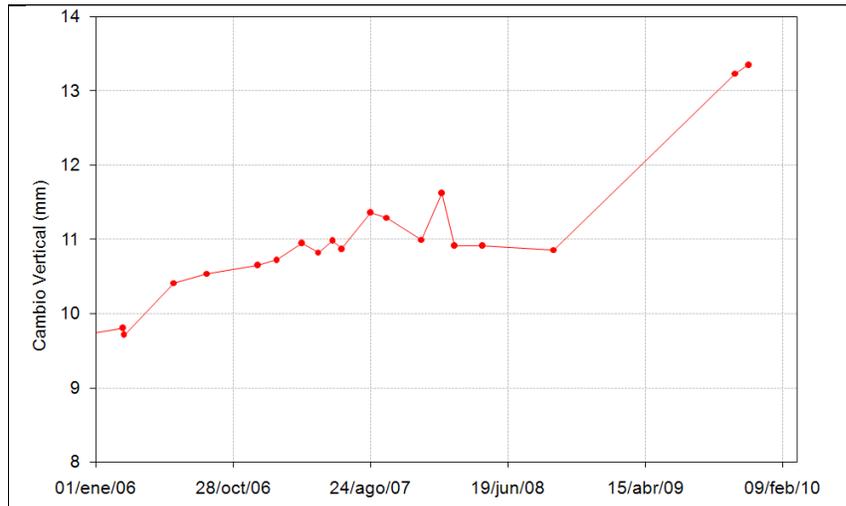


Figura 1.58. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Eucalipto desde 2006 hasta Diciembre de 2009.

Vector de Nivelación La secreta

Esta estación presenta pequeñas fluctuaciones menores de 1 mm y una clara tendencia deflacionaria, registrando un cambio acumulado de 2.5 mm desde 2005 hasta 2009 (Fig. 1.59).

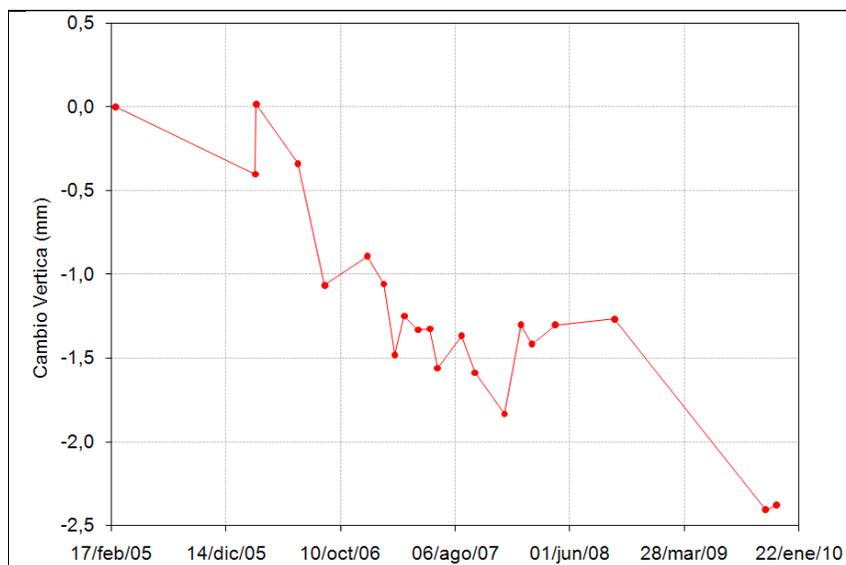


Figura 1.59. Comportamiento acumulado del vector de nivelación la Secreta desde 2005 hasta Diciembre de 2009.



1.5.4.4 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 electrónica para el registro 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 gradianes. 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.

Inclinómetro Electrónico Anillo

El comportamiento del inclinómetro Anillo durante el segundo semestre de 2009 continuó mostrando un claro comportamiento deflacionario hacia el SW del volcán, con algunas fluctuaciones al finalizar el semestre y registrando cambios acumulados de -69.56 y -80.87 μrad en las componentes Norte y Este respectivamente (Fig. 1.60).

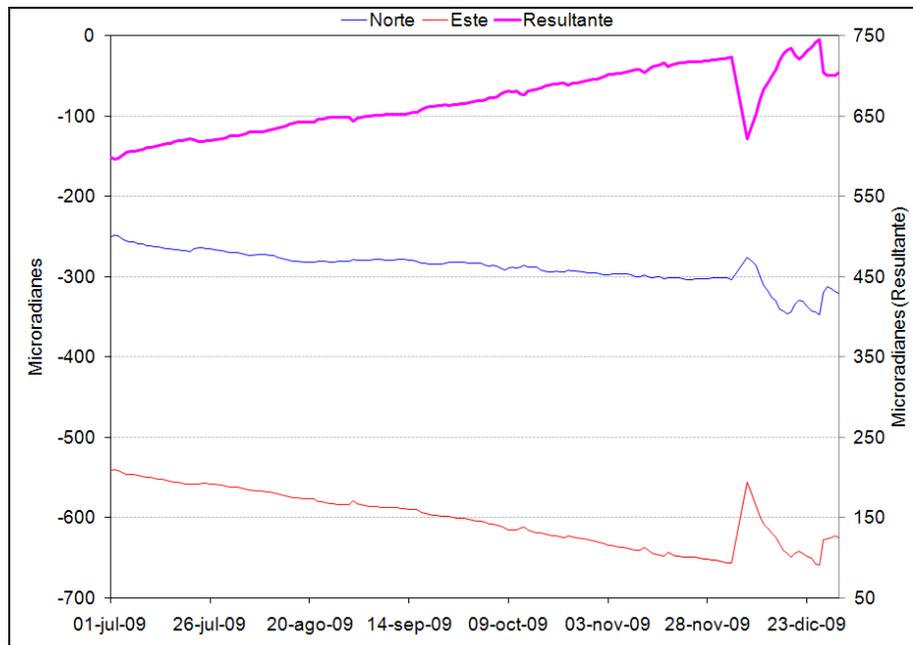


Figura 1.60. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Anillo durante el segundo semestre de 2009.

Inclinómetro Electrónico Aguascalientes

El comportamiento del inclinómetro Aguascalientes durante el segundo semestre de 2009 presenta un comportamiento muy fluctuante, pese a ello muestra una tendencia deflacionaria hacia el SW, con un registro de cambios acumulados de -373 y -264 μrad en las componentes Norte y Este respectivamente (Fig. 1.61).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

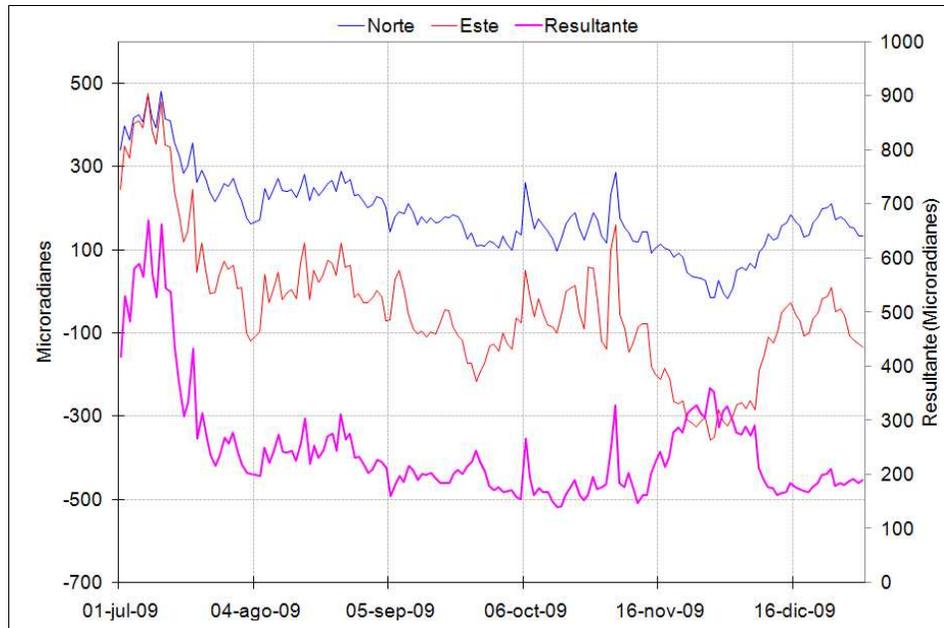


Figura 1.61. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Aguacalientes durante en el segundo semestre de 2009.

Inclinómetro Electrónico Laguna

El inclinómetro Laguna durante el segundo semestre de 2009 mostró un comportamiento fluctuante. La componente Norte mostró una clara tendencia deflacionaria con registro de cambio acumulado de +21 grad, mientras la componente Este se mantiene estable (Fig. 1.62).

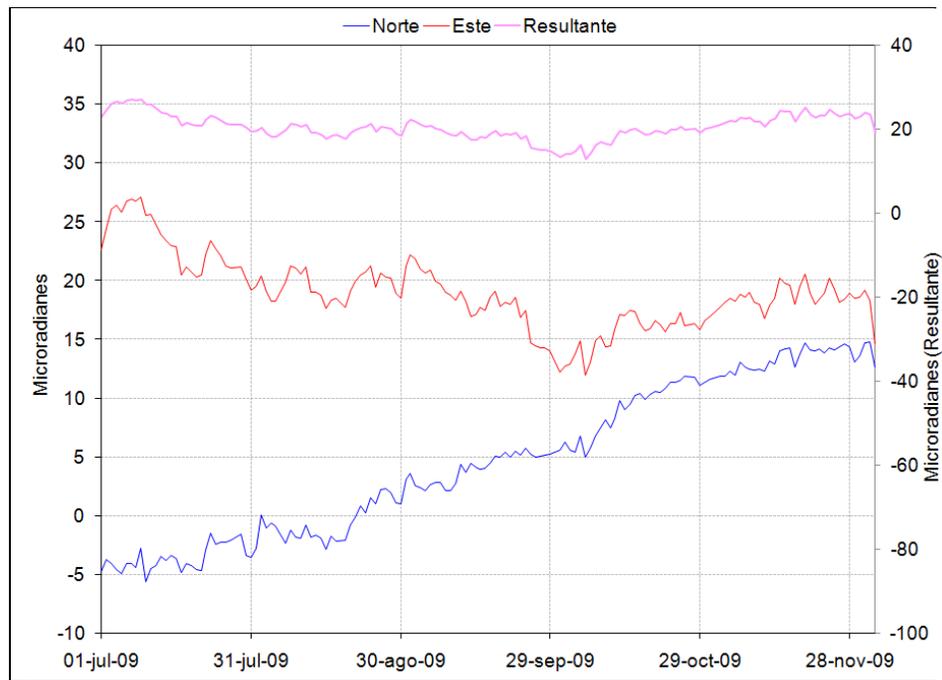


Figura 1.62. Comportamiento de las componentes Norte, Este y Resultante del inclinómetro electrónico Laguna durante en el segundo semestre del 2009.

Inclinómetro Electrónico Rodeo

El inclinómetro Rodeo continuó mostrando un comportamiento muy fluctuante más marcado en la componente Norte, la cual define una tendencia cíclica. Por otra parte, la componente Este muestra un comportamiento deflacionario con registro de un cambio acumulado de +48 μrad (Fig. 1.63). Es importante resaltar, que durante los últimos días de Diciembre no se registraron datos debido a problemas electrónicos en el sistema telemétrico.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

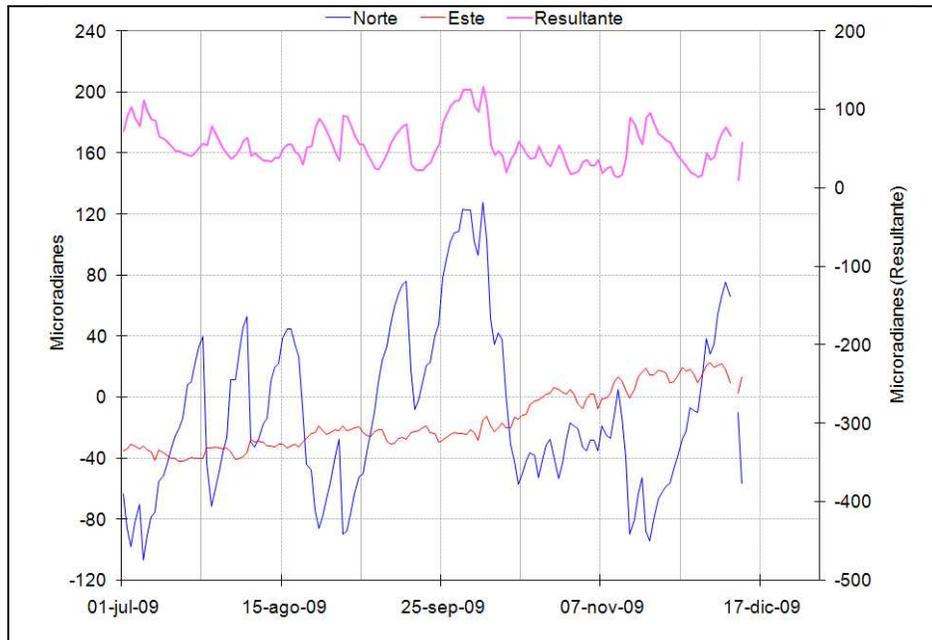


Figura 1.63. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y la Resultante del inclinómetro electrónico El Rodeo durante el segundo semestre del 2009.

1.5.4.5. Comportamiento de las líneas EDM

El comportamiento de las líneas EDM observadas desde la base San Lorenzo hacia los reflectores Aguacaliente-Alto, Aguacaliente-Bajo, Brisas, Cielo Roto, La Palma, Porvenir, Primavera y Rodeo, presentan un comportamiento muy estable desde su instalación el 15 de Octubre de 2008 (Fig. 1.64).

Durante el II semestre de 2009 se construyeron las bases EDM Anillo-Alto y Anillo-Bajo, Laguna, La Palma y Rodeo, y los reflectores Brisas-1 y Brisas-2. En el 2010 se iniciarán las observaciones de estas nuevas líneas EDM.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

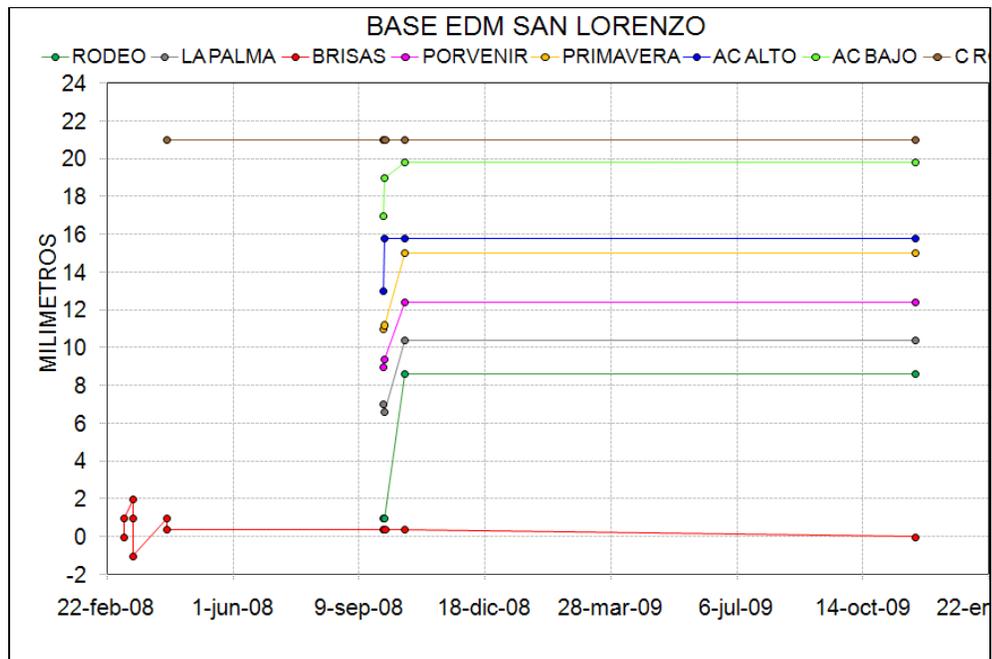


Figura 1.64. Comportamiento de los reflectores Aguacaliente-Alto, Aguacaliente-Bajo, Brisas, Cielo Roto, La Palma, Porvenir, Primavera y Rodeo durante el segundo semestre de 2009.

1.6 VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)

1.6.1 SISMOLOGÍA

El Volcán Cerro Bravo (VCB) durante el primer semestre de 2009 presentó un nivel bajo de actividad sísmica. En total se registraron 6 eventos sísmicos todos ellos relacionados con el tránsito de gases y fluidos al interior de los conductos volcánicos (Largo Período). La magnitud máxima de registrada fue 1.89 en la escala de Richter, la cual corresponde a un sismo presentado el día 18 de Septiembre. Las figuras 1.65 y 1.66 muestran la energía y el número de sismos diarios para el VCB. Con relación al primer semestre del 2009, la actividad sísmica mostró una disminución.

1.6.2 GEOQUÍMICA

Durante el segundo semestre de 2009 se realizaron medidas de gas radón en las estaciones Cerro Bravo 1 y Cerro Bravo 2, los resultados del análisis de difusión muestran que sus valores se mantuvieron estables, aunque se presentó un pequeño incremento en la última medida en la estación Cerro Bravo 1. El comportamiento de la concentración de Radón se aprecia en la Figura 1.67.

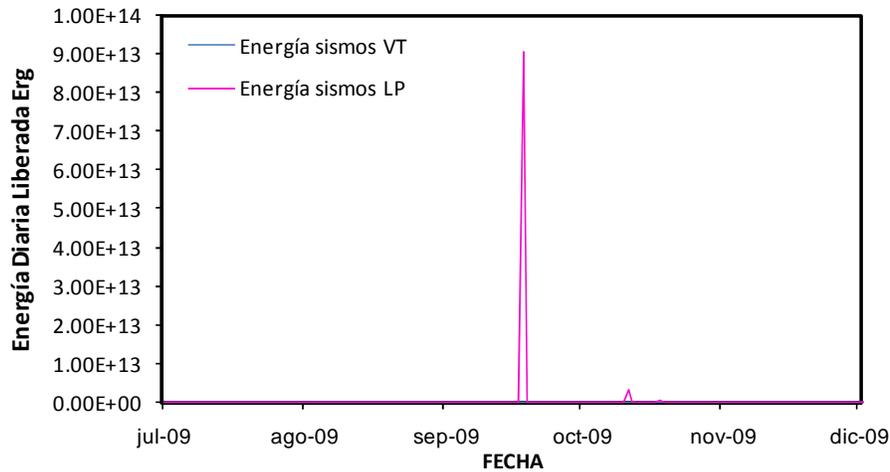


Figura 1.65. Energía liberada en el VCB. Segundo semestre 2009.

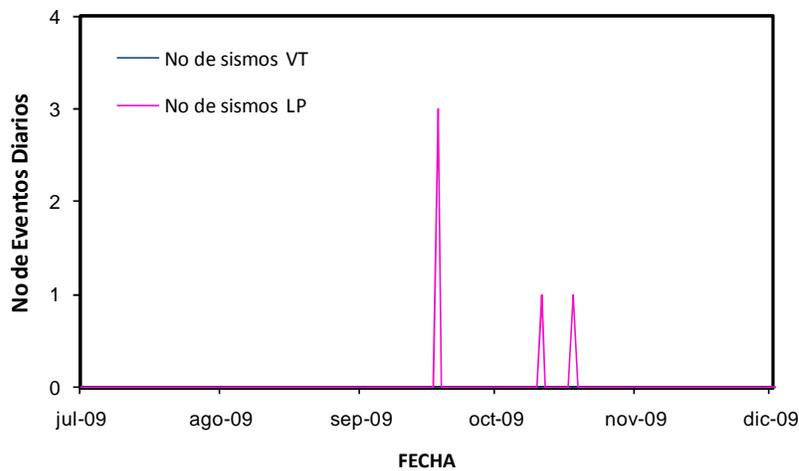


Figura 1.66. Número de sismos VCB. Segundo semestre 2009.

1.7 VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VCB)

1.7.1 GEOQUÍMICA

La vigilancia geoquímica para el Paramillo de Santa Rosa consistió en el muestreo de los nacimientos termales de los balnearios San Vicente y Santa Elena en el municipio de Santa Rosa de Cabal.

- Fuentes Termales

Los parámetros fisicoquímicos de los nacimientos termales muestreados durante el segundo semestre del año presentan algunas variaciones especialmente en el pH, ya que tanto los nacimientos de Santa Elena como los de San Vicente mostraron fluctuaciones en sus valores durante todas las medidas realizadas. Esto pudo ser ocasionado por infiltración con aguas meteóricas. La temperatura en todos los nacimientos en San Vicente permaneció constante, mientras que en Santa Elena se presentaron descensos, los cuales estuvieron más marcados en SEP3 y SEP5.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

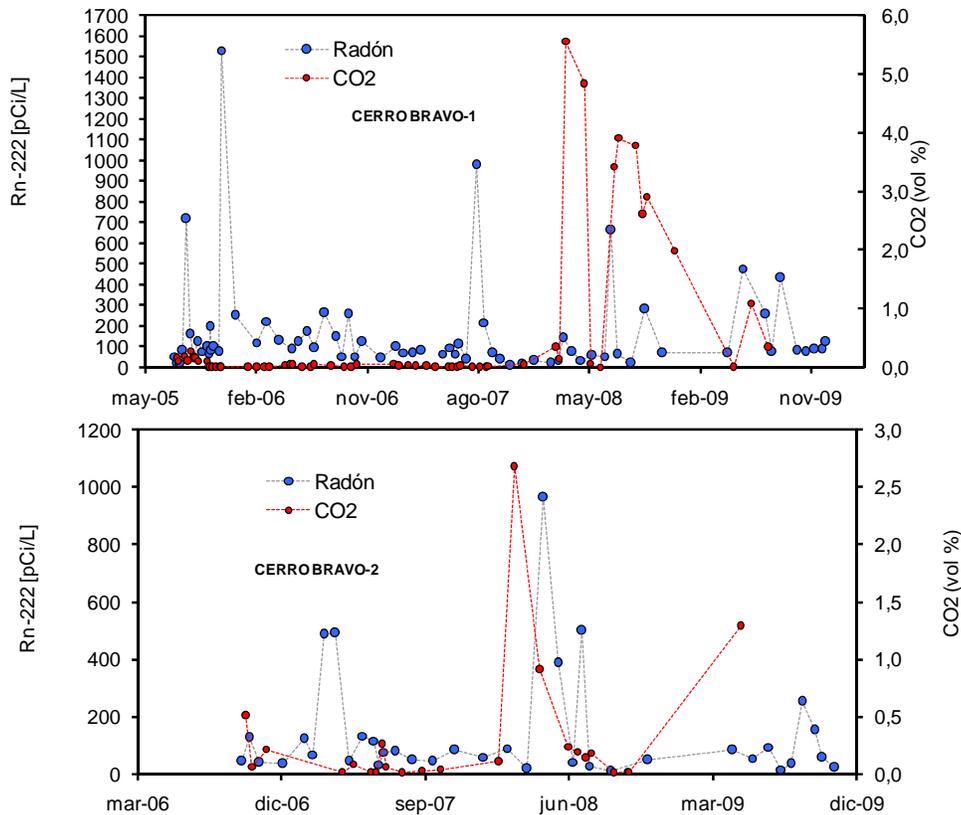


Figura 1.67. Variación de los Niveles de Radón en suelo. VCB. Segundo Semestre de 2009.

En cuanto a la conductividad, los nacimientos de San Vicente mostraron estabilidad mientras que en Santa Elena se presentaron leves incrementos, de acuerdo a los análisis realizados se observa una relación directa de conductividad con la naturaleza hidrogeoquímica y la temperatura de los acuíferos, ya que las aguas que tienen temperaturas menores a 60°C tienden más a permeabilizar con aguas superficiales y por lo tanto la presencia de electrolitos es más abundante. Las figuras 1.68 y 1.69 muestran el comportamiento antes expuesto.

Los análisis de aniones principales de los nacimientos manifiestan algunas variaciones, especialmente las muestras tomadas en los puntos SVP10 y SVP7 en donde pasaron de 1000 a 1500 ppm y de 1300 a 800 ppm. Los nacimientos de Santa Elena mostraron estabilidad aunque también se presentaron incrementos en todos los puntos muestreados (ver Fig. 1.70).

En cuanto al contenido de Sulfatos se presentaron pequeños cambios en su concentración para todos los nacimientos de San Vicente, mientras que los de Santa Elena mostraron incrementos importantes en su contenido, siendo más evidente para el punto SEP1, en la Figura 1.71 se aprecia el comportamiento de la concentración de SO_4 con el tiempo.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

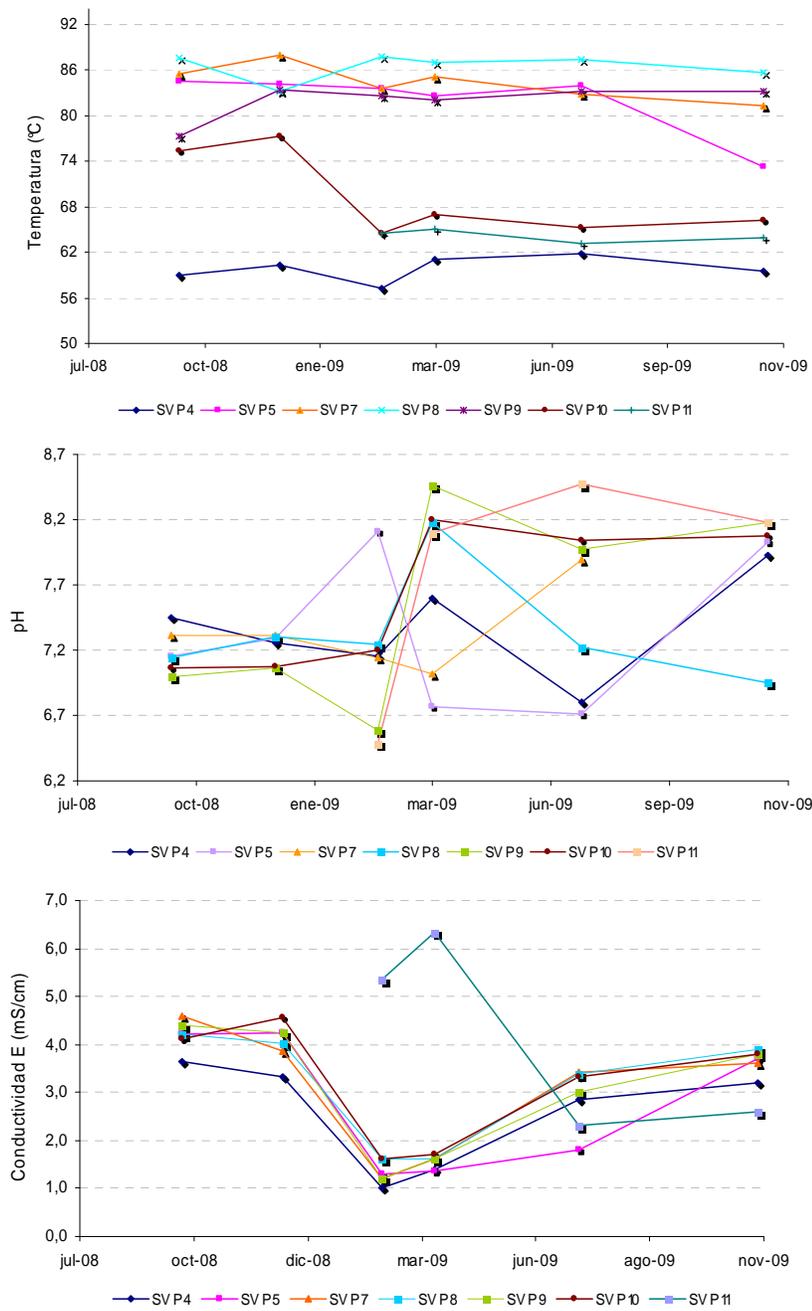


Figura 1.68. Variación de parámetros Fisicoquímicos Nacimientos Termales San Vicente. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

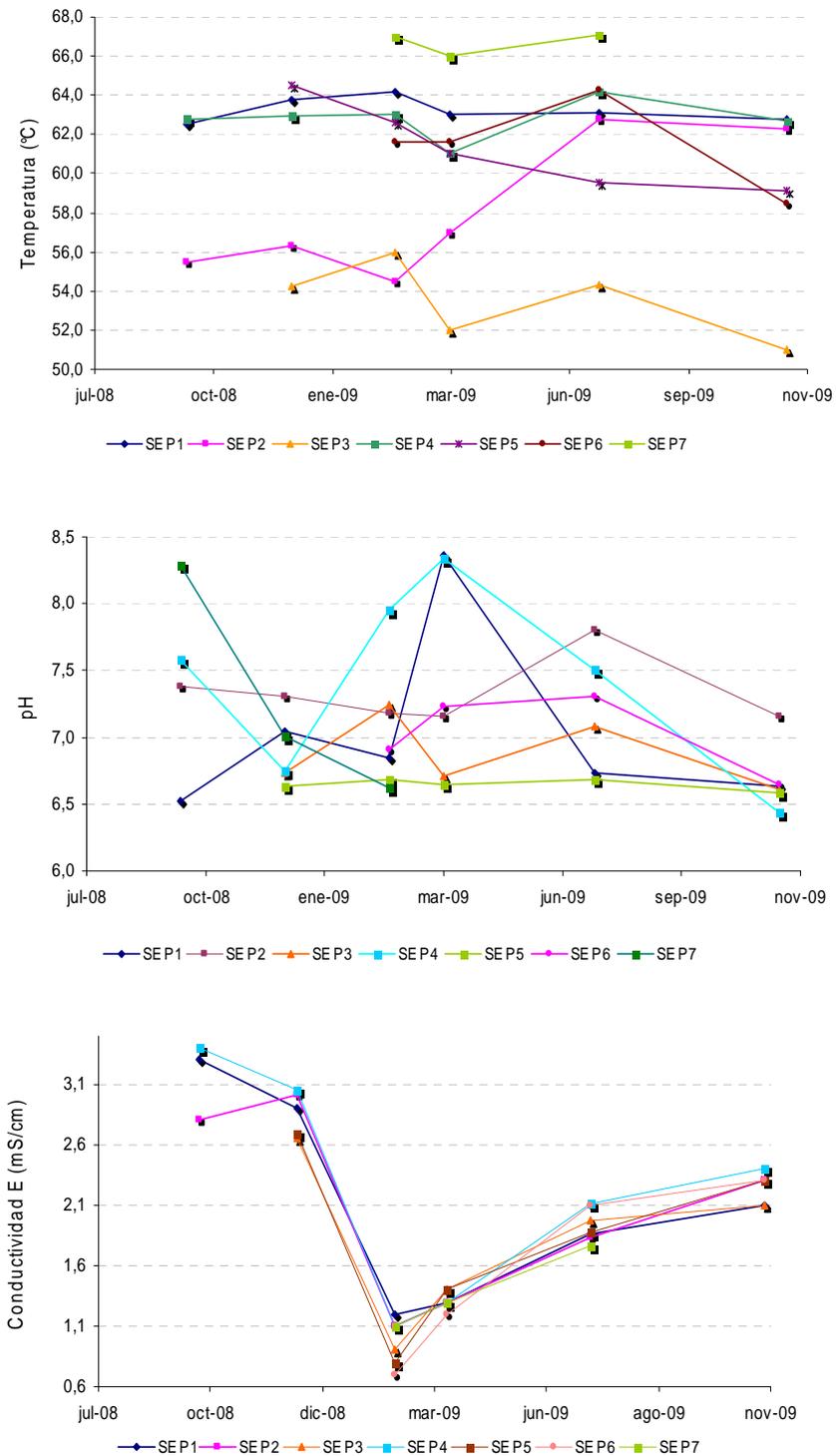


Figura 1.69. Variación de parámetros Físicoquímicos Nacimientos Termales Santa Elena. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

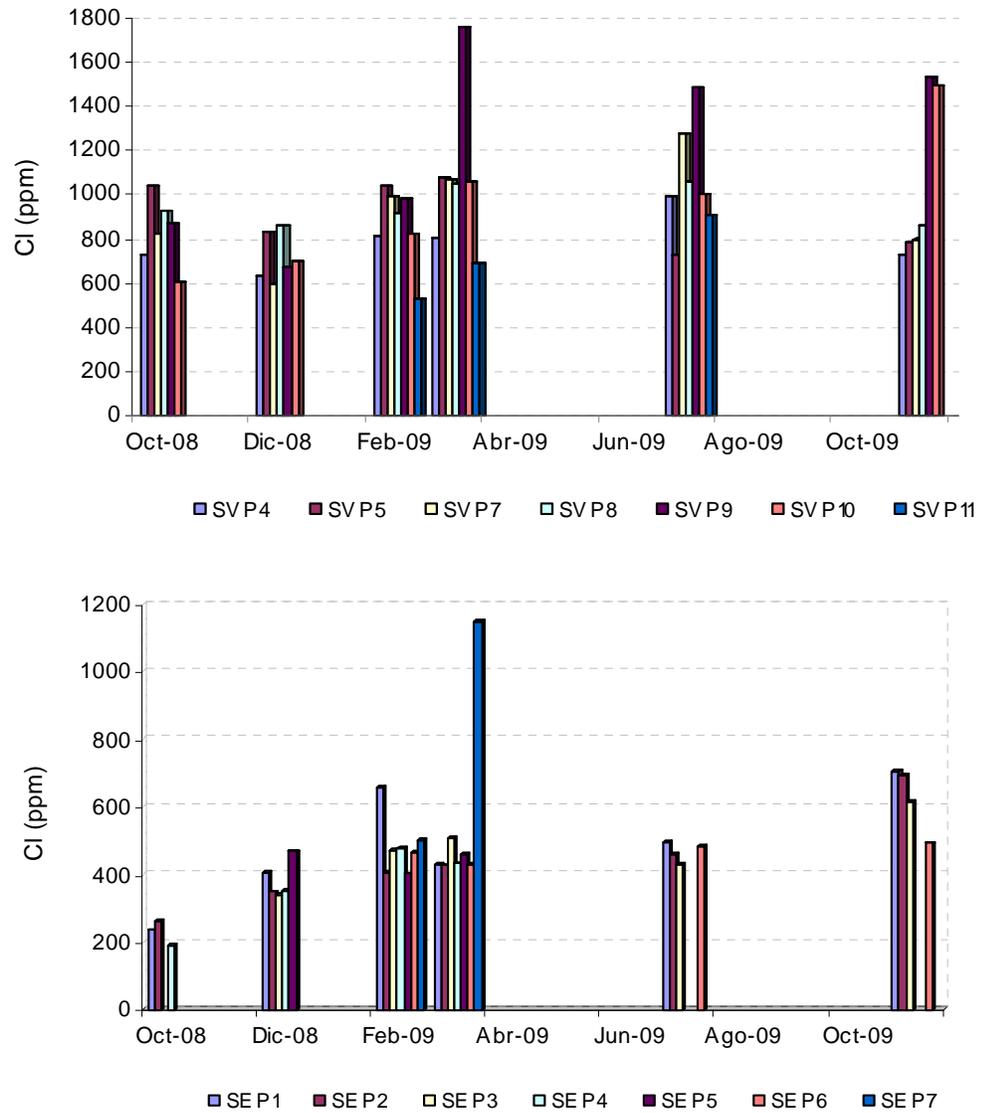


Figura 1.70. Variación en el contenido de Cloruros en Nacimientos Termales. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2009.

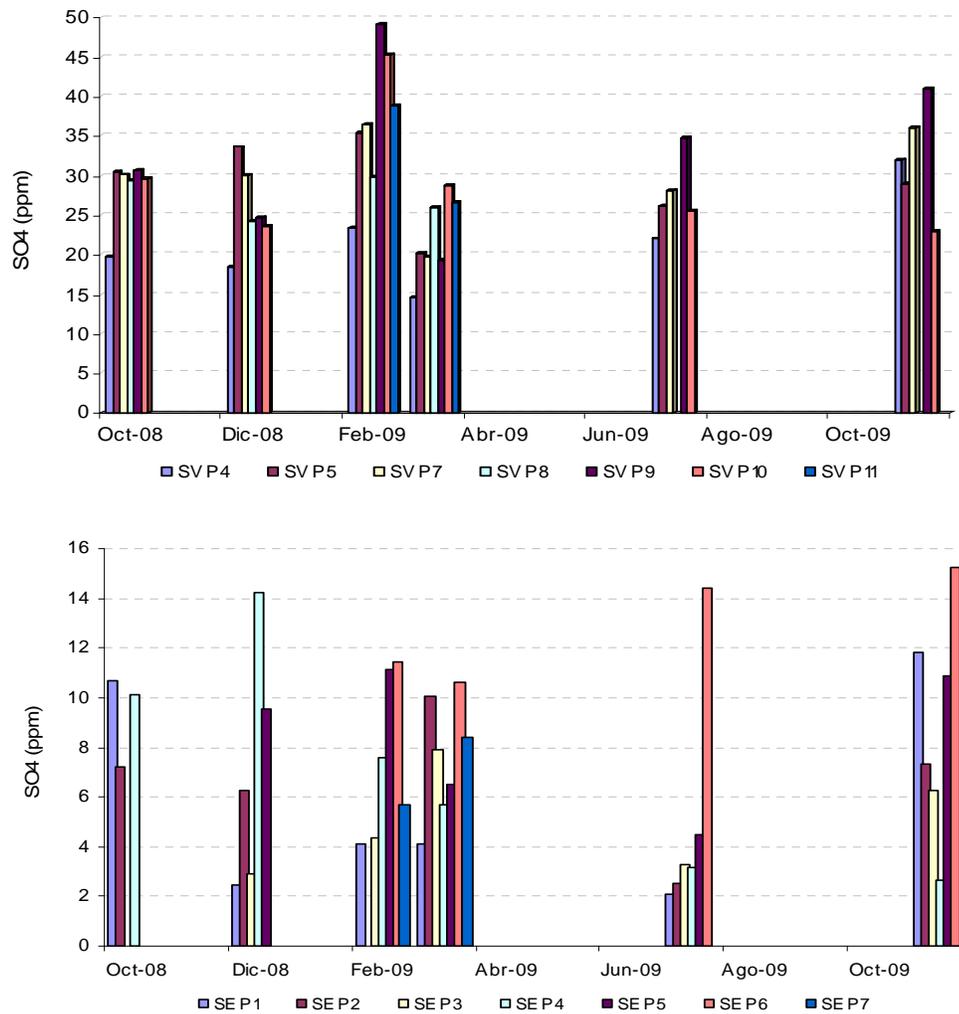


Figura 1.71. Variación en el contenido de Sulfatos en Nacimientos Terales. Paramillo de Santa Rosa. Segundo Semestre de 2009.

1.8 PARAMILLO DEL QUINDÍO (PQ)

1.8.1. SISMOLOGÍA

El PQ mostró un nivel bajo en la actividad sísmica durante el segundo semestre de 2009, a lo largo de este período de tiempo se registraron 20 sismos asociados a fracturamiento de roca (Tipo VT), 17 de ellos ocurrieron entre el 23 y el 25 de Septiembre, y los 3 restantes el día 4 de Diciembre (Fig.1.72). La magnitud máxima alcanzada fue de 1.49 registrada el 24 de Septiembre a las 15:50. En general estos sismos fueron de baja magnitud como lo refleja la gráfica de energía liberada (Fig. 1.73).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

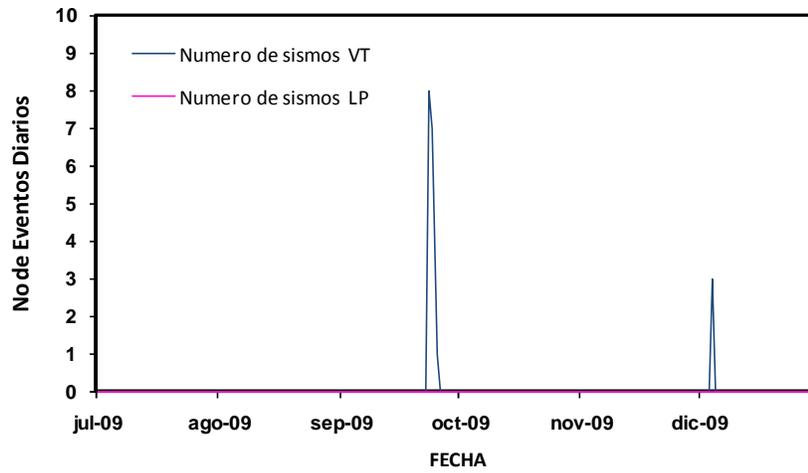


Figura 1.72. Número de sismos PQ. Segundo semestre 2009.

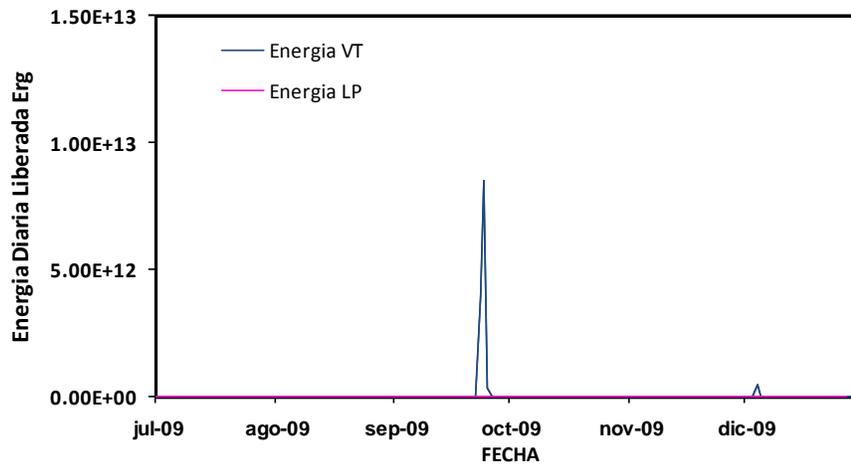


Figura 1.73. Energía liberada en el PQ. Segundo semestre 2009.

Las profundidades de estos eventos sísmicos variaron entre 2 y 6 km, como se observa en la Figura 1.74.

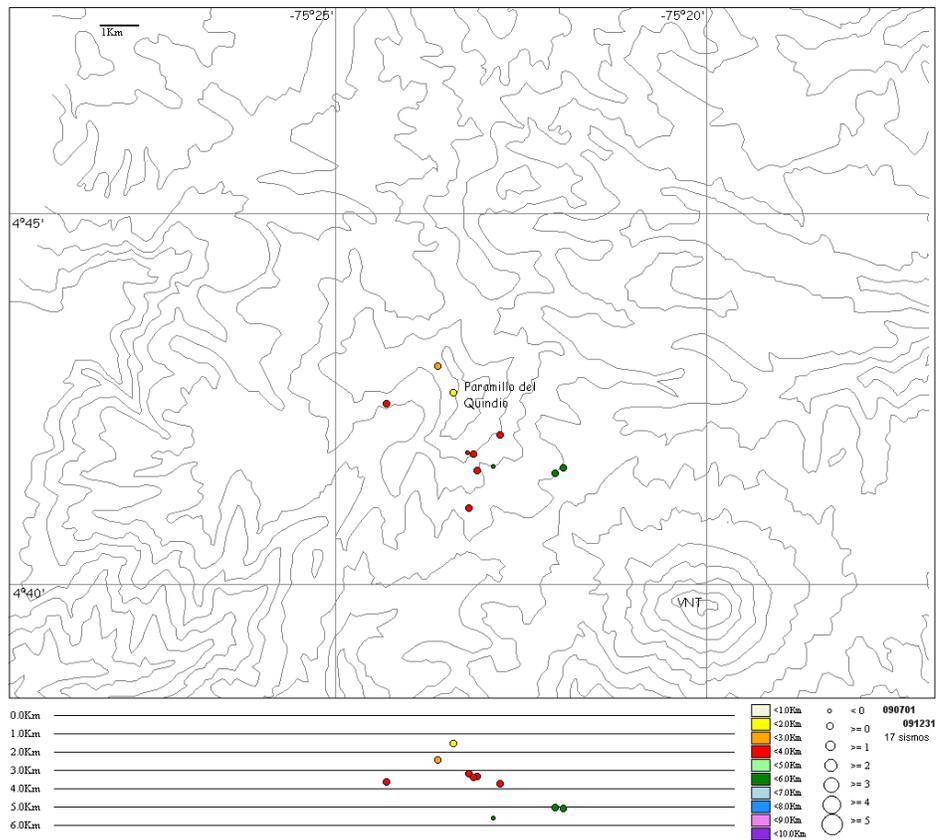


Figura 1.74. Localización hipocentral de sismos VT, PQ segundo semestre 2009.

1.9 ACTIVIDAD SÍSMICA REGIONAL

1.9.1 SISMOLOGÍA

Adicional al monitoreo y vigilancia volcánica, el OVSM realiza labores de vigilancia sísmica regional en la parte central de Colombia. Durante el segundo semestre de 2009 se registraron 1043 sismos de carácter local de los que se pudieron localizar 248, los cuales se ubicaron en las diferentes fuentes sismogénicas activas de la región, entre las que se destacan, la zona de Honda – Pulí, Armenia, Cordillera Occidental y Romeral.

La figura 1.75 presenta un mapa con la localización hipocentral de los sismos localizados.

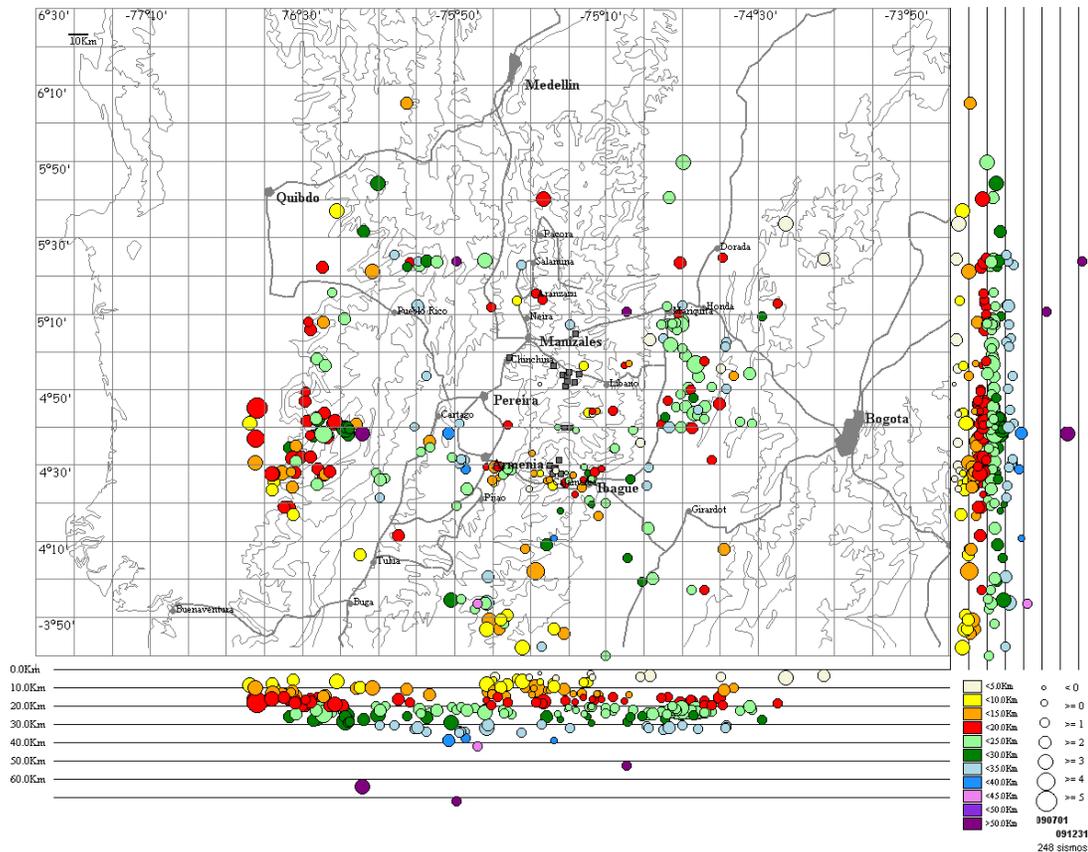


Figura 1.75. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el segundo semestre de 2009

1.10 CONCLUSIONES

- ✓ La actividad sísmica de los volcanes del CVCMCB durante el segundo semestre de 2009, se mantuvo en términos generales en niveles estables. Sin embargo, se resaltar el incremento en la ocurrencia de señales asociadas a transito de gases y fluidos (tipo LP) presentado en el VNR.
- ✓ El comportamiento de la actividad sísmica del Volcán Cerro Machín continuó mostrando incrementos esporádicos de actividad asociada a fracturamiento (tipo VT), entre los cuales se destaca el ocurrido el día 31 de Julio el cual alcanzó una magnitud máxima de 2.78 en la escala de Richter.
- ✓ La sismicidad regional de la parte central de Colombia, permaneció estable. Las fuentes sismogénicas activas de la zona continúan generando sismos de pequeña magnitud.
- ✓ El monitoreo geoquímico que se realizó durante el segundo semestre de 2009 en el CVCMCB muestra que se siguen presentando variaciones en los parámetros fisicoquímicos y en la composición química de las fuentes termales, lo cual es más evidente en las fuentes termales del Volcán Nevado del Ruiz, en donde es posible que se haya presentado permeabilización del acuífero con aguas superficiales y posterior acumulación de electrolitos o a posible formación de complejos metálicos en lo profundo del edificio volcánico.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA
INGEOMINAS**

SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

- ✓ En las trampas alcalinas la concentración de gases provenientes de las descargas fumarólicas en el Volcán Nevado del Ruiz presentaron fluctuaciones durante el último semestre, lo cual es atribuido a la dependencia de la absorción de los gases con la solución alcalina utilizada. En cuanto a la cuantificación de la emisión de SO₂ de las estaciones SCAN DOAS, ésta ha sido muy útil para llevar a una vigilancia continua de la desgasificación pasiva en el VNR.
- ✓ Las mediciones de deformación en los volcanes NV 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 del VNR 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 II semestre de 2009, muestran que las estaciones construidas sobre los anillos piroclásticos del Volcán Cerro Machín, mantienen un claro y 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 y clara tendencia deflacionaria con registro de cambios acumulados significativos.