



Libertad y Orden

**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO  
DE MANIZALES**

**BOLETIN SEMESTRAL DE ACTIVIDAD REGISTRADA POR LOS VOLCANES ACTIVOS  
DEL COMPLEJO VOLCANICO CERRO MACHIN – CERRO BRAVO**

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

**I 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).....	7
1.3.3.1 RED DE DEFORMACION .....	24
1.3.3.2 COMPORTAMIENTO INCLINÓMETROS SECOS: .....	25
1.3.3.3 COMPORTAMIENTO VECTORES DE NIVELACION .....	28
1.3.3.4 INCLINOMETROS ELECTRONICOS .....	30
1.3.3.5 COMPORTAMIENTO DE LINEAS EDM.....	34
1.4 VOLCAN NEVADO DEL TOLIMA.....	35
1.4.1 SISMOLOGIA.....	35
1.5 VOLCAN CERRO MACHIN .....	37
1.5.1 SISMOLOGIA.....	37
1.5.2 OTROS METODOS GEOFISICOS.....	39
1.5.3 GEOQUIMICA .....	40
1.5.3.1 EMISIONES DE GAS RADON .....	40
1.5.3.2 FUENTES TERMALES .....	42
1.5.3.3 GASES VOLCANICOS .....	45
1.5.3.4 MONITOREO DE TEMPERATURA EN EL CAMPO FUMARÓLICO .....	46
1.5.4 DEFORMACIÓN.....	48
1.5.4.1 REDDE DEFORMACION .....	48
1.5.4.2 COMPORTAMIENTO INCLISECOS .....	49
1.5.4.3 COMPORTAMIENTO VECTORES DE NIVELACION. ....	50
1.5.4.4 COMPORTAMIENTO INCLINOMETROS ELECTRONICOS.....	51
1.6 VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB).....	55
1.6.1 SISMOLOGÍA .....	55
1.6.2 GEOQUIMICA .....	56
1.7 VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VCB).....	58
1.7.1 GEOQUIMICA.....	58
1.8 ACTIVIDAD SÍSMICA REGIONAL.....	65
1.8.1 SISMOLOGIA.....	65
1.9 CONCLUSIONES .....	66



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**INDICE DE FIGURAS**

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1. Funcionamiento de estaciones de vigilancia CVCMCB, primer semestre 2009.....	2
Figura 1.2. Redes de vigilancia sísmológica y geoquímica, CVCMCB II semestre de 2009.....	3
Figura 1.3. Energía sísmica liberada diariamente por el VNR, primer semestre 2009.....	4
Figura 1.4. Número de sismos ocurridos diariamente en el VNR, primer semestre de 2009.....	5
Figura 1.5. Magnitud local de sismos VT para el VNR, primer semestre 2009.....	5
Figura 1.6. Magnitud local de sismos LP para el VNR, primer semestre 2009.....	5
Figura 1.7. Período predominante de sismos LP, VNR primer semestre 2009.....	6
Figura 1.8. Localización hipocentral de sismos VT, VNR primer semestre 2009.....	7
Figura 1.9. Localización epicentral de sismos LP, VNR segundo semestre 2009.....	8
Figura 1.10 Variación de gases difusos en VNR. Primer Semestre de 2009.....	9
Figura 1.11. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Hotel Termales VNR. Primer Semestre del 2009.....	10
Figura 1.12. Variación de aniones mayoritarios en la FT Hotel Termales VNR. Primer semestre de 2009.....	11
Figura 1.13. Variaciones en el contenido de cationes mayoritarios FT Hotel. VNR. Primer Semestre de 2009.....	13
Figura 1.14. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Gualí VNR. Primer Semestre de 2009.....	13
Figura 1.15 Variación de iones mayoritarios en la FT Gualí VNR. Primer Semestre de 2009.....	15
Figura 1.16. Variación de iones mayoritarios en la FT Gualí VNR. Primer Semestre de 2009.....	16
Figura 1.17. Variación de parámetros fisicoquímicos FT Aguas calientes. VNR. Primer Semestre de 2009.....	18
Figura 1.18 Variación en el contenido de aniones FT Aguas Calientes. VNR. Primer Semestre de 2009.....	19
Figura 1.19. Variación en el contenido de CO <sub>2</sub> , HCl y S <sub>t</sub> en fluidos volcánicos. VNR. Primer Semestre de 2009.....	20
Figura 1.20 Variación en el contenido de SO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S en fluidos volcánicos. VNR. Primer Semestre de 2009.....	21
Figura. 1.21 Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Nereidas desde Enero del 2004 hasta el primer semestre de 2009.....	24
Figura. 1.22. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Refugio desde Diciembre de 2001 hasta primer semestre 2009.....	25
Figura. 1.23. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Bis desde Enero 2004 hasta primer semestre de 2009.....	25
Figura 1.24. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Piraña desde 1993 hasta el primer semestre de 2009.....	26
Figura. 1.25. Comportamiento Acumulado del Vector de Nivelación Piraña desde junio de 2005 hasta primer semestre de 2009.....	27
Figura.1.26. Comportamiento Acumulado del Vector de Nivelación Nereidas desde Abril de 2005 hasta primer semestre 2009.....	27
Figura. 1.27. Comportamiento Acumulado del Vector de Nivelación Bis desde mayo de 1988 hasta primer semestre 2009.....	28
Figura 1.28. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Bis ubicado a 1,6 km al Noroccidente del Volcán Nevado del Ruiz en el primer semestre de 2009.....	29
Figura 1.29. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Lisa ubicado a 2,2 km al Noroccidente del Volcán Nevado del Ruiz en el primer semestre de 2009.....	30
Figura 1.30. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Recio en el primer semestre del año 2009.....	31
Figura 1.31. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Azufrado en el primer semestre del año 2009.....	32



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

Figura 1.32. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Refugio en el primer semestre del año 2009.....	33
Figura 1.33. Comportamiento de los reflectores los reflectores “Refugio 1”, “Refugio 2”, “Refugio 3”, “Refugio 4”, “Refugio 5”, “Refugio 6” y “la Olleta” en el primer semestre del año 2009.....	34
Figura 1.34. Energía sísmica liberada diaria, VNT primer semestre 2009.....	35
Figura 1.35. Número de sismos diarios, VNT primer semestre 2009.....	35
Figura 1.36. Número de avalanchas diarias en el VNT. Primer semestre 2009.....	36
Figura 1.37. a) Energía sísmica liberada diaria VCM, primer semestre 2009. b) Número de sismos diarios VCM, primer semestre 2009.....	38
Figura 1.38. Distribución de magnitudes VCM, primer semestre 2009.....	38
Figura 1.39. Localización hipocentral de sismos VT en el VCM, primer semestre 2009.....	39
Figura 1.40. Variaciones del campo magnético en el VCM. Primer semestre de 2009.....	40
Figura 1.41 Variación de gases difusos en VCM. Primer Semestre de 2009.....	41
Figura 1.42. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Piscina VCM. Primer Semestre de 2009.....	42
Figura 1.43 Variación de aniones mayoritarios en la FT Piscina VCM. Primer Semestre de 2009.....	43
Figura 1.44. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Estatuas VCM. Primer Semestre de 2009.....	44
Figura 1.45. Variación de iones mayoritarios en la FT Estatuas VCM. Segundo Semestre de 2009.....	45
Figura 1.46. Variación en el contenido de gases en la Fumarola La Macha. VCM. Primer Semestre de 2009.....	46
Figura 1.47. Fotografías del sitio de instalación de la estación telemétrica de temperatura. VCM. Primer Semestre de 2009.....	48
Figura 1.48. Red de deformación (Septiembre de 2008) del VCM mostrando la distribución de inclinómetros secos (triángulos rojos), vectores de nivelación (líneas verdes), bases EDM (cuadros magenta) y reflectores EDM (círculos amarillos).....	49
Figura 1.49. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el Incliseco La Laguna desde 1987 hasta primer semestre de 2009.....	50
Figura 1.50 Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Rodeo desde 1988 hasta Septiembre de 2008.....	51
Figura 1.51. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Anillo en.....	52
Figura 1.52. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Aguascaliente durante en el primer semestre del 2009.....	53
Figura 1.53. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Laguna en el primer semestre del 2009.....	54
Figura 1.54. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Rodeo en el primer semestre del 2009.....	55
Figura 1.55. Energía liberada en el VCB. Primer semestre 2009.....	56
Figura 1.56. Número de sismos VCB. Primer semestre 2009.....	56
Figura 1.57 Variación de gases difusos en el VCB. Primer Semestre de 2009.....	57
Figura 1.58. Variación de la temperatura en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009.....	60
Figura 1.59. Variación el pH en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009.....	60
Figura 1.60 Variación de la conductividad eléctrica en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009.....	61
Figura 1.61 Variación del contenido de cloruros en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009.....	63
Figura 1.62. Variación del contenido de sulfatos en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009.....	64



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

Figura 1.63. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el I semestre de 2009 .....66

**INDICE DE TABLAS**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

Tabla 1. Ocupaciones realizadas en la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz durante el primer semestre de 2009.....	25
Tabla 2 Datos de temperatura en el campo fumarólico VCM. Primer Semestre de 2009 .....	47
Tabla 3. Características de ubicación de las estaciones de la red de deformación del VCM.....	49
Tabla 4 Ocupaciones realizadas en la red de deformación del VCM durante el primer semestre del 2009.....	49

# **ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCANICO CERRO MACHIN – CERRO BRAVO (CVCMCB)**

## **I SEMESTRE 2009**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La actividad de los volcanes del CVCMCB durante el primer 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, excepto por algunos incrementos presentados en los meses de febrero, marzo y mayo. 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. El Volcán Cerro Bravo y el volcán Nevado del Tolima, igualmente registraron niveles muy bajos de actividad durante el semestre.

### **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 afectan de manera significativa la vigilancia volcánica.

A lo largo del semestre se llevo a cabo la instalación de 2 nuevas estaciones sismológicas de corto periodo. En el Volcán Cerro Bravo entró en funcionamiento el día 29 de mayo la estación sismológica PEÑAS BLANCAS, señal que tiene como repetidora a la estación DESQUITE donde se releva con las señales de corto período CERRO BRAVO (Z, N, S) y AZUFRADO. En cuanto a las actividades relacionadas con la sismicidad regional, se instaló un sistema de corto período en el municipio de Marsella.

En el área de influencia del Volcán Cerro Machín se instaló el día 15 de abril una nueva estación sismológica de banda Ancha llamada ALEJANDRÍA, la cual tiene como repetidoras a la estación MORAL, CIELO ROTO y MARTINICA, y como base a INGEOMINAS IBAGUE. Durante los meses de abril y mayo se instalaron tres nuevas estaciones telemétricas digitales para vigilancia del VCM. Se instaló una estación acústica en el sector del anillo piroclástico (ANILLO), una estación magnetométrica en la base del domo principal (DOMO), y una estación de temperatura en el campo fumarólico principal en la cima del domo (CIMA). A partir del día 03 de abril se registra la señal del sistema acústico en la sede del OVSM, a partir del 15 de mayo se registran datos de la estación de magnetometría y a partir del 29 de mayo se reciben en la sede del OVSM datos de la estación de temperatura.

De igual forma a lo largo del semestre se realizaron mantenimientos preventivos en las estaciones del Volcán Nevado del Tolima. Los días 20 y 21 de mayo se visitaron las estaciones de corto período ESMERALDA y NIDO respectivamente, sin embargo, a partir de las 10:53 A.M del día 20 se perdió el registro de la señal de ESMERALDA debido a problemas de modulación del VCO de la estación.

En el mes de febrero se instaló un único sistema eléctrico para los radios de banda ancha e inclinometría electrónica. Los constantes cortes de la energía ocasionaron problemas en el disco duro del computador que recibe y almacena la información tanto del sistema de banda ancha como de inclinometría. El resultado de esta situación se reflejó en la pérdida de la información de los dos sistemas.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

Durante los meses de marzo y abril de 2009 se realizaron una serie de mediciones GPS de alta precisión con el objeto de determinar las coordenadas geográficas de las estaciones de las redes del CVCMCB, incluyendo estaciones sísmicas, monitores de flujos de lodo, inclinómetros electrónicos, inclinómetros secos, vectores de nivelación y bases EDM. Las coordenadas de todas las estaciones fueron levantadas en el sistema WGS-84 y transformadas al sistema geográfico internacional y a coordenadas planas origen occidente. Con esta información se realizó la relocalización de las estaciones sísmológicas y se mejoró el proceso de localización sísmica.

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.

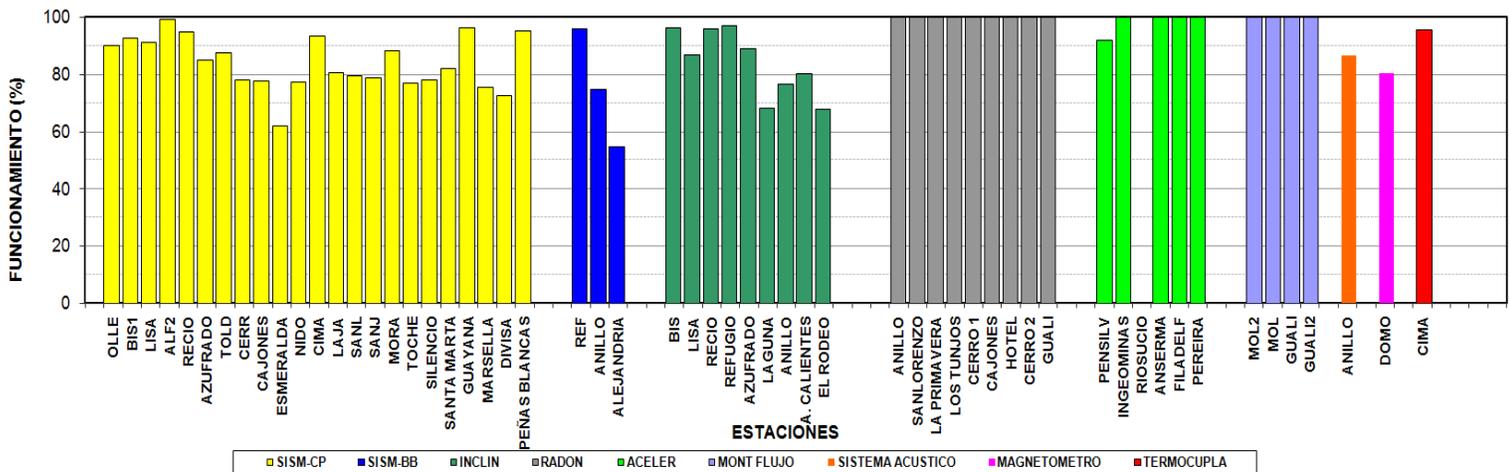


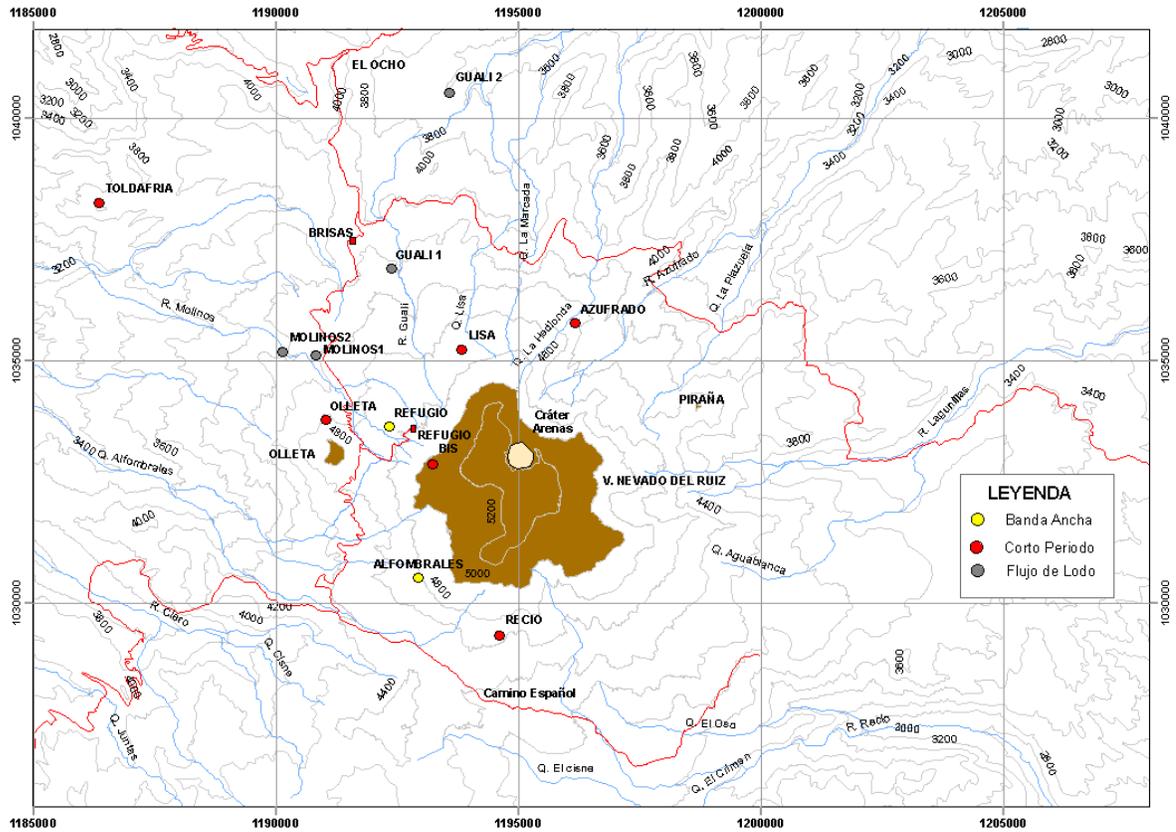
Figura 1.1. Funcionamiento de estaciones de vigilancia CVCMCB, primer semestre 2009.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

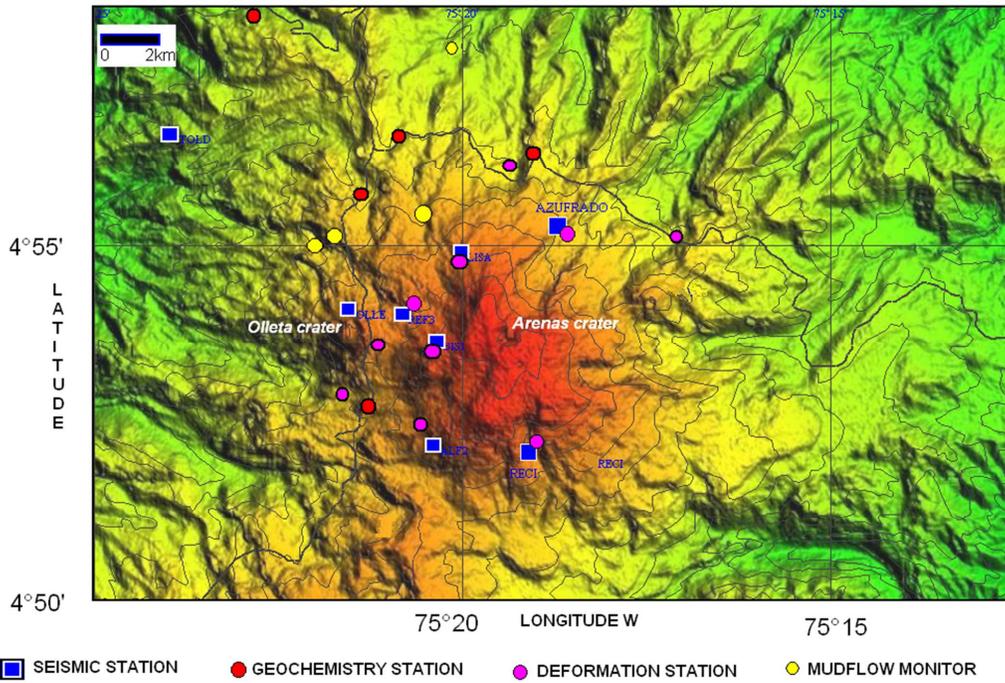


b)



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

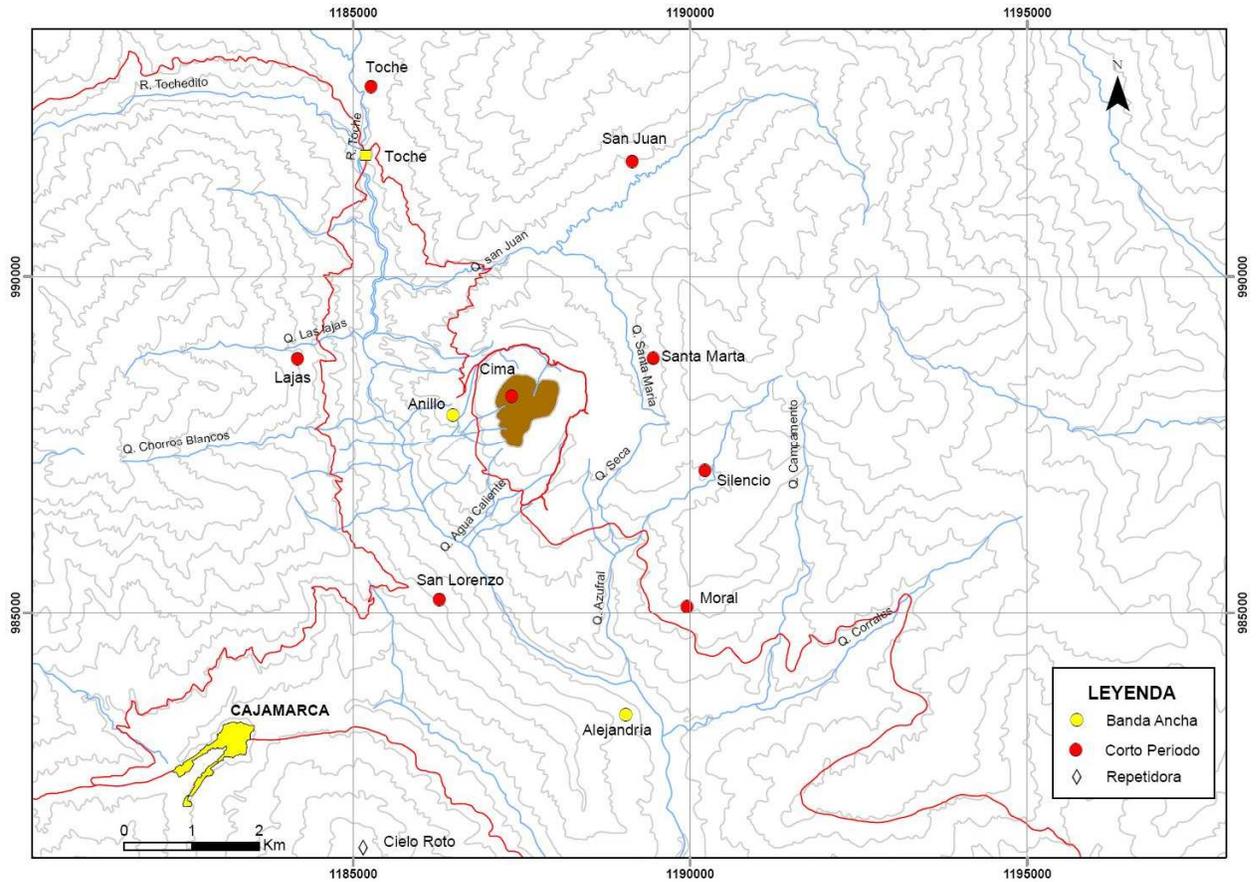


c)



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

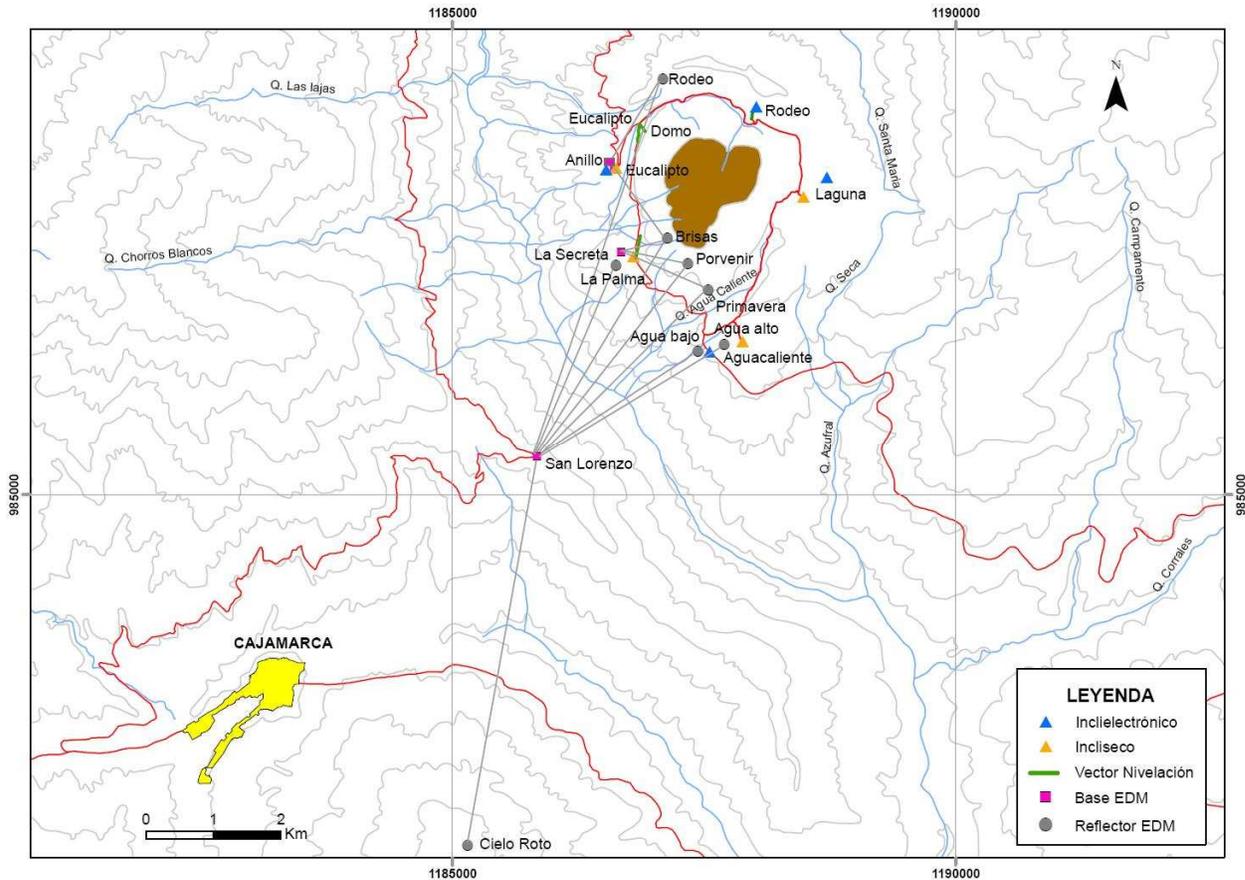


d)



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL



e)

Figura 1.2. Redes de vigilancia sísmológica, geoquímica y deformación del CVCMCB durante el I semestre de 2009: a) Complejo Volcánico Cerro Machín – Cerro Bravo, b) Red de Sísmológica VNR, c) Red de Vigilancia VNR, d) Red de Sísmológica VCM, e) Red deformación VCM.

### 1.3 VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR)

#### 1.3.1 SISMOLOGÍA

La actividad sísmica del VNR permaneció en términos generales estable durante el primer semestre de 2009. El número de sismos registrados, así como la energía sísmica liberada mostraron niveles bajos; sin embargo, la actividad asociada a transito de gases y fluidos presentó un incremento en su frecuencia de ocurrencia en comparación con la asociada a fracturamiento de roca; cabe mencionar de igual forma que la actividad VT liberó mayor energía sísmica que la LP, ya que a pesar de presentar menor ocurrencia de eventos, registró las mayores magnitudes.

La figura 1.3 muestra la energía sísmica liberada diariamente y la figura 1.4 el número de sismos ocurridos por día.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

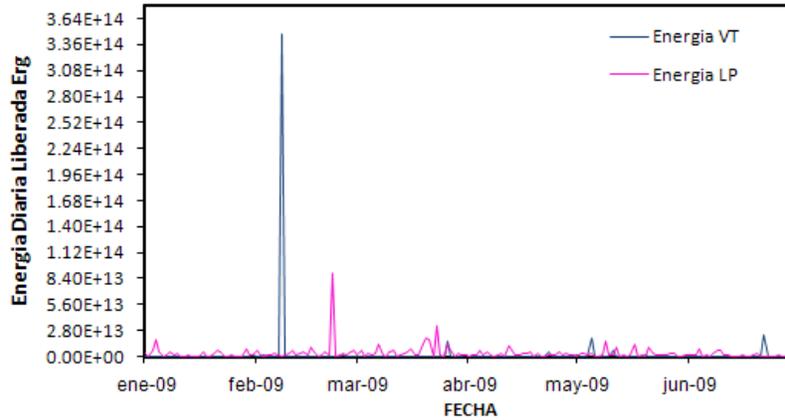


Figura 1.3. Energía sísmica liberada diariamente por el VNR, primer semestre 2009.

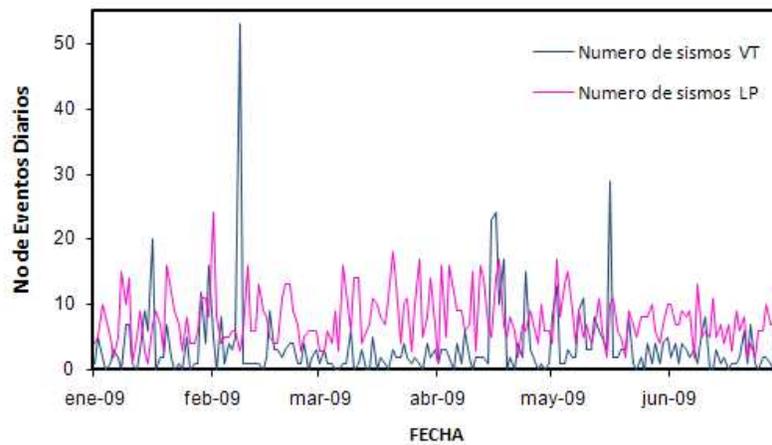


Figura 1.4. Número de sismos ocurridos diariamente en el VNR, primer semestre de 2009.

Las magnitudes locales de los sismos Volcano-Tectónicos (VT) variaron entre -2.59 y 2.52, mientras que las magnitudes de los sismos de Largo-Período (LP) oscilaron entre -0.12 y 2.19. Las figuras 1.5 y 1.6 muestran las magnitudes locales de sismos VT y LP para el primer semestre de 2009



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

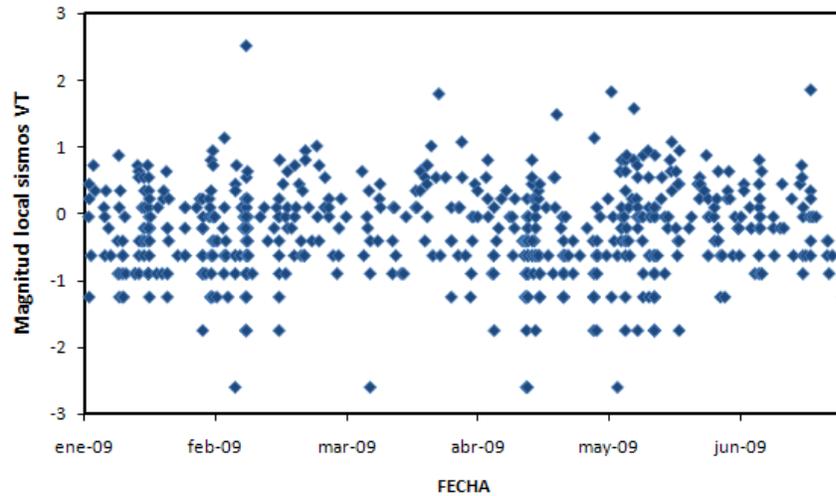


Figura 1.5. Magnitud local de sismos VT para el VNR, primer semestre 2009.

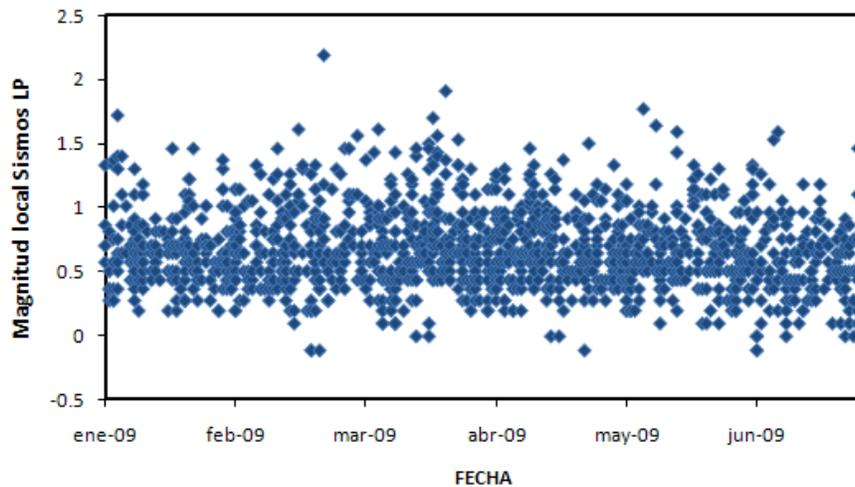


Figura 1.6. Magnitud local de sismos LP para el VNR, primer semestre 2009.

Al analizar el período predominante (T) de los sismos LP, se observó que éste no presentó variaciones o tendencias importantes durante el primer semestre (Figura 1.7).

Los hipocentros de los sismos VT se concentraron en 2 sectores principalmente, el primero en el cráter, con profundidades que oscilaron principalmente entre 1 y 2 Km, y el segundo al SE del cráter, con profundidades entre 2 y 3 Km. Los eventos que se localizaron hacia el sector N del edificio volcánico, los cuales se presentaron en menor proporción tuvieron un rango de profundidad mayor, entre 4 y 11 Km. En total fueron 302 sismos los localizados. Las localizaciones epicentrales realizadas para sismos LP, utilizando la atenuación de las amplitudes relativas, presentaron una concentración principal hacia el sector suroeste del cráter activo. La figura 1.9 muestra las localizaciones epicentrales.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

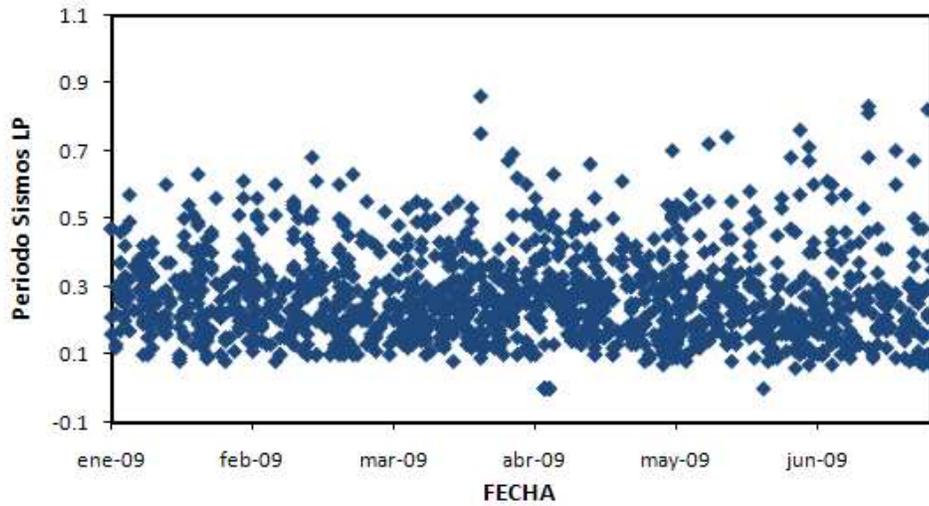


Figura 1.7. Período predominante de sismos LP, VNR primer semestre 2009.

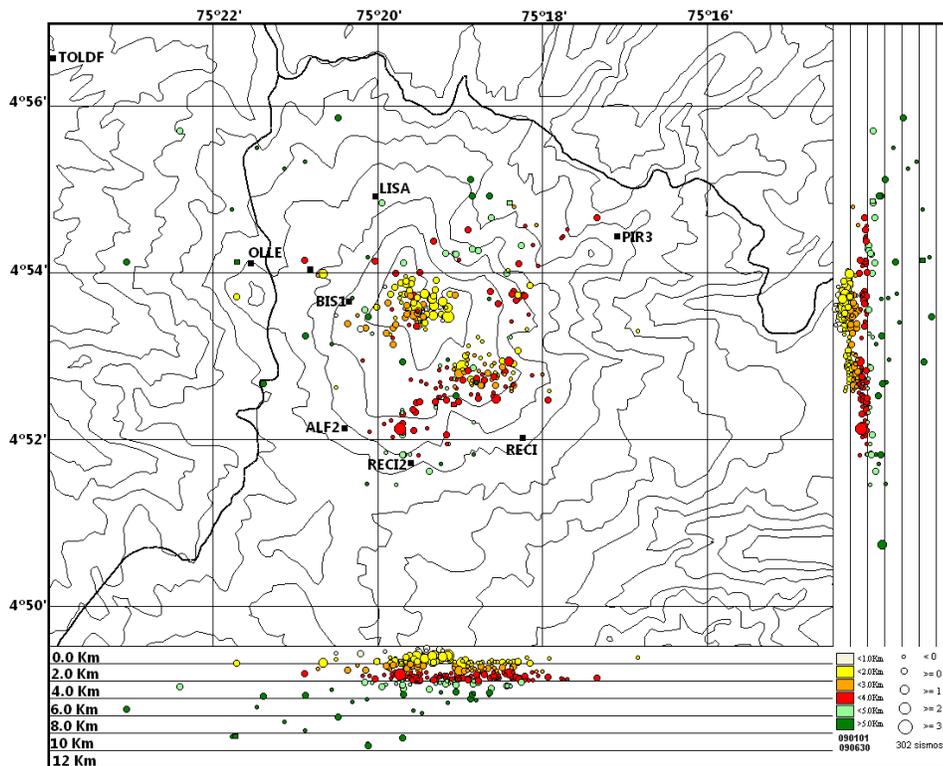
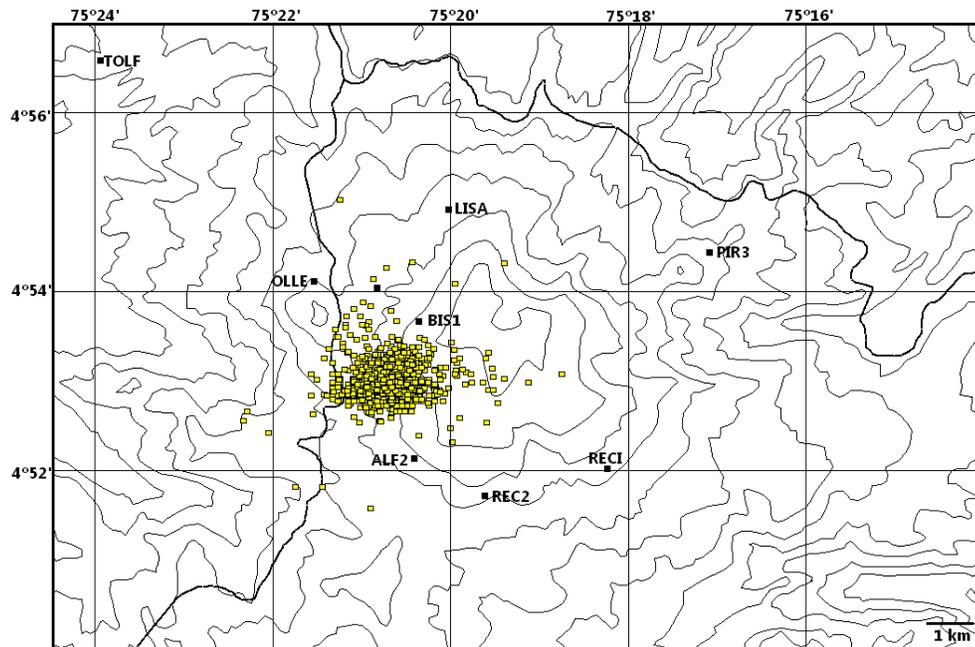


Figura 1.8. Localización hipocentral de sismos VT, VNR primer semestre 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



**Figura 1.9. Localización epicentral de sismos LP, VNR segundo semestre 2008**

En general, la actividad sísmica del VNR permaneció estable durante el primer semestre de 2009.

### **1.3.2 GEOQUÍMICA**

Durante el primer semestre del 2009 se realizaron muestreos y análisis in situ y en laboratorio de 3 fuentes termales aledañas al VNR. Se analizaron gases de las trampas alcalinas ubicadas en las estaciones Gualí, Refugio 1, Refugio 2 y Olleta, en total se recolectaron durante el primer semestre del año 107 muestras. También se realizó monitoreo a las estaciones de Gas Radón y CO<sub>2</sub>: 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 parciales de las medidas de gas radón y CO<sub>2</sub> no muestran variaciones importantes durante el primer semestre de 2009.

En la figura 1.10 se observa el comportamiento en el tiempo de la concentración de gases difusos en el VNR. Las estaciones Gualí y Hotel fueron las que mostraron mayores valores de concentración de radón en el suelo.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

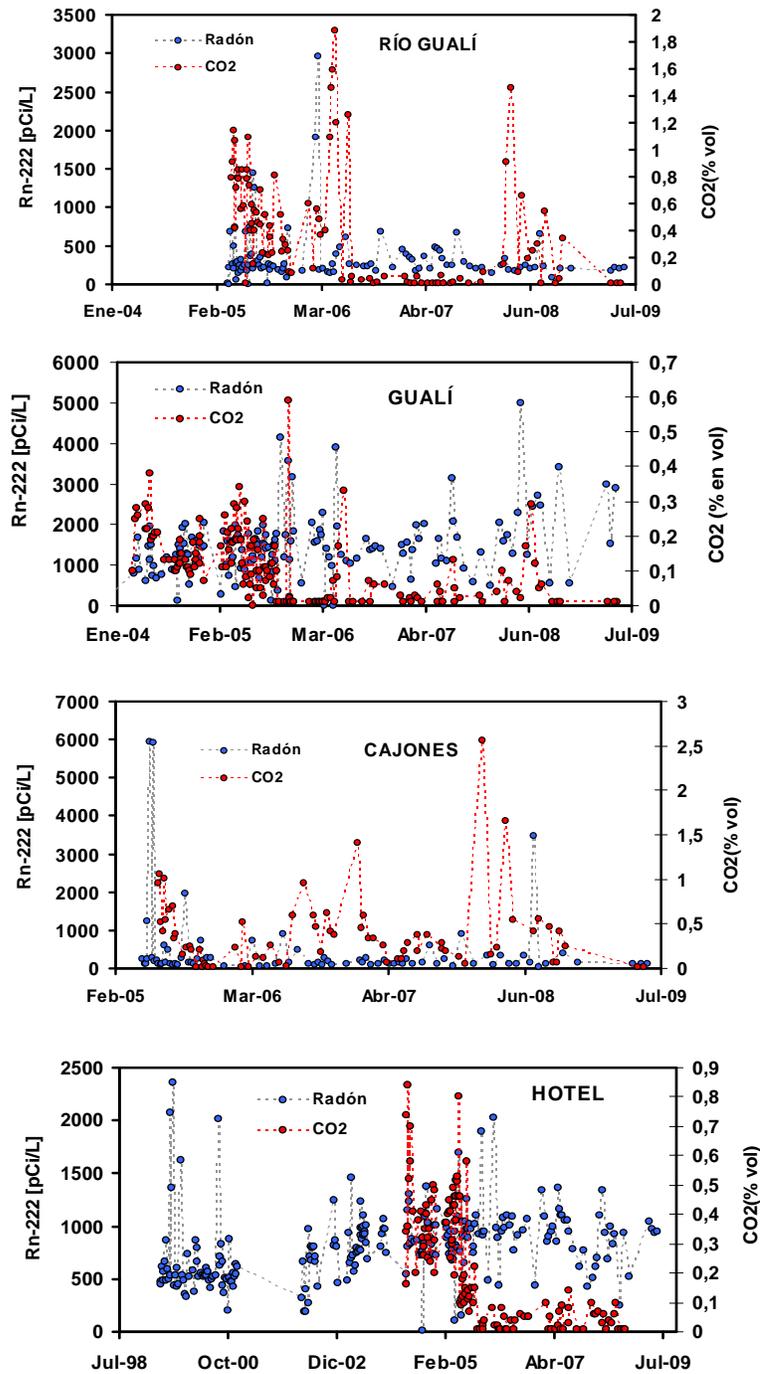


Figura 1.10 Variación de gases difusos en VNR. Primer Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**1.3.2.2 Fuentes Termales (FT)**

- Hotel Termales.

Los parámetros fisicoquímicos medidos in situ durante el primer semestre del año muestran que se presentaron algunas variaciones en los valores de pH y conductividad eléctrica, mientras que la temperatura permaneció relativamente constante presentando fluctuaciones entre 59 y 61°C.

El valor de pH durante los primeros 4 meses se mantuvo en sus valores base entre 1,46 y 1,50 en el mes de junio presentó un descenso en su valor, el cual estuvo en 1,32. La conductividad es el parámetro que presenta las mayores variaciones, ya que desde el segundo semestre del 2008 presentó en promedio 17,5 mS/cm, y durante el primer semestre del 2009 muestra en promedio hasta el mes de mayo 6,4 mS/cm; la medida realizada en el mes de junio muestra un descenso a 3,2 mS/cm, valor que se aproxima a la línea base que se tiene para este parámetro en la FT hasta el año 1999.

Los cambios que se han presentado en los valores de pH y conductividad pueden estar asociados a posibles infiltraciones de agua meteórica que se mezcla con el reservorio y esto permite que se presenten estas variaciones, especialmente en el contenido de iones en solución que se refleja en los cambios en los valores de conductividad.

En la figura 1.11 se aprecian las variaciones mencionadas anteriormente.

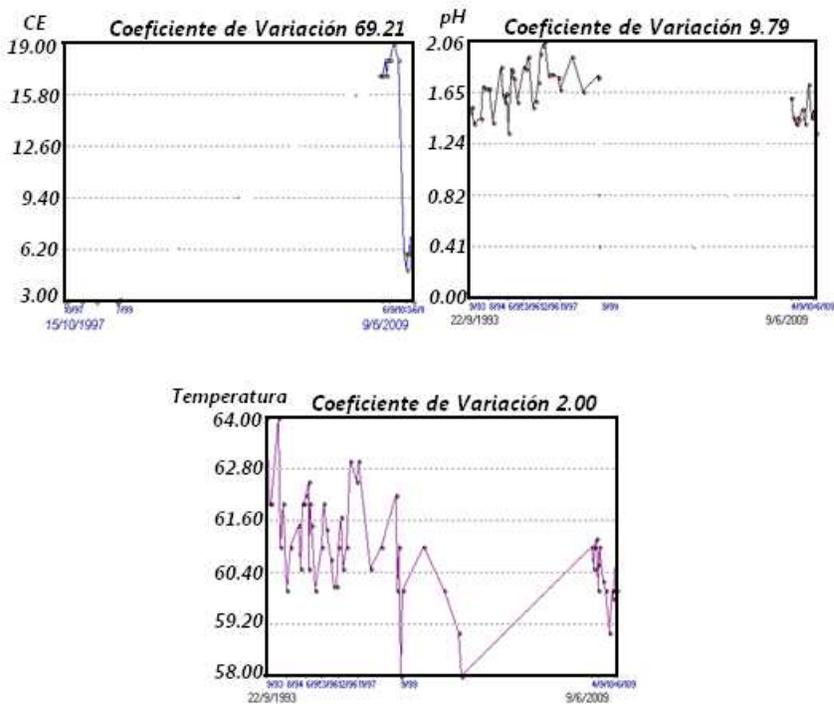


Figura 1.11. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Hotel Termales VNR. Primer Semestre del 2009.

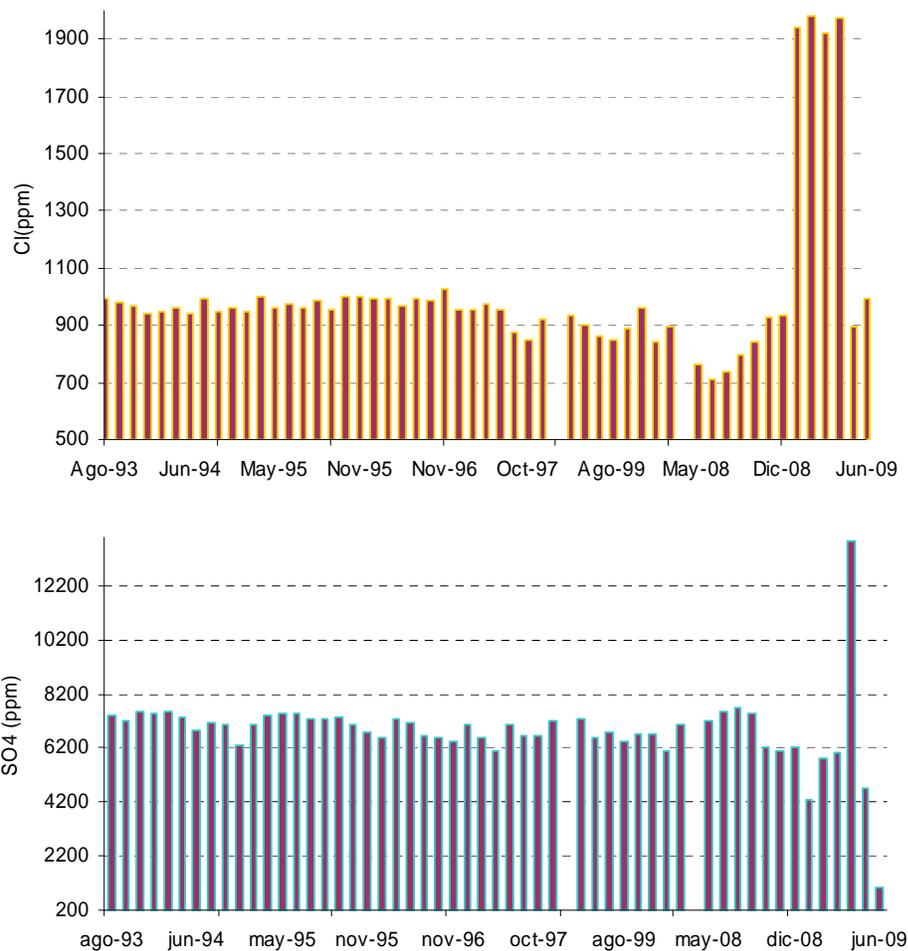


**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

En cuanto al contenido de aniones mayoritarios se han presentado fluctuaciones en la concentración de cloruros y sulfatos, las cuales pueden asociarse a interacciones entre el sistema hidrotermal con las rocas presentes en el edificio volcánico, situación que puede inducir algunos procesos de mineralización.

En la figura 1.12 se aprecia que durante los meses de Febrero a Abril la concentración de cloruros presentó un gran incremento, ya para los meses de mayo y junio volvió a tener sus niveles normales, igualmente la concentración de iones sulfato presentó un marcado ascenso en la medida del 28 de abril en donde pasó de 6200 ppm a 13800 ppm, pero en la medida del mes de mayo volvió a su nivel base; sin embargo, la medida para el mes de junio presentó un descenso brusco a 1049 ppm. Estas variaciones pueden ser atribuidas tanto a mezcla con aguas meteóricas de circulación profunda, como a interacciones fluido-roca que pueden afectar la composición de la fuente termal.





## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

En el contenido de cationes mayoritarios no se observó cambios significativos, solo la concentración de Magnesio presentó un incremento en la medida del mes de febrero, luego de esta anomalía volvió a sus valores base. Los iones Calcio y Sodio no presentaron variaciones, sus valores fueron relativamente constantes a lo largo de las medidas del primer semestre. La figura 1.13 muestra las concentraciones de los cationes mayoritarios.

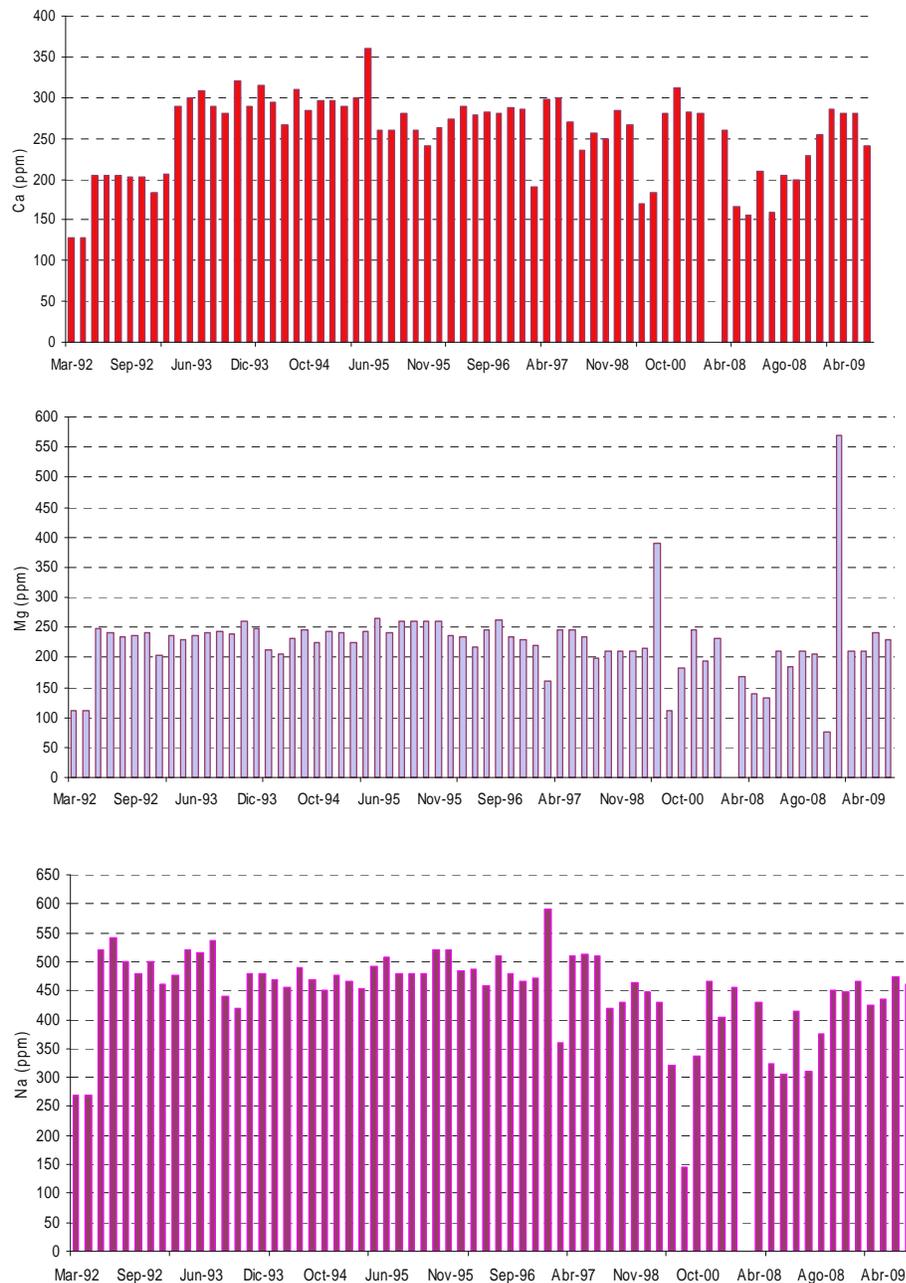


Figura 1.13. Variaciones en el contenido de cationes mayoritarios FT Hotel. VNR. Primer Semestre de 2009

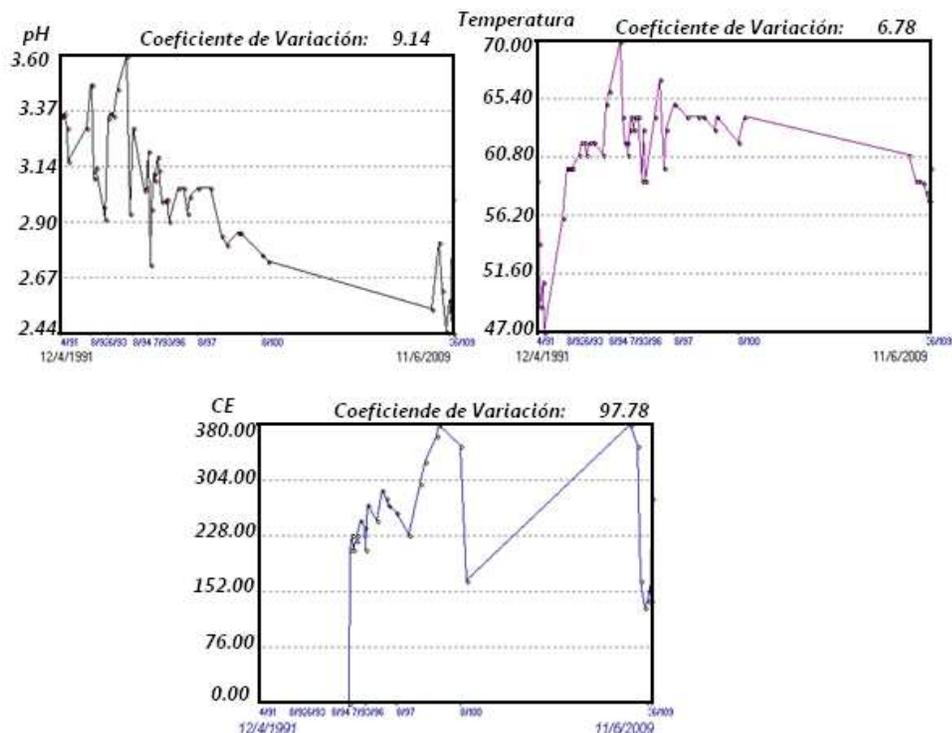


**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

- Gualí:

Al igual que la FT Hotel, Gualí también presentó algunas variaciones en sus parámetros fisicoquímicos. La temperatura en promedio durante este primer semestre se mantuvo en 58°C, el pH fluctuó entre 2,4 y 2,5 y la conductividad eléctrica en los primeros meses del año (febrero-abril) mostró un descenso en sus valores de acuerdo a los valores que había presentado en el 2008, pasando en promedio de 3,45 mS/cm a 1,45 mS, volviendo a subir en el mes de junio a 3,76 mS/cm. Estas variaciones pueden apreciarse en la figura 1.14.



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

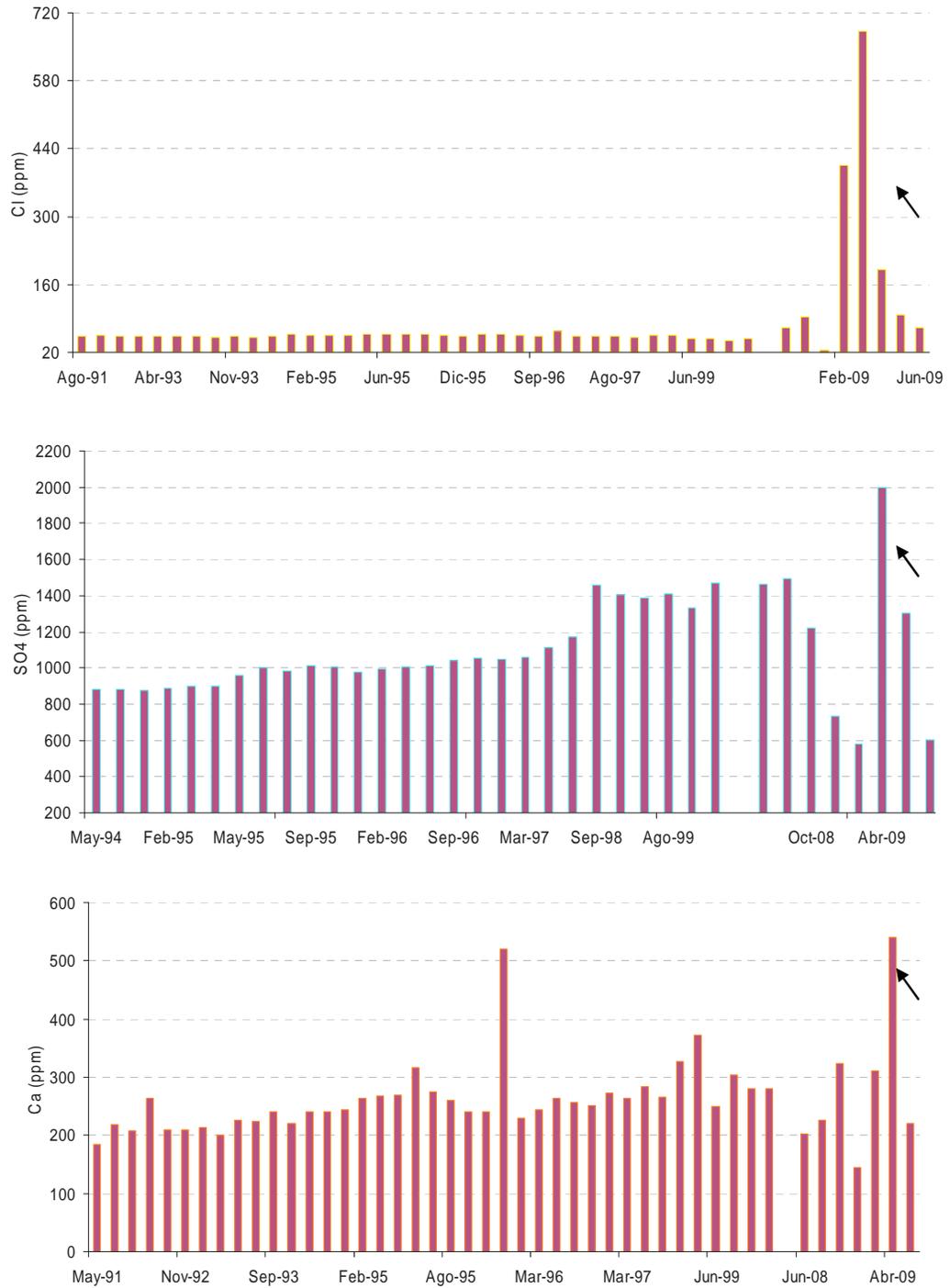
El contenido de iones mayoritarios del agua de la fuente termal Gualí presentó variaciones importantes durante las mediciones realizadas en el primer semestre del 2009. Al igual que la FT Hotel, su contenido de Cloruros registró incrementos súbitos en los meses de febrero y marzo, en el mes de abril se obtuvo un descenso en sus valores de concentración pero de igual manera estuvo muy por encima de sus valores base, finalmente en los meses de mayo y junio, la composición en cloruros mostró valores cercanos a su nivel base.

Las figuras 1.15 y 1.16 muestran la variación presentada en los iones mayoritarios en esta fuente termal, durante el primer semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

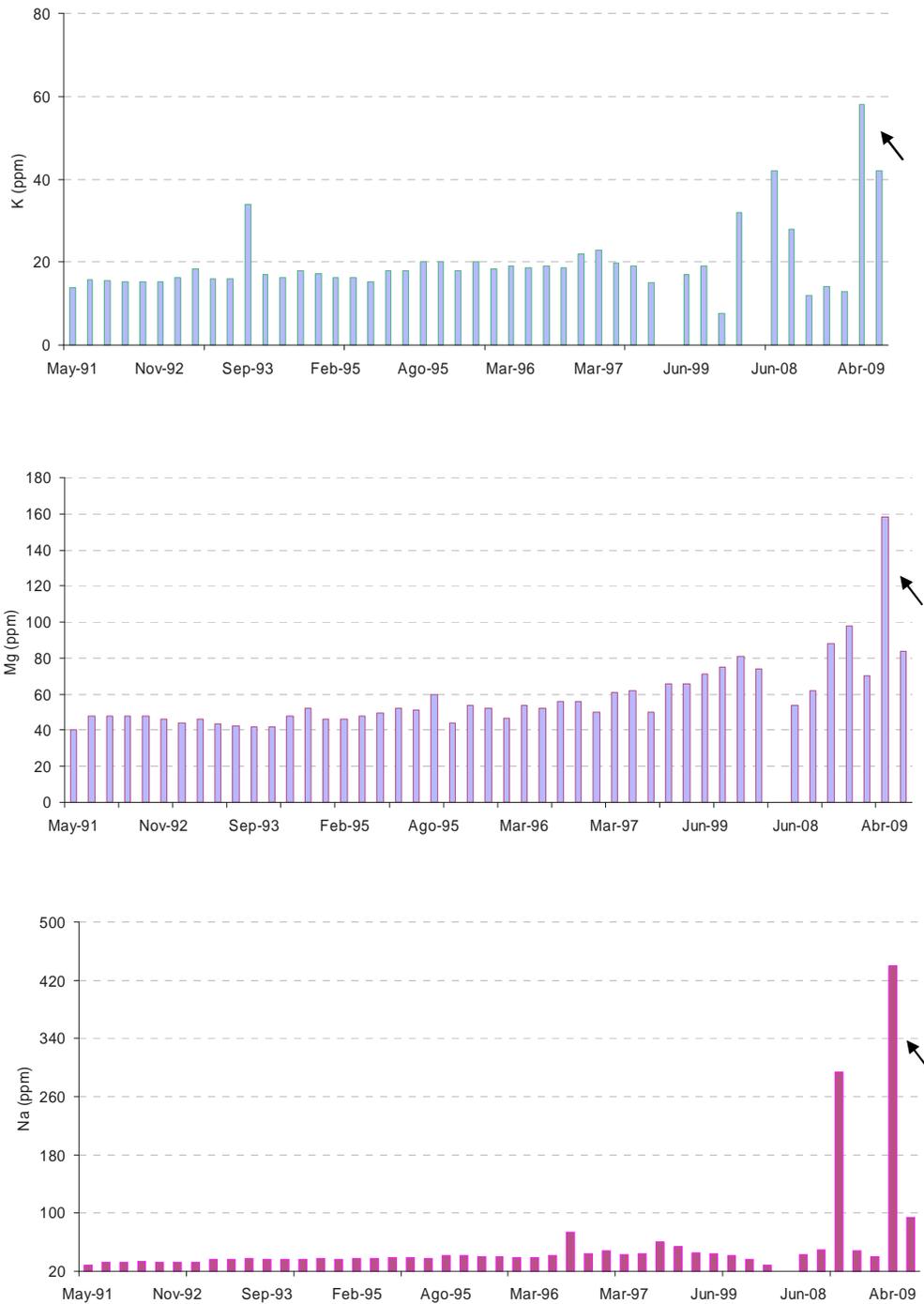


**Figura 1.15 Variación de iones mayoritarios en la FT Gualí VNR. Primer Semestre de 2009.**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



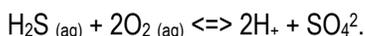
**Figura 1.16. Variación de iones mayoritarios en la FT Gualí VNR. Primer Semestre de 2009.**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

La variación en la concentración de iones sulfatos puede estar asociada a algunos procesos de oxidación que se presenten durante la interacción de agua con algunas rocas lo cual puede facilitar el transporte de metales como complejos sulfurados, lo cual hace que en una reacción de equilibrio a pH ácido, como es el caso de ésta FT, se forme H<sub>2</sub>S desde los iones Sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) y los iones H<sup>+</sup> y por lo tanto la concentración de iones sulfato se vea disminuida. La posible reacción sería:



En las figuras 1.15 y 1.16 se aprecian variaciones importantes en el contenido de aniones y cationes, especialmente en las mediciones realizadas el día 28 de abril, en donde se presentaron incrementos marcados en el contenido de Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>, lo cual puede estar asociado a cambios en los fluidos hidrotermales, que por ser soluciones electrolíticas multicomponentes en las cuales los solutos pueden precipitar en respuesta a cambios en el ambiente hidrotermal, ya sea por interacción agua-roca, por factores temporales asociados a las precipitaciones o también por la formación de complejos metálicos a altas temperaturas en lo profundo del edificio volcánico, y en general a la termodinámica misma del sistema cuando este presenta desequilibrios.

- Aguas Calientes

En el mes de abril del 2009 se reanudó el monitoreo de la fuente termal Aguas Calientes, de acuerdo a las líneas base que se tienen hasta el año 2002 se aprecian variaciones en sus parámetros fisicoquímicos. El pH ha disminuido considerablemente, las primeras mediciones en los meses de abril y mayo mostraron valores cercanos a 1,1 y el promedio hasta el 2002 fue de 1,43; en el mes de junio el pH presentó un leve decrecimiento y su valor fue de 0,94, valor que es el más bajo de acuerdo a los registros que se tienen.

La temperatura sigue manteniéndose en promedio en 58°C, la conductividad eléctrica en cambio es el parámetro que mayores cambios ha evidenciado, sus valores promedio estaban en 5,6 mS/cm hasta el 2002, en la medida de abril su valor fue de 11,9 mS/cm y en junio se incrementó a 14,3 mS/cm.

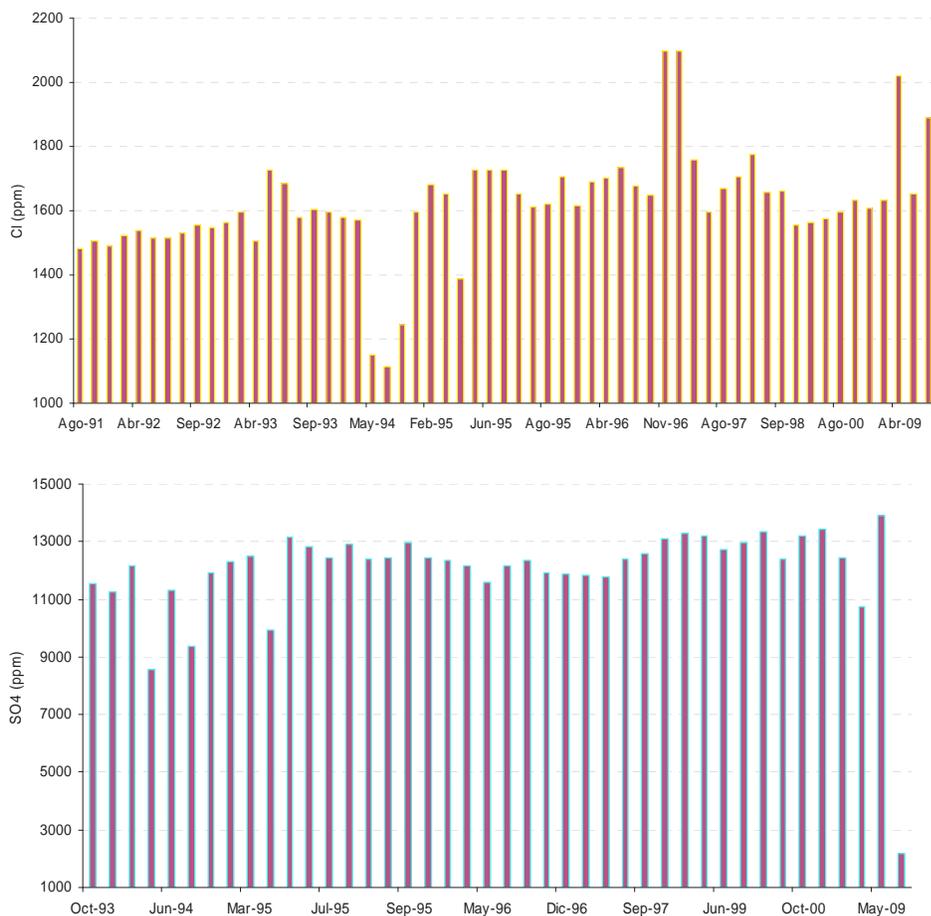
Estas variaciones pueden apreciarse en la figura 1.17, las cuales pueden estar asociadas a posible mezcla con las aguas de las precipitaciones que causan variaciones temporales.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



**Figura 1.18 Variación en el contenido de aniones FT Aguas Calientes. VNR. Primer Semestre de 2009.**

### **1.3.2.3 GASES VOLCANICOS (TRAMPAS ALCALINAS).**

A partir de los resultados parciales de los parámetros geoquímicos evaluados en los fluidos volcánicos del VNR durante el primer semestre del 2009, se estableció que las concentraciones de HCl, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y Azufre total (St) analizados en las trampas alcalinas ubicadas alrededor del VNR presentaron algunas variaciones durante los periodos de muestreo, es importante tener en cuenta que los cambios en composición dependen de varios parámetros entre los cuales se destacan:

- El contenido de CO<sub>2</sub> corresponde a la sumatoria del ambiental y el volcánico
- 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 25 y 28 días.
- Las especies azufradas H<sub>2</sub>S y SO<sub>2</sub> no son del todo cuantificables ya que los sulfuros sufren oxidación parcial en ambientes oxidantes (atmósfera).



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

- La absorción de los gases depende de la dirección y velocidad del viento (por ello en algunas estaciones existen periodos de picos y descensos bruscos en la concentración de los gases).

En la figura 1.19, con lo expuesto anteriormente para el periodo de muestreo se pudo establecer que el contenido de  $\text{CO}_2$  presentó pequeñas variaciones en tres de las cuatro estaciones de trampas alcalinas durante las 4 mediciones realizadas el primer semestre de 2009: Gualí, Olleta y Refugio 1 mantuvieron en promedio entre el 96 y 98% de  $\text{CO}_2$ , mientras que la estación Refugio 2 presentó un descenso brusco en la medida, ya que pasó de 98,5% en marzo al 87% en abril, en mayo subió al 90% y para junio se tenía un contenido del 97,6%.

En cuanto al contenido de HCl para todas las estaciones presentaron valores bajos y con fluctuaciones pequeñas, se observó incrementos para todas las estaciones en las medidas del mes de abril, luego en mayo y junio se evidenciaron descensos, siendo la estación Refugio 2 la que presentó el menor porcentaje de HCl. Los porcentajes de  $\text{St}$  presentaron fluctuaciones durante todo el periodo de muestreo, especialmente en la estación Refugio 2, quien mostró el menor valor en 1,29% (marzo) y el mayor en 10,7% (abril), las demás estaciones mostraron un comportamiento similar pero con menor grado de cambio.

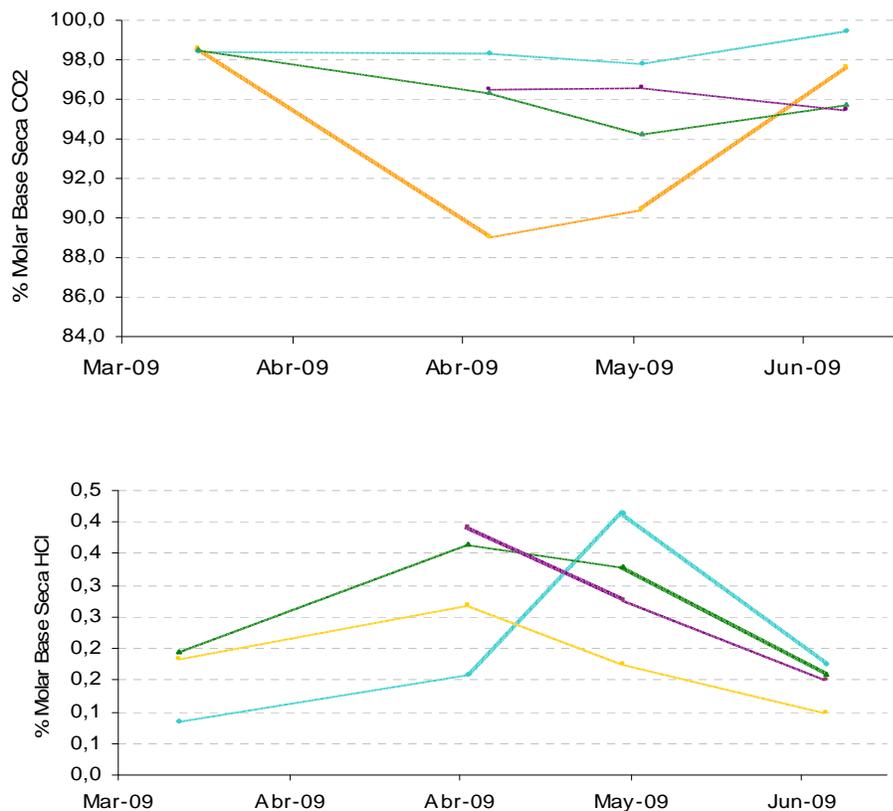
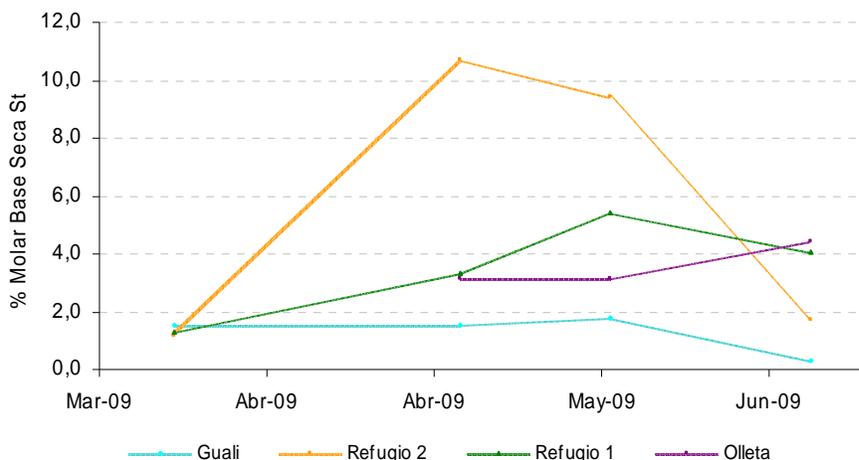


Figura 1.19. Variación en el contenido de  $\text{CO}_2$ , HCl y  $\text{St}$  en fluidos volcánicos. VNR. Primer Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

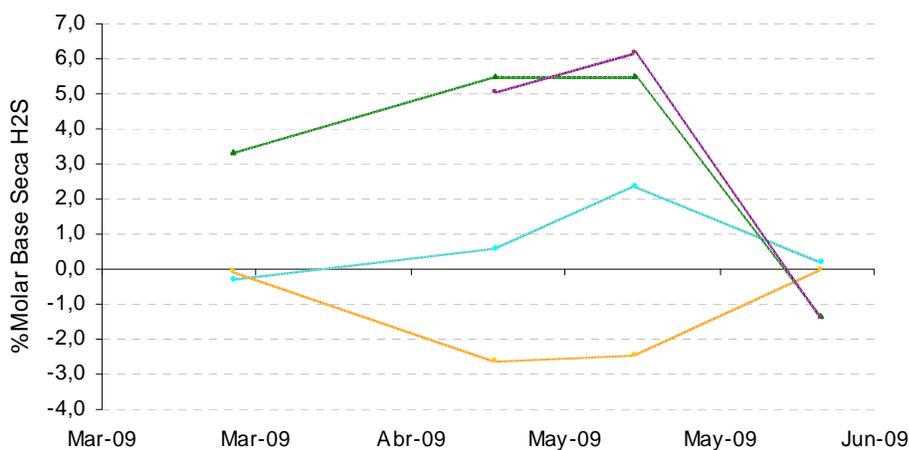
**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



**Figura 1.19 (Continuación) Variación en el contenido de CO<sub>2</sub>, HCl y Si en fluidos volcánicos. VNR. Primer Semestre de 2009.**

Como se expuso anteriormente las especies azufradas SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S no son representativas para este tipo de muestreo ya que como se puede apreciar en la figura 1.20 se presentan valores negativos en su contenido molar en base seca, lo cual no corresponde con el contenido real en la composición de la columna de gas emanada del VNR; no obstante es de destacar que nuevamente la estación Refugio 2 es la que mayores variaciones presenta, lo cual puede atribuirse a que es la estación que está más expuesta al viento y por lo tanto es la que mayor sufre los cambios en la velocidad y la dirección del mismo.

La estación Gualí es la que presenta un comportamiento más estable durante el periodo de muestreo y análisis tanto en el contenido de SO<sub>2</sub> como en el de H<sub>2</sub>S.



**Figura 1.20 Variación en el contenido de SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S en fluidos volcánicos. VNR. Primer Semestre de 2009.**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

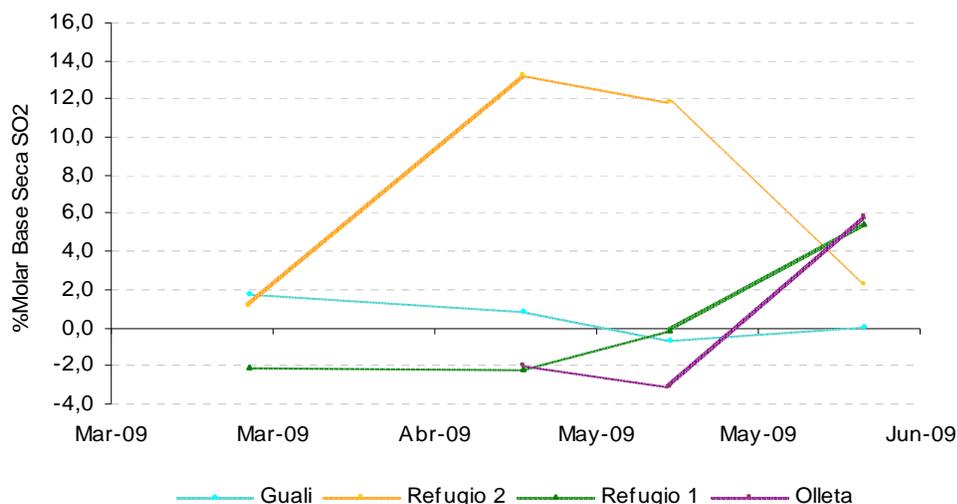


Figura 1.20 (Continuación) Variación en el contenido de SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S en fluidos volcánicos. VNR. Primer Semestre de 2009.

### 1.3.3 DEFORMACION.

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 durante el primer semestre de 2009 la ocupación de algunas estaciones de control topográfico y EDM, así como el registro continuo de los cinco inclinómetros electrónicos que conforman las redes de deformación del volcán Nevado del Ruiz. 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 DEFORMACION

En la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz se realizaron las ocupaciones descritas en la tabla 1 durante el primer semestre de 2009. Algunos inclinómetros presentaron fallas durante este periodo, las cuales a su debido tiempo fueron corregidas por el grupo de electrónica del OVSM.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

ESTACION	OCUPACIONES	
	DESDE	HASTA
INC. ELEC. BIS	1 ENERO DE 2009	30 JUNIO DE 2009
INC. ELEC. LISA	1 ENERO DE 2009	30 JUNIO DE 2009
INC. ELEC. RECIO	1 ENERO DE 2009	30 JUNIO DE 2009
INC. ELEC. REFUGIO	1 ENERO DE 2009	30 JUNIO DE 2009
INC. ELEC. AZUFRADO	1 ENERO DE 2009	30 JUNIO DE 2009
BASE EL REFUGIO	5 DE ABRIL DE 2009	8 MAYO DE 2009
REFLECTOR REFUGIO 1	5 DE ABRIL DE 2009	8 MAYO DE 2009
REFLECTOR REFUGIO 2	5 DE ABRIL DE 2009	8 MAYO DE 2009
REFLECTOR REFUGIO 3	5 DE ABRIL DE 2009	8 MAYO DE 2009
REFLECTOR REFUGIO 4	5 DE ABRIL DE 2009	8 MAYO DE 2009
REFLECTOR REFUGIO 5	5 DE ABRIL DE 2009	8 MAYO DE 2009
REFLECTOR REFUGIO 6	5 DE ABRIL DE 2009	8 MAYO DE 2009
REFLECTOR OLLETA	5 DE ABRIL DE 2009	8 MAYO DE 2009
INCLINOMETRO SECO BIS	8 DE MAYO DE 2009	
INCLINOMETRO SECO NEREIDAS	8 DE MAYO DE 2009	
INCLINOMETRO SECO PIRAÑA	7 DE MAYO DE 2009	
INCLINOMETRO SECO REFUGIO	8 DE MAYO DE 2009	
VECTORE DE NIVELACION BIS	8 DE MAYO DE 2009	
VECTORE DE NIVELACION NEREIDAS	8 DE MAYO DE 2009	
VECTORE DE NIVELACION PIRAÑA	7 DE MAYO DE 2009	

Tabla 1. Ocupaciones realizadas en la red de deformación del Volcán Nevado del Ruiz durante el primer semestre de 2009.

### 1.3.3.2 COMPORTAMIENTO INCLINÓMETROS SECOS:

#### - Inclínómetro Seco Nereidas

El Inclínómetro Seco Nereidas para el primer semestre de 2009 sigue mostrando el comportamiento fluctuante, que viene manifestando desde Enero del 2004 (Fig. 1.21).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

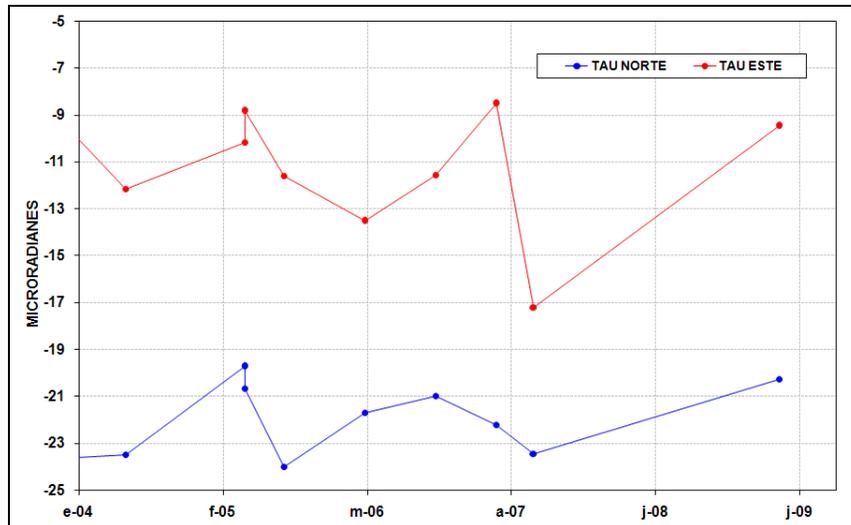


Figura. 1.21 Comportamiento de los Taus Norte y Este registrado por el inclinómetro seco Nereidas desde enero de 2004 hasta el primer semestre de 2009.

### Inclinómetro Seco Refugio

El Inclinómetro Seco Refugio sigue mostrando un comportamiento fluctuante desde Diciembre del 2001, mostrando en general una tendencia inflacionaria registrando un cambio acumulado de 4,31  $\mu\text{rad}$  para la componente Norte y de 4,32  $\mu\text{rad}$  para la componente Este (Fig. 1.22).

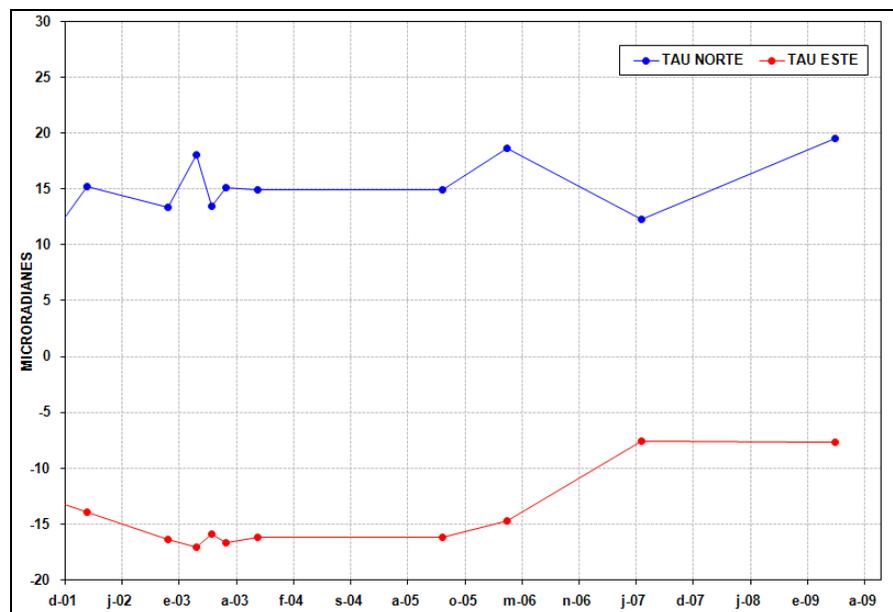


Fig. 1.22. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Refugio desde diciembre de 2001 hasta el primer semestre 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**Inclinómetro Seco Bis**

El comportamiento del Inclinómetro Seco Bis desde Enero del 2004 hasta Agosto del 2007 se caracterizó por mostrar un comportamiento inflacionario en las dos componentes. A partir de Agosto del 2007 hasta junio de 2009 el Inclinómetro manifestó un cambio en el comportamiento de sus dos componentes, mostrando una tendencia deflacionaria con registro de un cambio acumulado de  $-12,97 \mu\text{rad}$  para la componente Norte y de  $-5,159 \mu\text{rad}$  para la componente Este (Fig. 1.23).

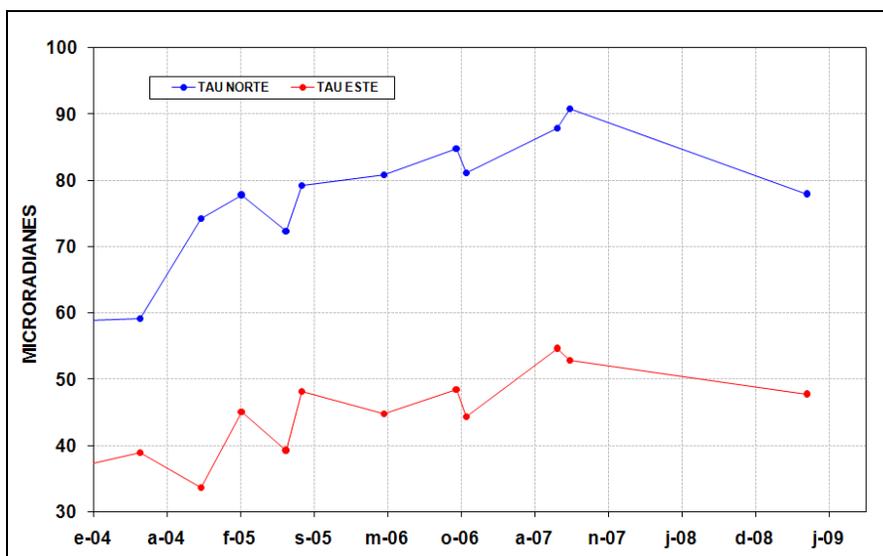


Fig. 1.23. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Bis desde enero de 2004 hasta el primer semestre de 2009.

**Inclinómetro Seco Piraña**

El Inclinómetro Seco Piraña para el primer semestre de 2009 continúa mostrando un comportamiento fluctuante en sus dos componentes, sin embargo se puede apreciar una tendencia inflacionaria en la componente Norte y una tendencia deflacionaria en la componente Este, con registro de un cambio acumulado de  $15,21 \mu\text{rad}$  y de  $-2,79 \mu\text{rad}$  respectivamente (Fig. 1.24).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

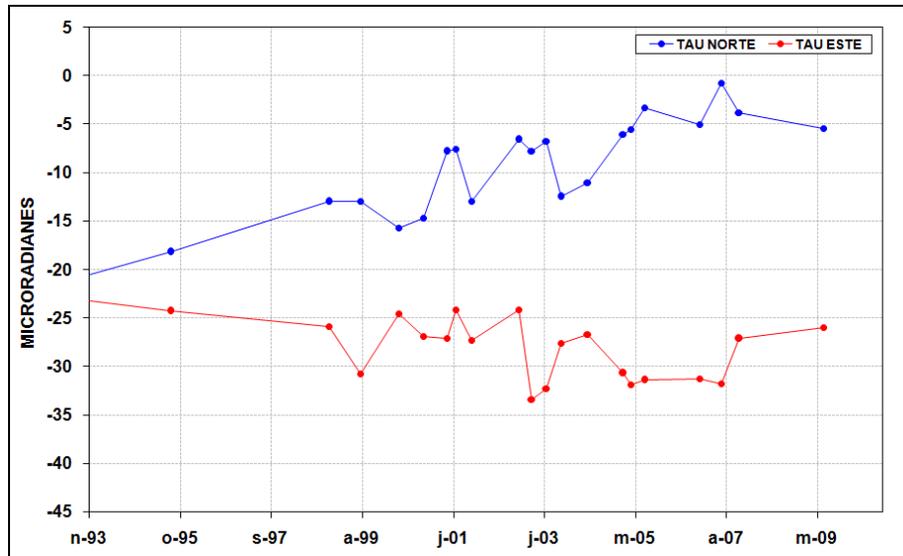


Fig. 1.24. Comportamiento de los Taus Norte y Este, registrado por el inclinómetro seco Piraña desde noviembre de 1993 hasta el primer semestre 2009.

**1.3.3.3 COMPORTAMIENTO VECTORES DE NIVELACION**

**Vectores de Nivelación Piraña**

El comportamiento del Vector de Nivelación Piraña durante el primer semestre 2009 continúa mostrando una tendencia ascendente con la que viene desde el junio de 2005, con registro de un cambio acumulado de 2,185  $\mu$ rad (Fig. 1.25).

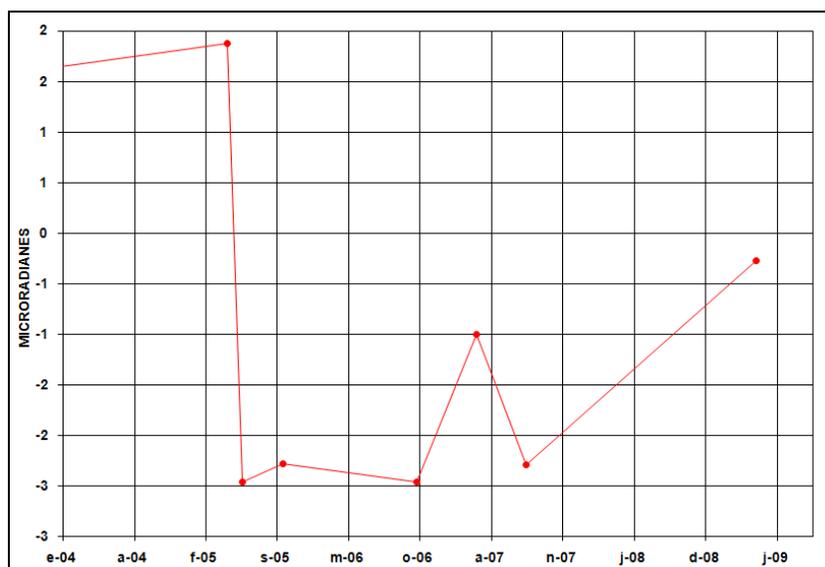


Fig. 1.25. Comportamiento acumulado del Vector de Nivelación Piraña desde enero de 2004 hasta el primer semestre 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**Vectores de Nivelación Nereidas**

El Vector de Nivelación Nereidas para el primer semestre de 2009, continúa manifestando un comportamiento descendente mostrado desde Septiembre de 2006, con registro de un cambio acumulado de  $-1,287 \mu\text{rad}$  (Fig. 1.26).

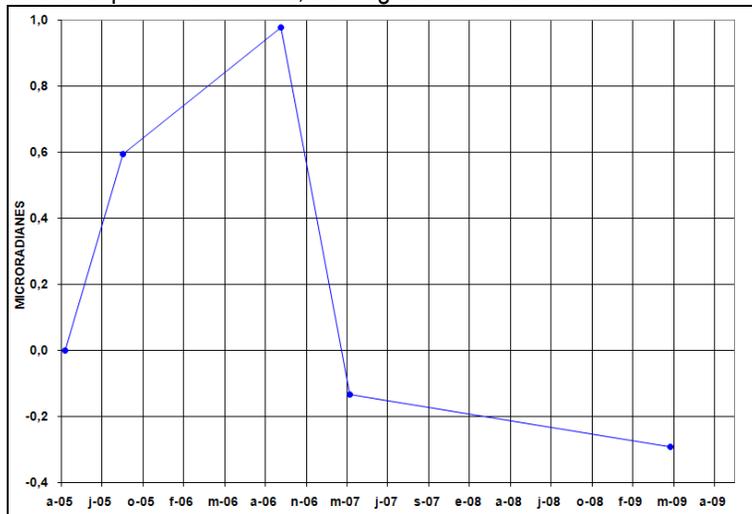


Fig.1.26. Comportamiento acumulado del Vector de Nivelación Nereidas desde agosto de 2005 hasta el primer semestre 2009.

**Vectores de Nivelación Bis**

El Vector de Nivelación Bis muestra un comportamiento descendente desde Septiembre de 2005, que se mantiene hasta el primer semestre de 2009 con registro de un cambio acumulado de  $-2,927 \mu\text{rad}$  (Figura 1.27).

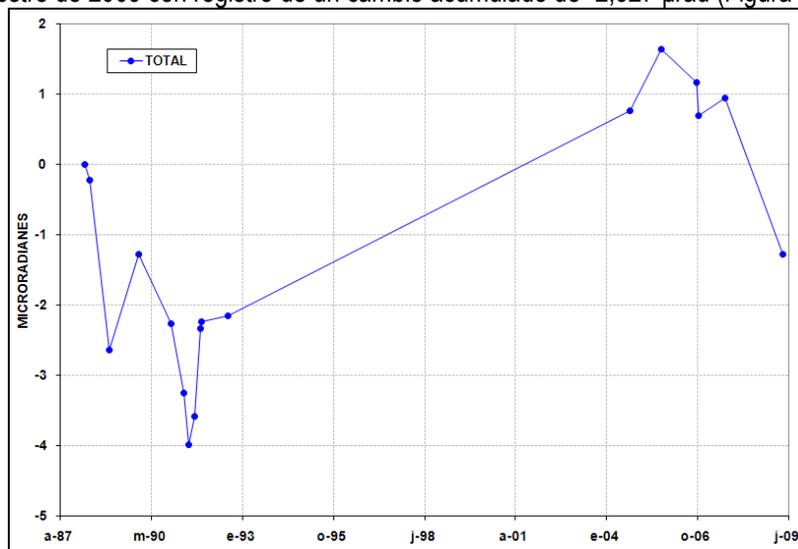


Fig. 1.27. Comportamiento acumulado del Vector de Nivelación Bis desde mayo de 1988 hasta el primer semestre 2009.



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

#### 1.3.3.4 COMPORTAMIENTO INCLINOMETROS ELECTRONICOS

En el VNR se tienen instalados 5 inclinómetros electrónicos de plataforma nivelante de 2 ejes, provisto de un sensor de temperatura (Junio de 2009). 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  $\mu$ radianes ( $\mu$ rad). 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 Bis

El inclinómetro electrónico de Bis se instaló el 30 de Agosto de 2007 en el sector de Bis a 1,6 km al Noroccidente de cráter Arenas del Volcán Nevado del Ruiz. El inclinómetro está ubicado a un costado de la estación sismológica Bis. El comportamiento del inclinómetro Bis desde inicios del primer semestre de 2009 hasta el 14 de Mayo presentó grandes fluctuaciones en la componente Norte definiendo una tendencia estable. La componente Este no presentó fluctuaciones y mantuvo un claro comportamiento inflacionario registrando un cambio acumulado  $-327,7 \mu$ rad. Del 14 al 16 de Mayo no se registraron datos debido a problemas de funcionamiento, por lo cual se realizó una comisión de mantenimiento y reparación del equipo, incluyendo la renivelación del sensor de inclinometría. A partir del 16 de Mayo de 2009 se cambia el comportamiento del inclinómetro, registrándose un comportamiento estable en las dos componentes, aunque con algunas oscilaciones o fluctuaciones (Fig. 1.28).

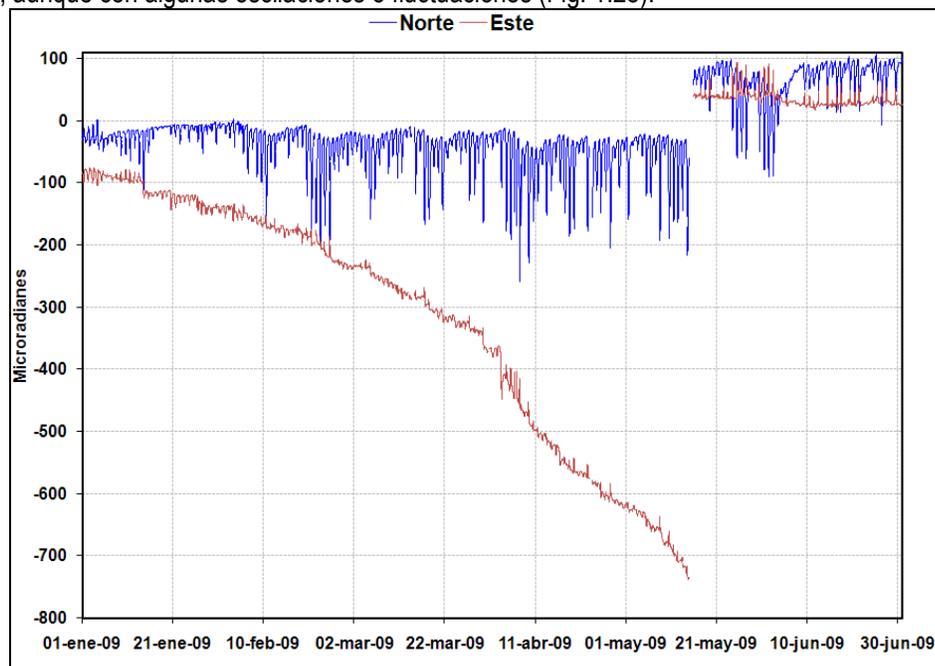


Figura 1.28. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Bis durante el primer semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**Inclinómetro Lisa**

El inclinómetro electrónico de Lisa se instaló el 19 de Noviembre de 2007 en el sector alto de la quebrada Lisa a 2,2 km al Noroccidente de cráter Arenas del Volcán Nevado del Ruiz. El inclinómetro está ubicado a un costado de la estación sismológica Lisa. Su comportamiento durante el primer semestre de 2009 se caracterizó por presentar pequeñas oscilaciones, registrando una ligera tendencia deflacionaria hasta finales de marzo de 2009, cuando se empezó a registrar un cambio acumulado muy grande de 254,7 y 265,34  $\mu$ rad en las componentes Norte y Este respectivamente (Fig. 1.29).

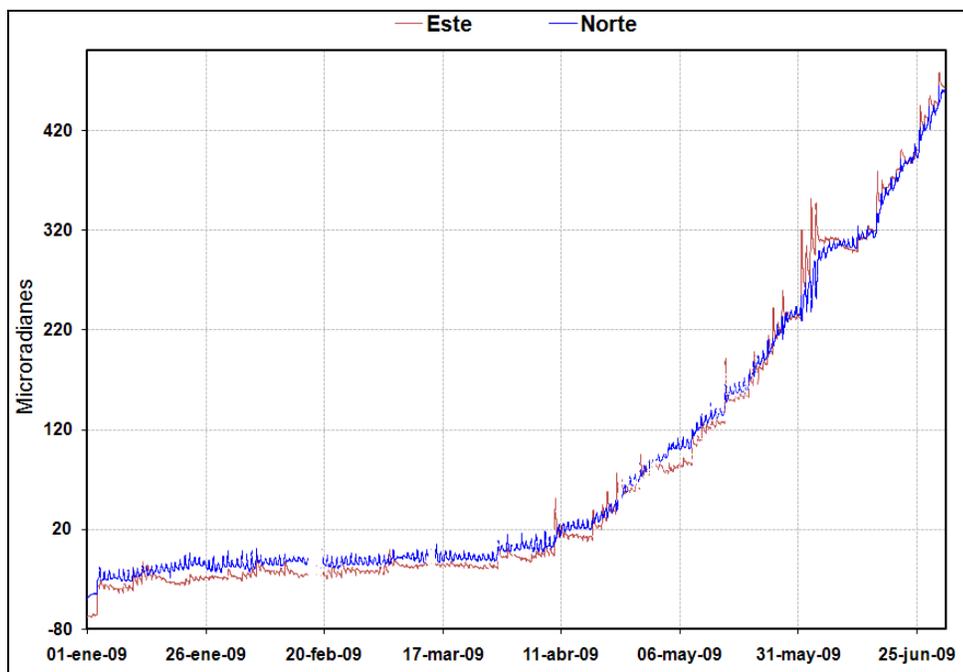


Figura 1.29. Comportamiento de las componentes Norte y Este, del inclinómetro electrónico Lisa durante el primer semestre de 2009.

**Inclinómetro Recio**

El comportamiento del inclinómetro Recio durante el primer semestre de 2009 se caracterizó por presentar pequeñas fluctuaciones, manteniendo un comportamiento estable en sus dos componentes. A mediados de Abril de 2009, la componente Este presentó un cambio, después del cual el inclinómetro se estabilizó (Fig. 1.30).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

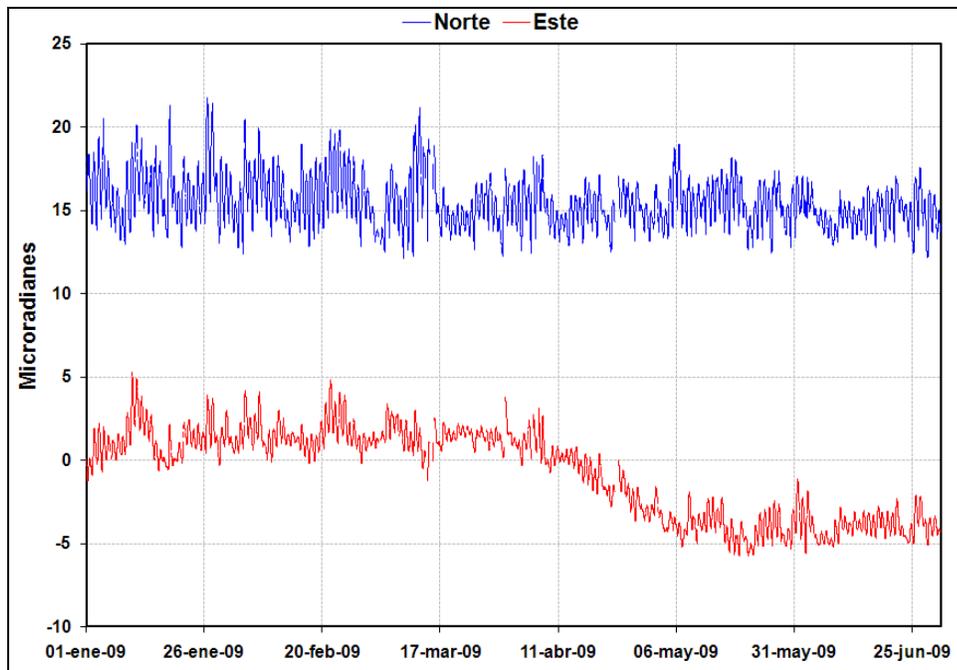


Figura 1.30. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Recio durante el primer semestre de 2009.

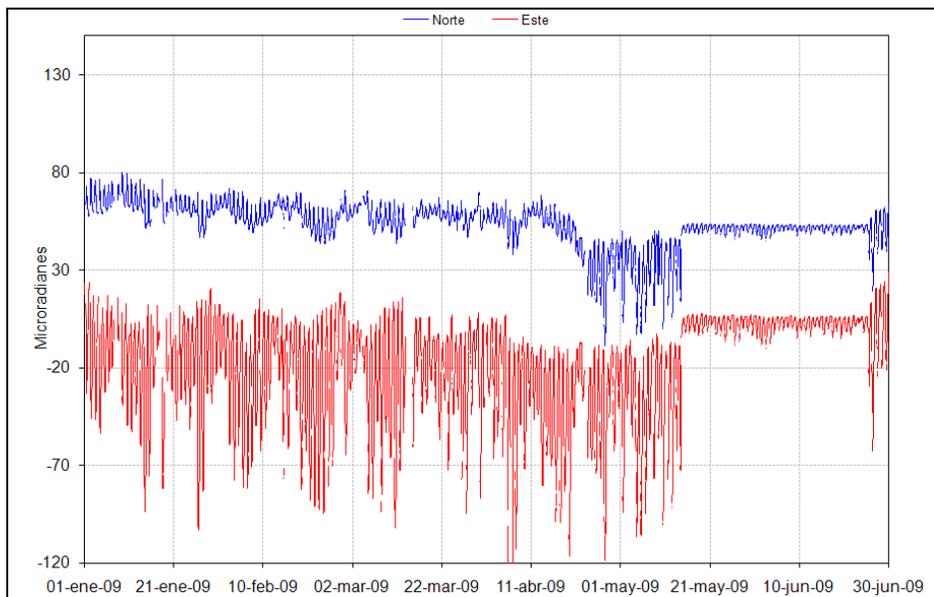
### **Inclinómetro Azufrado**

El inclinómetro electrónico Azufrado registró un comportamiento muy fluctuante desde inicios del primer semestre de 2009 hasta el 21 de Abril, manteniendo una tendencia inflacionaria en las dos componentes con registro de un cambio acumulado de 17,2  $\mu\text{rad}$  en la componente Norte y de 19,4  $\mu\text{rad}$  en la componente Este; a partir de esta fecha la componente Norte muestra un comportamiento estable hasta finalizar el semestre, y la componente Este registra un comportamiento fluctuante, pero con una tendencia estable hasta el 14 de Mayo donde se da un cambio deflacionario brusco en el comportamiento de ésta componente, con un registro de cambio acumulado de 35.9  $\mu\text{rad}$  volviendo luego a mostrar la tendencia estable pero menos fluctuante hasta el 25 de Junio, donde empieza a mostrar un comportamiento muy fluctuante y deflacionario con un registro de cambio acumulado de 12.2  $\mu\text{rad}$  hasta finalizar el semestre (Fig. 1.31).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



**Figura 1.31. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Azufrado en el primer semestre del año 2009.**

### **Inclinómetro Refugio**

Este inclinómetro mostró muchas fluctuaciones causadas posiblemente por las variaciones de temperatura. Durante los dos primeros meses del año se observó un comportamiento inflacionario hasta el 26 de febrero con registro de un cambio acumulado de  $-51,4$  y  $-34,47 \mu\text{rad}$  para las componentes Norte y Este respectivamente. El 26 de Febrero se chequea el equipo y se nivela el sensor de inclinometría, sin embargo se continúan registrando oscilaciones en las dos componentes, con estabilidad en la Este y un comportamiento deflacionario en la componente Norte, con registro de un cambio acumulado de  $79,39 \mu\text{rad}$  (Fig. 1.32).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

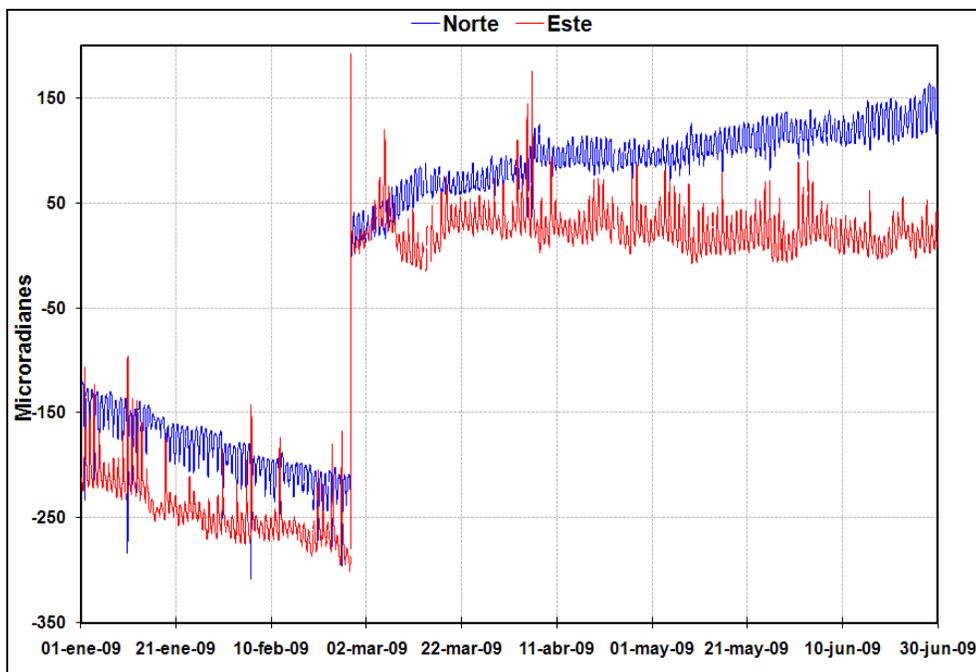


Figura 1.32. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Refugio en el primer semestre del año 2009.

#### 1.3.3.5 COMPORTAMIENTO DE LINEAS EDM

El 8 de octubre del 2008 se inició la implementación de la red EDM del Volcán Nevado del Ruiz, construyendo la base “El Refugio” y los reflectores “Refugio 1”, “Refugio 2”, “Refugio 3”, “Refugio 4”, “Refugio 5”, “Refugio 6” y “Olleta”, y se realizaron las primeras mediciones. Durante el primer semestre de 2009 se materializó la base “Olleta” (Marzo) y se realizaron dos mediciones de todas las líneas EDM (Abril y Mayo). El comportamiento de las todas las líneas es de estabilidad sin registrar cambios significativos (Fig. 1.33).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

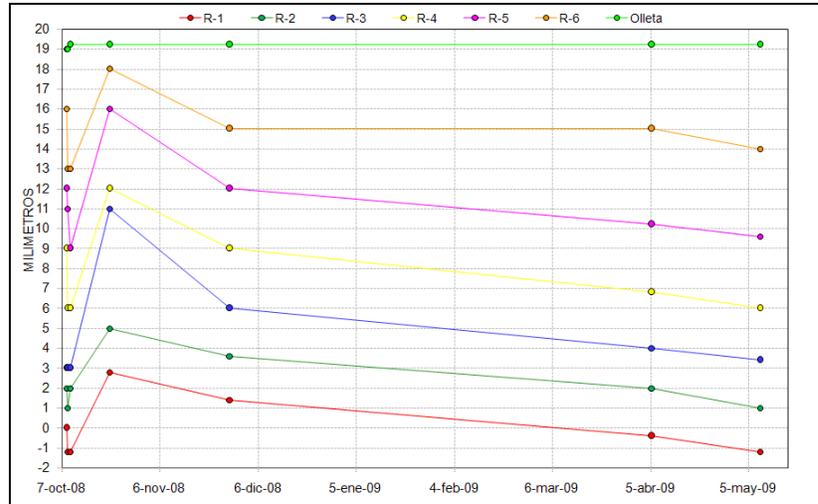


Figura 1.33. Comportamiento de los reflectores los reflectores “Refugio 1”, “Refugio 2”, “Refugio 3”, “Refugio 4”, “Refugio 5”, “Refugio 6” y “la Olleta” durante el primer semestre del año 2009.

**1.4 VOLCAN NEVADO DEL TOLIMA**

**1.4.1 SISMOLOGIA**

El Volcán Nevado del Tolima presentó un nivel bajo de actividad sísmica durante el primer semestre de 2009. Se registraron un total de 26 eventos sísmicos asociados a fracturamiento de roca (Tipo VT), con una liberación de energía igualmente baja.

La figura 1.34, muestra la energía sísmica liberada diaria, y la figura 1.35 muestra el número de sismos diarios.

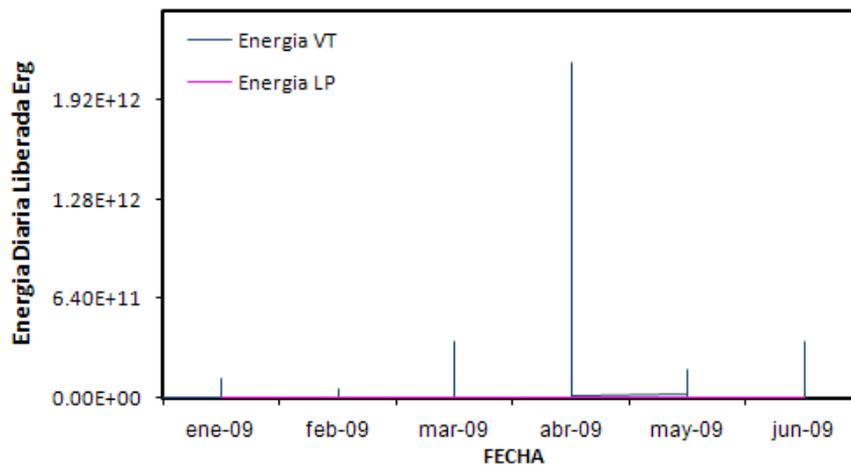


Figura 1.34. Energía sísmica liberada diaria, VNT primer semestre 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

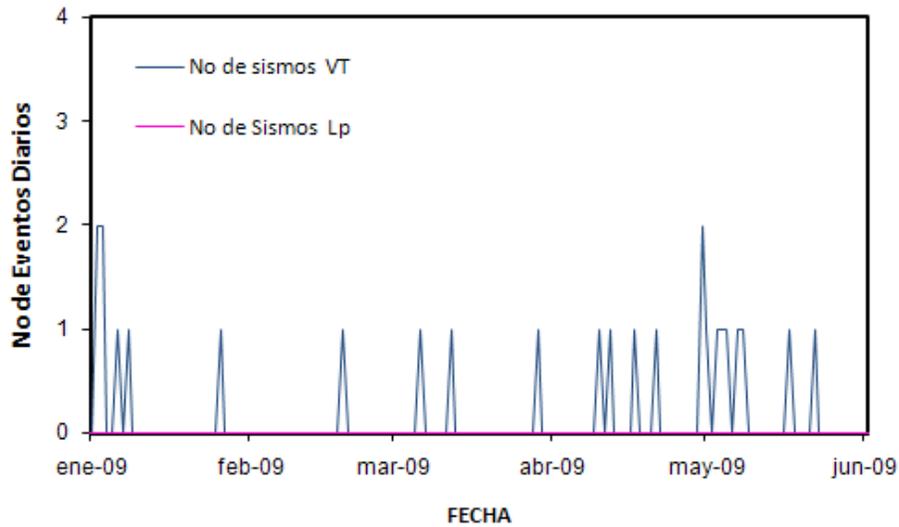


Figura 1.35. Número de sismos diarios, VNT primer semestre 2009.

Por otra parte, fueron registradas una gran cantidad de pequeñas avalanchas de roca, producidas por el deshielo del casquete glaciar. Un total de 820 señales sísmicas asociadas a avalanchas fueron registradas durante el primer semestre de 2009 (Figura 1.36).

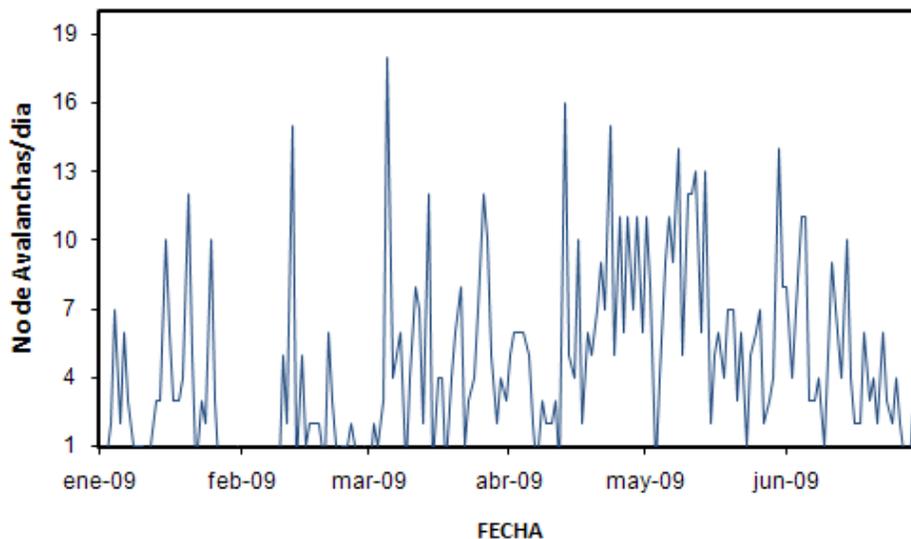


Figura 1.36. Número de avalanchas diarias en el VNT. Primer semestre 2009.

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



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

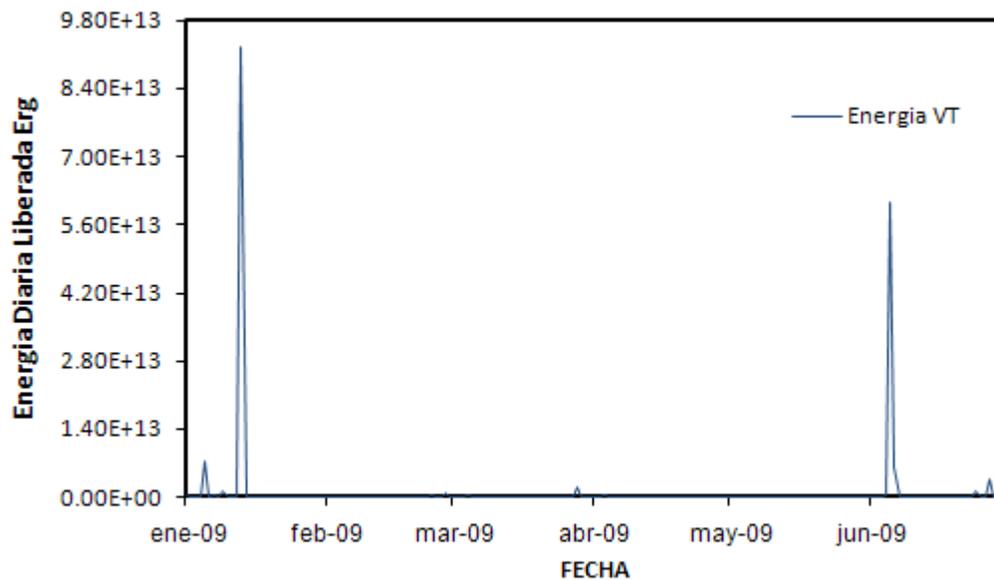
**1.5 VOLCAN CERRO MACHIN**

**1.5.1 SISMOLOGIA**

La actividad sísmica del VCM mostró un nivel bajo a medio durante el primer semestre de 2009. Éste 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 febrero, marzo y mayo, sin que en ninguno de ellos las magnitudes alcanzadas fueran superiores a 1. Durante el primer semestre solo se presentó un enjambre sísmico el cual ocurrió el día 6 de junio, registrándose 210 eventos entre las 06:15 y las 09:46 (hora local), con una magnitud máxima de 1.5 en la escala de Richter. La magnitud máxima registrada durante el semestre fué de 2.2 en la escala de Richter, la cual corresponde a un sismo ocurrido el día 13 de enero de 2009.

La figura 1.37 presenta la energía sísmica liberada diaria y el número diario de sismos. La figura 1.38 muestra la distribución de magnitudes con respecto al tiempo para el primer semestre de 2009.

La sismicidad Volcano-Tectónica (VT) se localizó principalmente debajo del domo principal y al este del mismo, con profundidades que oscilaron predominantemente entre 2 y 5 Km, sin embargo, algunos eventos se localizaron hacia el sur del edificio volcánico con un rango de profundidad mayor, entre 5 y 12 km (Figura 1.39).



a)



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

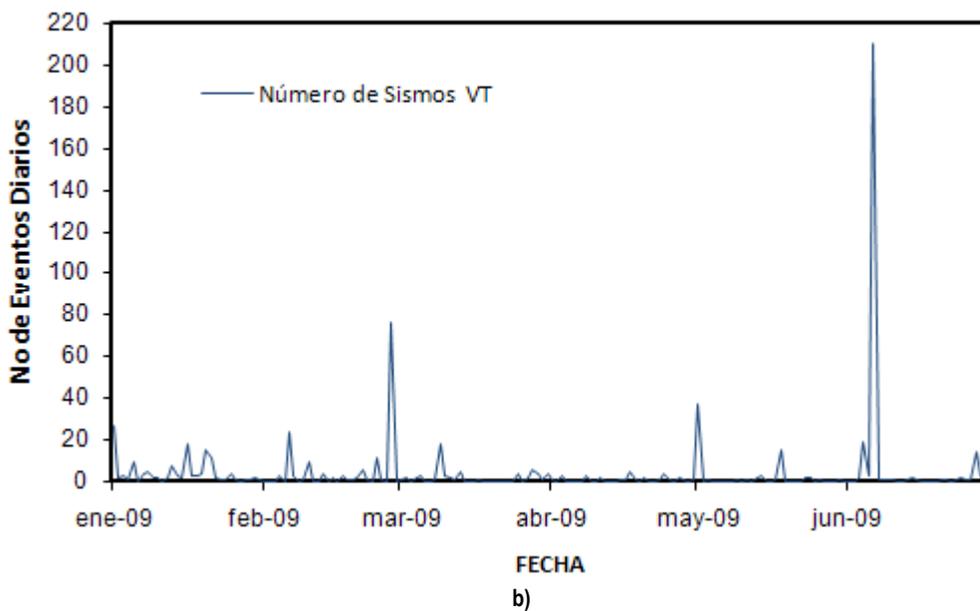


Figura 1.37. a) Energía sísmica liberada diaria VCM, primer semestre 2009. b) Número de sismos diarios VCM, primer semestre 2009.

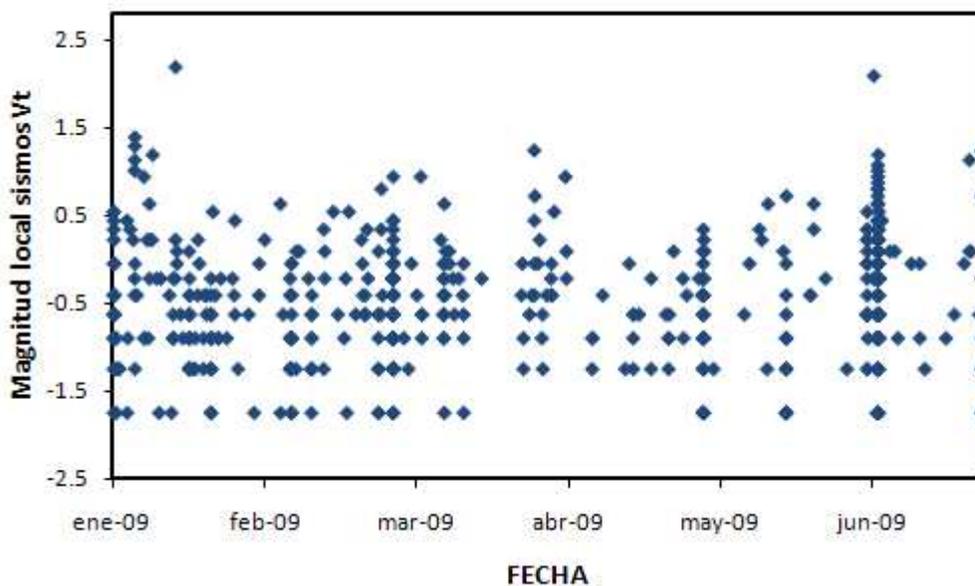


Figura 1.38. Distribución de magnitudes VCM, primer semestre 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

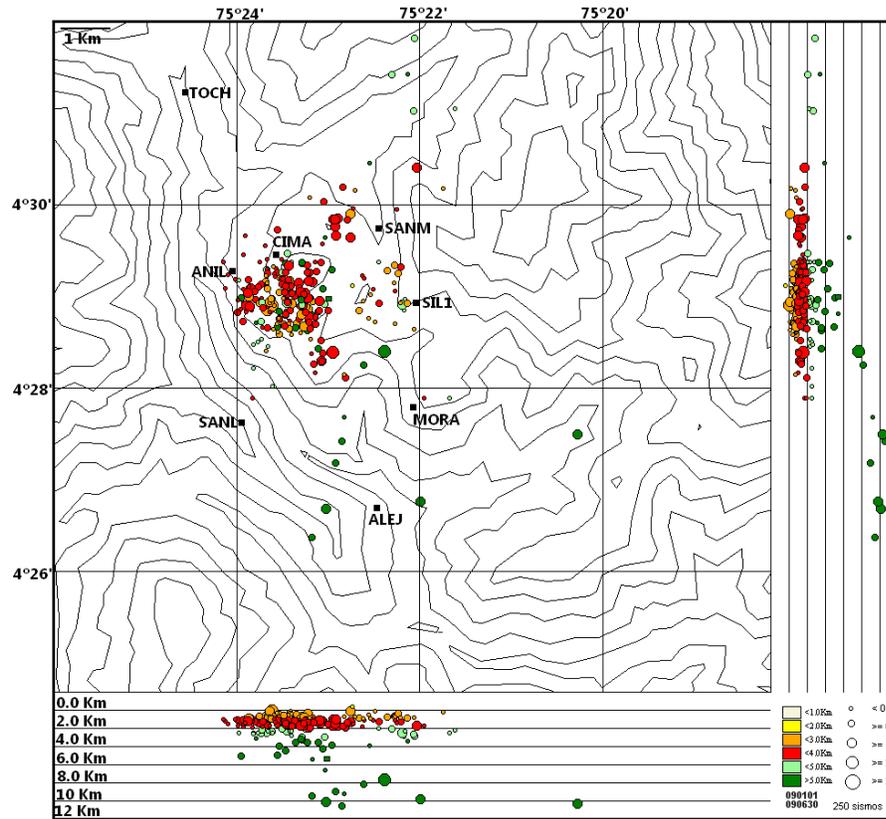


Figura 1.39. Localización hipocentral de sismos VT en el VCM, primer semestre 2009.

### 1.5.2 OTROS METODOS GEOFISICOS

A partir del 3 de abril entró en funcionamiento el primer sensor Acústico instalado en el VCM (ANILLO), estación que no registró señales asociadas a la actividad del VCM durante los meses de abril, mayo y junio. En cuanto a la estación de magnetometría (DOMO) la cual fue instalada el 19 de mayo, sus componentes registraron variaciones importantes en las dos componentes (X,Y); en la componente X, mostró una variación cercana a los 200nT desde su instalación, y la componente Y, mostró una variación similar.

La Figura 1.40 muestra los resultados obtenidos.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

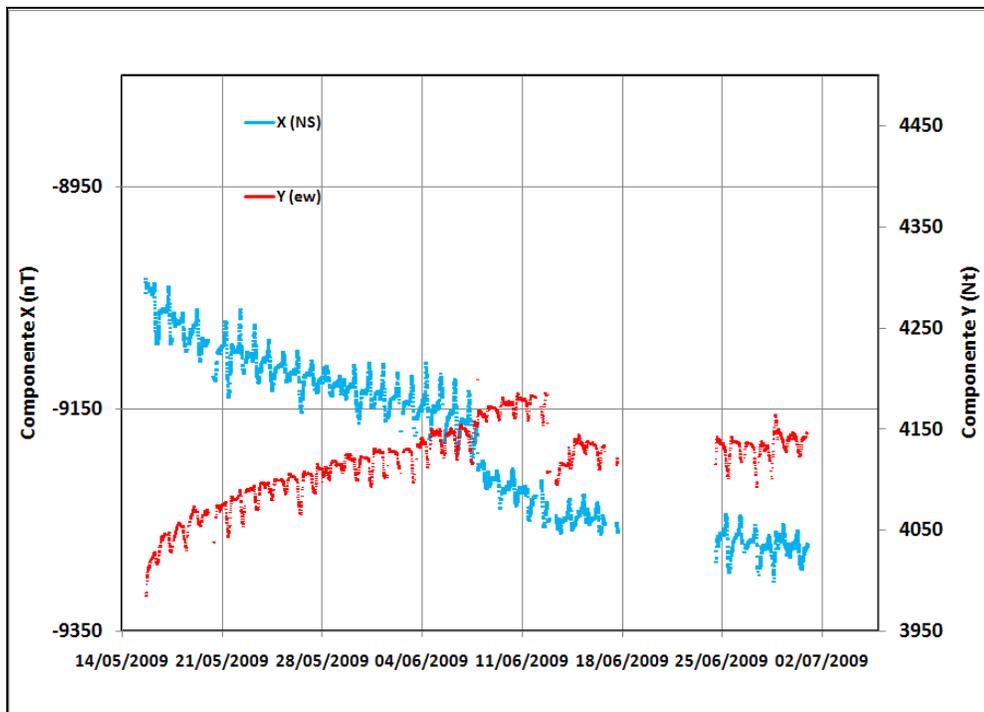


Figura 1.40. Variaciones del campo magnético, estación DOMO, en el VCM. Primer semestre de 2009.

### 1.5.3 GEOQUIMICA

Durante el primer 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 Alcalinas o de Giggenbach en la Fumarola la Macha.

Se realizaron medidas de gases difusos en las cuatro estaciones ubicadas en las cercanías del VCM. También se realizó monitoreo de la temperatura en el campo fumarólico y se instaló una estación telemétrica para observar los cambios en su gradiente.

#### 1.5.3.1 EMISIONES DE GAS RADON

Los resultados parciales de los valores de concentración de Gas Radón y  $CO_2$  en el suelo en el VCM muestran que no se presentaron variaciones importantes durante el primer semestre de 2009, todas las estaciones reportaron estabilidad. En la figura 1.41 se aprecia el comportamiento de los gases difusos en el VCM.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

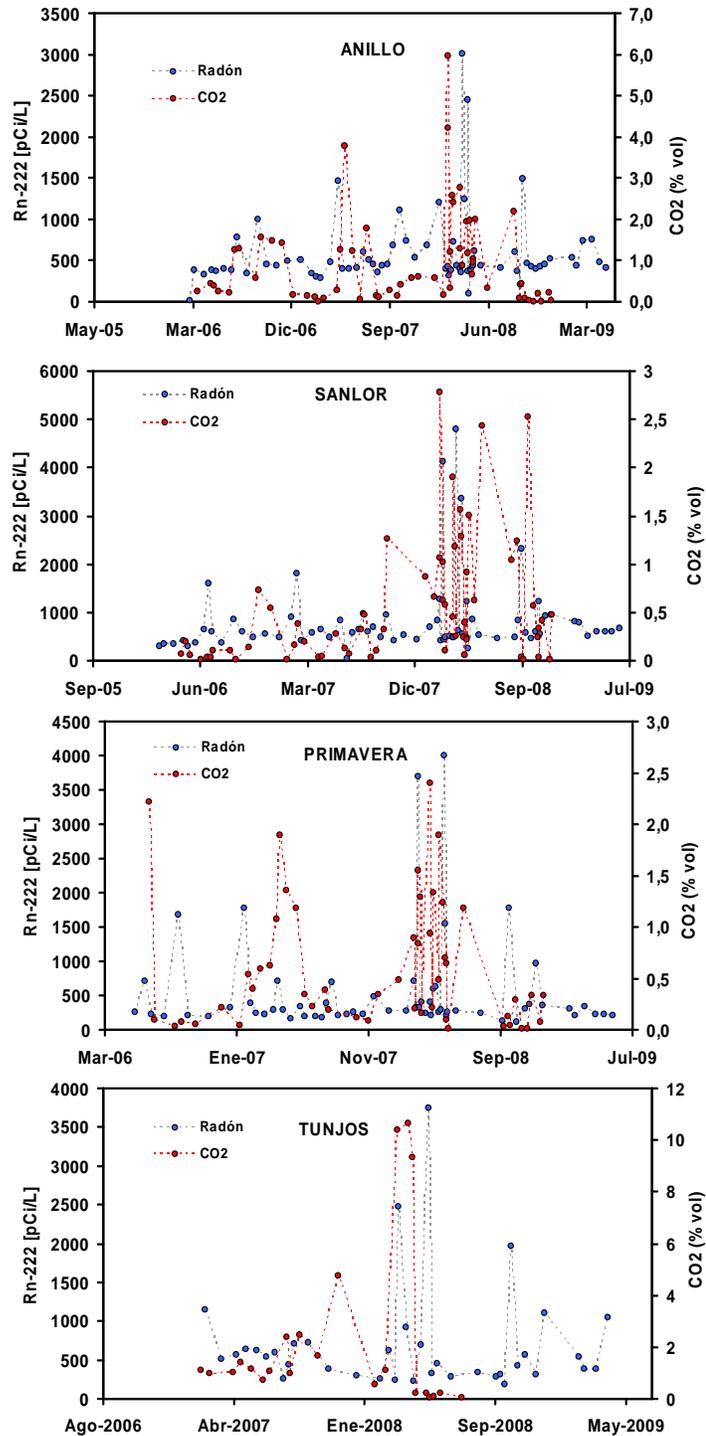


Figura 1.41 Variación de gases difusos en VCM. Primer Semestre de 2009.



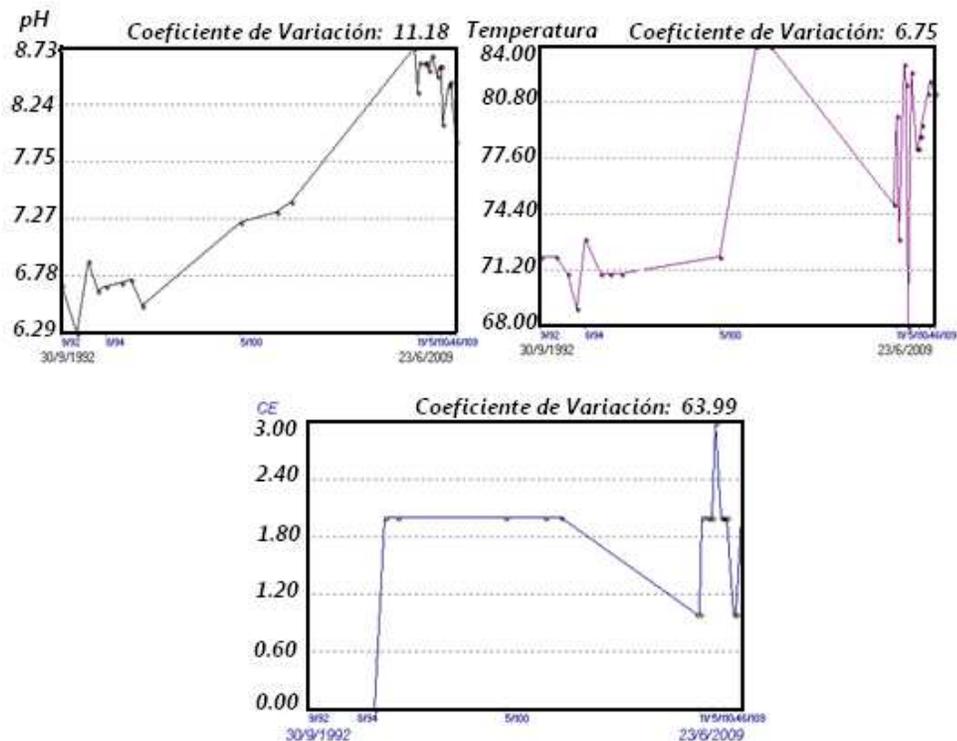
**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**1.5.3.2 FUENTES TERMALES**

- Piscina

Los parámetros fisicoquímicos para la FT muestran que durante el monitoreo del primer semestre no se aprecian cambios importantes en la temperatura, la cual se mantiene en promedio en 81°C, el pH obtuvo un pequeño descenso pasando de un promedio de 8,43 a 7,93 en el mes de junio, y la conductividad eléctrica no presentó mayores cambios. En la figura 1.42 se muestra el comportamiento de estos parámetros en el primer semestre del año.



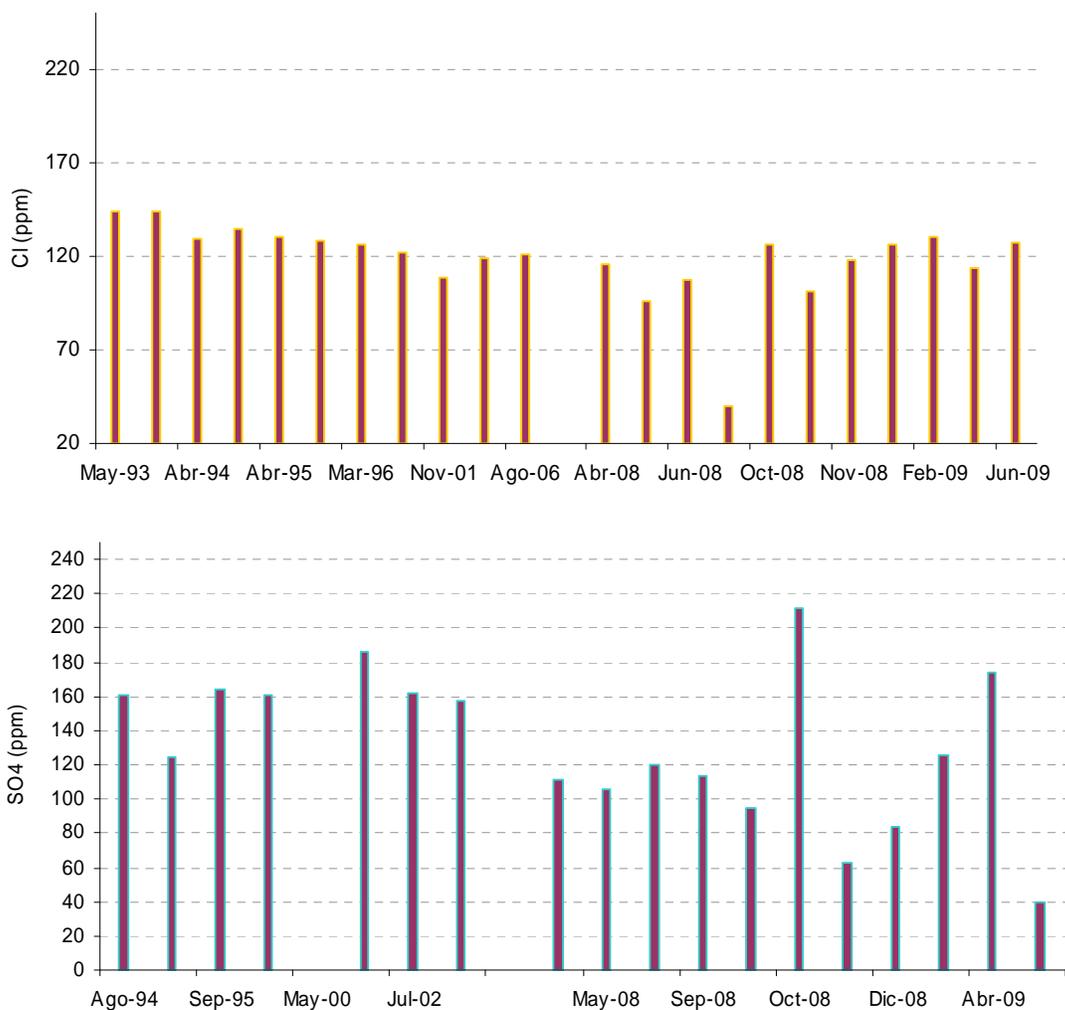
**Figura 1.42. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Piscina VCM. Primer Semestre de 2009**

En cuanto al contenido de aniones, no se presentaron cambios reveladores en el contenido de cloruros; su concentración permaneció en promedio en 113 ppm, mientras que la concentración de sulfatos se vio disminuida considerablemente ya que en las últimas mediciones tenía tendencia al aumento pasando de tener en diciembre de 2008 84,25 ppm a 125 ppm en febrero, y en el mes de marzo alcanzó las 173 ppm, pero en la medida del mes de junio decayó a 39 ppm, estos cambios son apreciables en la figura 1.42. La disminución en el pH y en el contenido de iones sulfato puede ser indicio de algún tipo de interacción entre el fluido y la roca presente en el sistema hidrotermal.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



**Figura 1.43 Variación de aniones mayoritarios en la FT Piscina VCM. Primer Semestre de 2009**

**- Estatuas**

En las mediciones realizadas in situ de los parámetros fisicoquímicos para esta FT no se encontraron variaciones significativas en temperatura, pH y conductividad, por lo tanto se estableció estabilidad en el primer semestre de 2009. La figura 1.44 muestra el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos para la FT Estatuas.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

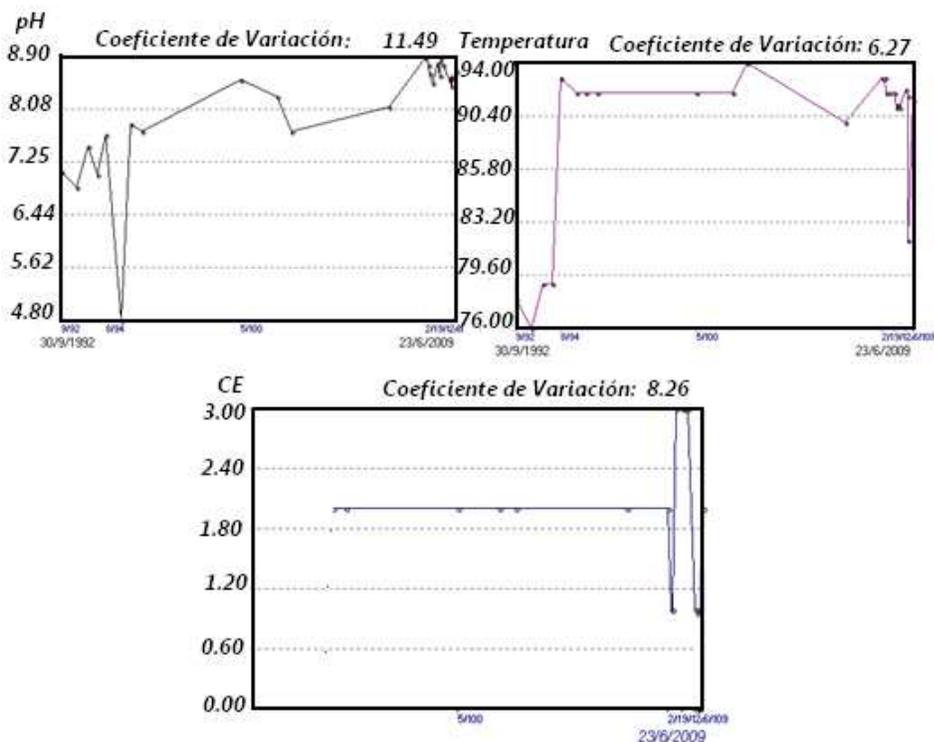


Figura 1.44. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Estatuas VCM. Primer Semestre de 2009.

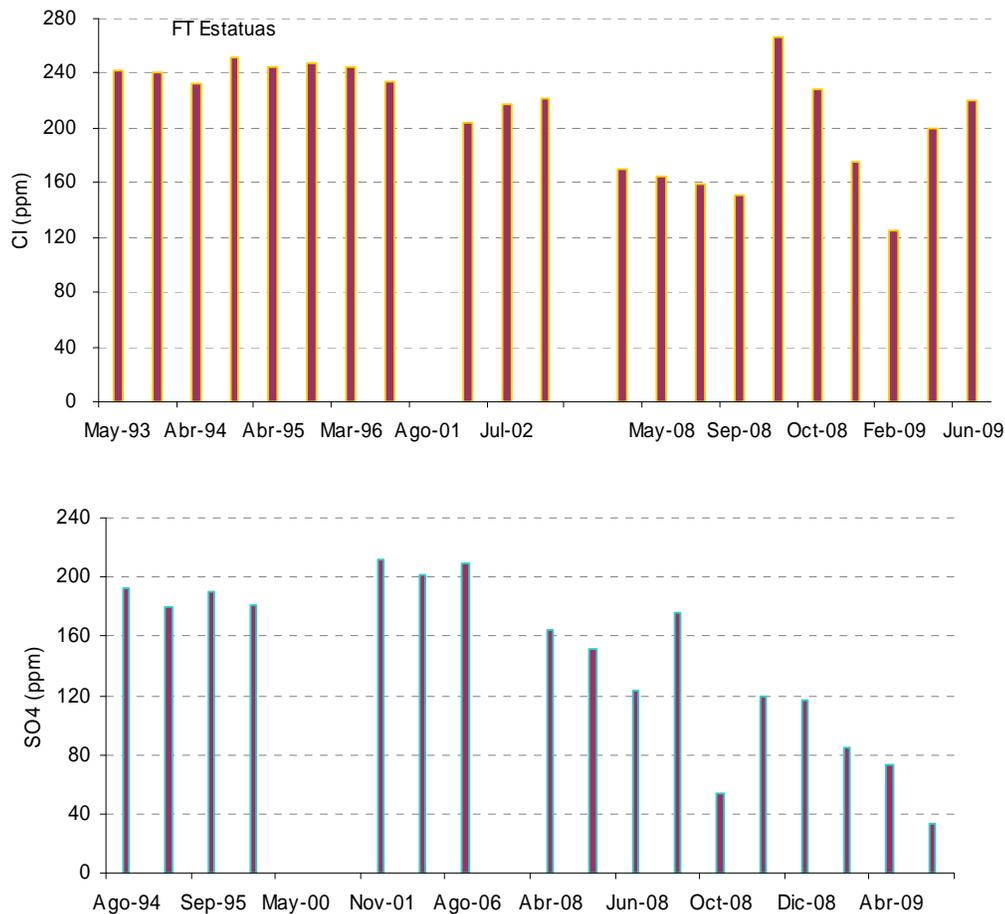
El contenido de aniones mayoritarios presentó variaciones importantes, la medida en la concentración de cloruros en el mes de febrero presentó un descenso de acuerdo a las medidas que venía mostrando en el segundo semestre del 2008, mostró una concentración de 125 ppm, ya para el mes de marzo y junio la concentración supero las 200 ppm, valor que es cercano a la línea base que se tiene para este anión.

Al igual que la FT Piscina el contenido de iones sulfato ha tenido una clara tendencia al descenso, desde las mediciones del mes de febrero hasta junio ha reducido notablemente pasó de tener 84 ppm a 33 ppm. La figura 1.45 muestra la tendencia descrita.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



**Figura 1.45. Variación de iones mayoritarios en la FT Estatuas VCM. Segundo Semestre de 2009**

### 1.5.3.3 GASES VOLCANICOS

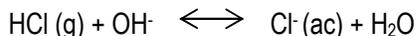
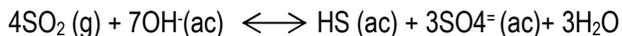
#### Fumarola La Macha

Para el primer semestre del 2009 se realizó muestreo directo en fumarola utilizando 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<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, S, H<sub>2</sub>O) que permanece en la solución, las especies sulfuradas coexisten y es indispensable su determinación en el estudio de gases volcánicos. Algunas de las reacciones que se involucran entre la fase condensable y la solución alcalina de recolección de la muestra son:

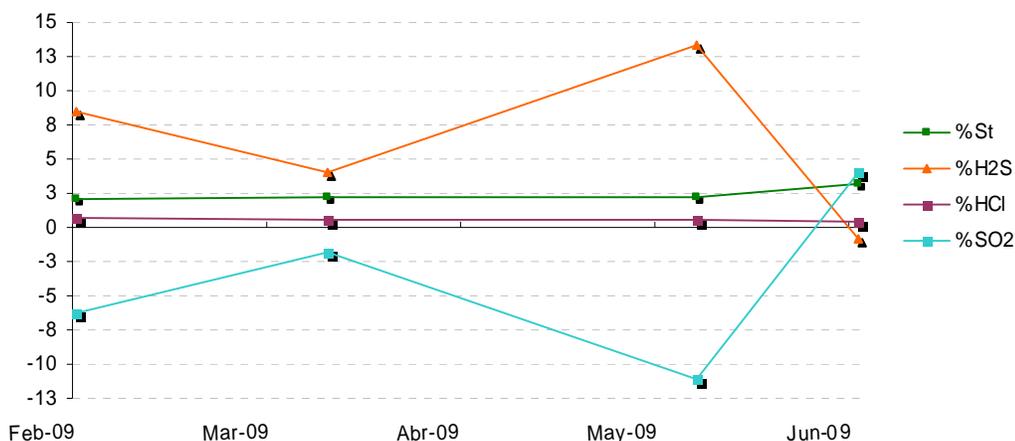


**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



De acuerdo a los análisis realizados de las muestras de gases de la fumarola la Macha, en la figura 1.46 se observa que el contenido de S se mantiene constante durante el primer semestre de 2009 y muestra un promedio 2,44%; el contenido de HCl también se mantiene constante, sigue mostrando valores bajos y su promedio estuvo en 0,53%.



**Figura 1.46. Variación en el contenido de gases en la Fumarola La Macha. VCM. Primer Semestre de 2009.**

Los contenidos de  $\text{SO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  presentan variaciones las cuales van ligadas una de otra, debido a que son especies que coexisten y su contenido se ve afectado por la solubilidad, la cual depende de la composición del fluido y de las condiciones redox, ya que bajo condiciones reductoras el S se presenta como  $\text{H}_2\text{S}$ , mientras que bajo condiciones oxidantes se presenta en forma de  $\text{SO}_4^{2-}$  el cual proviene del  $\text{SO}_2$ . Es importante mencionar que el  $\text{H}_2\text{S}$  se genera por reacciones entre los fluidos magmáticos y las rocas, en donde se producen reacciones de oxidación, favoreciendo la estabilidad de la especie ( $\text{H}_2\text{S}$ ) a bajas temperaturas; mientras que el  $\text{SO}_2$  se deriva de la exsolución del gas desde el magma. La cuantificación de estas especies sulfuradas dan como resultado un mayor aporte de  $\text{H}_2\text{S}$ , de allí se puede establecer que los fluidos volcánicos evaluados han evolucionado desde el sistema hidrotermal y no existe aporte magmático.

#### 1.5.3.4 MONITOREO DE TEMPERATURA EN EL CAMPO FUMARÓLICO

Las mediciones de temperatura en el campo fumarólico se han realizado tanto in situ como de manera telemétrica. Los 12 puntos establecidos para la medida de temperatura sobre el domo principal del VCM mostraron algunas variaciones durante las medidas realizadas en los meses de abril y junio, se registraron descensos significativos en los puntos 3 y 8, siendo el punto 8 el que mostró mayor variación pasó de  $49^\circ\text{C}$  en abril a  $39^\circ\text{C}$  en junio; en los demás puntos se observaron fluctuaciones en promedio entre  $1$  y  $2^\circ\text{C}$ . En la tabla 2 se presentan las temperaturas tomadas el primer semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

PUNTO MUESTREO	Diciembre /08	Abril/09	Junio/09
0	75.2	67.8	74.0
1	88.6	88.6	88.4
2	88.7	88.5	88.0
3	49.4	45.5	43.5
4	85.1	84.6	80.1
5	87.3	87.9	87.5
6	88.3	83.7	85.0
7	50.2	50.4	57.8
8	53.2	49.0	39.1
9	80.0	67.6	68.8
10	87.2	85.0	83.4
11	88.6	88.7	88.4
12	88.6	81.6	87.6

Tabla 2 Datos de temperatura en el campo fumarólico VCM. Primer Semestre de 2009

En el mes de junio se instaló una estación telemétrica para la medida de temperatura, la cual fue instalada en el punto 2, el cual mostró los mayores valores de temperatura durante las mediciones in situ, la figura 147 se aprecia el sitio y modo de instalación.

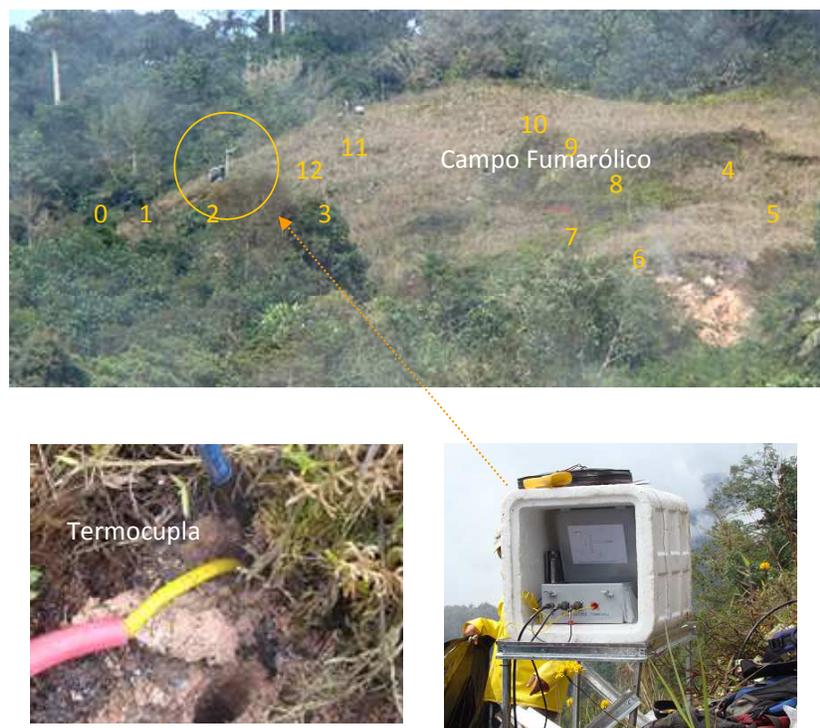


Figura 1.47. Fotografías del sitio de instalación de la estación telemétrica de temperatura. VCM. Primer Semestre de 2009



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

De acuerdo a los datos registrados en la estación telemétrica la temperatura ha mostrado pequeñas variaciones, manteniéndose en un promedio que fluctúa entre 88.2 y 88.7 °C.

#### 1.5.4 DEFORMACIÓN.

##### 1.5.4.1 RED DE DEFORMACION

La red de deformación del VCM (Junio de 2009) está constituida por 4 inclinómetros secos denominados: Aguas Calientes, Eucalipto, La Laguna y La Secreta; 4 vectores de nivelación denominados: El Rodeo, Domo, Eucalipto y La Secreta; 4 inclinómetros electrónicos denominados: Anillo, Laguna, Rodeo y Aguacaliente; 2 bases EDM denominadas: Lajas (no ocupada aún) y San Lorenzo; y 8 reflectores EDM denominados: Brisas, El Porvenir, Aguacaliente Alto y Aguacaliente Bajo, Rodeo, La Palma, Primavera y Cielo Roto (Fig. 1.48, Tab. 4). Las estaciones están construidas sobre los anillos piroclásticos, sobre los relictos volcánicos y sobre los domos de lava, cubriendo todos los flancos del volcán. En la tabla 4, se muestra las ocupaciones realizadas durante el primer semestre de 2009,

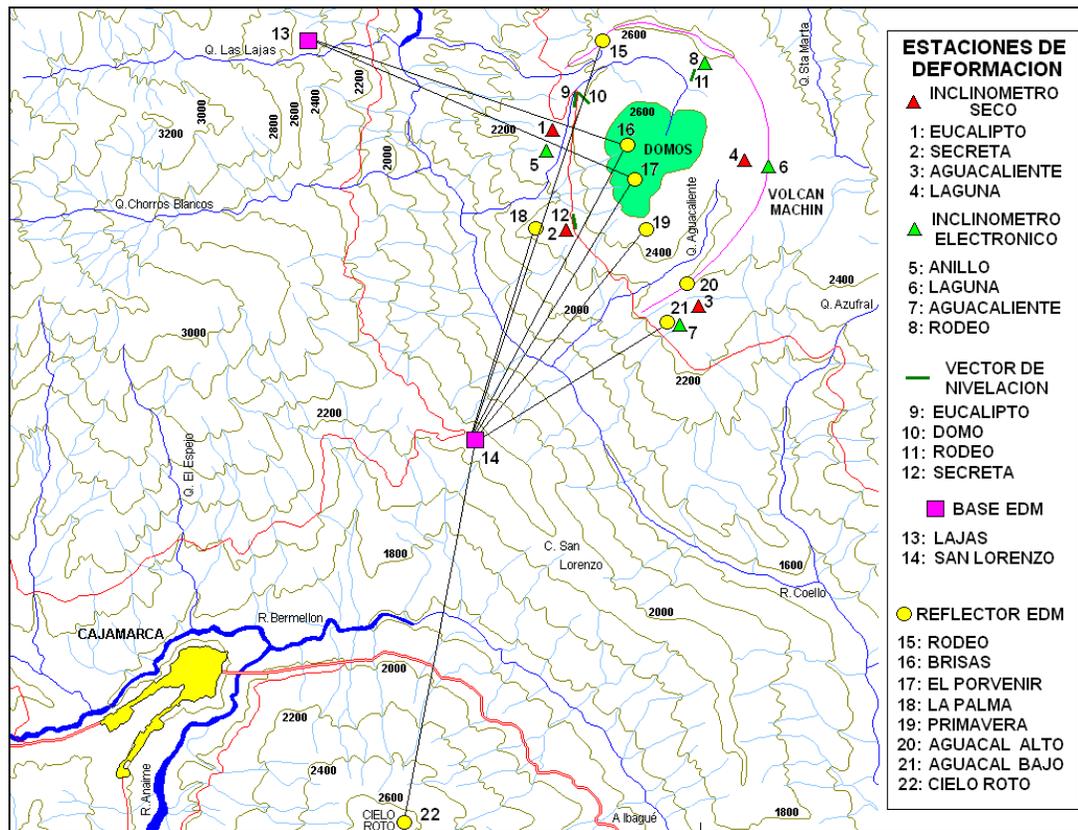


Figura 1.48. Red de deformación (Junio de 2009) del VCM mostrando la distribución de inclinómetros secos (triángulos rojos), vectores de nivelación (líneas verdes), bases EDM (cuadros magenta) y reflectores EDM (círculos amarillos).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

ESTACION	DISTANCIA AL CRATER (m)	FLANCO	CARACTERISTICAS
V. El Rodeo	783	NE	6 Vértices
V. Domo	834	NW	12 Vértices
V. Eucalipto	863	NW	6 Vértices
V. La Secreta	1059	SW	8 Vértices
IS. Eucalipto	926	W	3 Vértices
IS. La Laguna	948	E	3 Vértices
IS. La Secreta	1068	SW	3 Vértices
IS. Aguacaliente	1675	SE	3 Vértices
IE. Anillo	930	W	2 Ejes
IE. La Laguna	1050	E	2 Ejes
IE. Aguacaliente	1850	SE	2 Ejes
IE. El Rodeo	800	NE	2 Ejes
B. San Lorenzo	2750	SW	Mojón
B. Las Lajas	2600	NW	Mojón
R. Brisas	400	W	1 Reflector
R. El Porvenir	500	S	1 Reflector
R. La primavera	700	S	1 Reflector
R. La Palma	1100	SW	1 Reflector
R. Aguacaliente Bajo	1850	SE	1 Reflector
R. Aguacaliente Alto	1750	SE	1 Reflector
R. El Rodeo	785	NE	1 Reflector
R. Cielo Roto	6750	SW	1 Reflector

Tabla 3. Características de ubicación de las estaciones de la red de deformación del VCM.

ESTACION	OCUPACIONES	
	DESDE	HASTA
INC. ELEC. ANILLO	ENERO DE 2009	DICIEMBRE DE 2009
INC. ELEC. LA LAGUNA	ENERO DE 2009	DICIEMBRE DE 2009
INC. ELEC. AGUACALIENTE	ENERO DE 2009	DICIEMBRE DE 2009
INC. ELEC. EL RODEO	ENERO DE 2009	DICIEMBRE DE 2009
VECTOR EL RODEO	20 FEBRERO DE 2009	
INCLISECO LAGUNA	20 FEBRERO DE 2009	

Tabla 4 Ocupaciones realizadas en la red de deformación del VCM durante el primer semestre del 2009.

#### 1.5.4.2 COMPORTAMIENTO INCLISECOS

##### Incliseco La Laguna

La estación de inclinometría seca La Laguna se encuentra ubicada en el flanco E del volcán a una distancia de 948 m de la cima. Este inclinómetro fue materializado en 1987 en la planicie formada entre los anillos piroclásticos y los domos del VCM (Fig. 1.48).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

La componente Norte del Inclínómetro Seco la Laguna siempre ha manifestado una tendencia estable a pesar de su comportamiento fluctuante, mientras la componente Este ha manifestado una tendencia deflacionaria y grandes fluctuaciones con un registro de cambio acumulado de  $-5.99 \mu\text{rad}$  (Fig. 1.49).

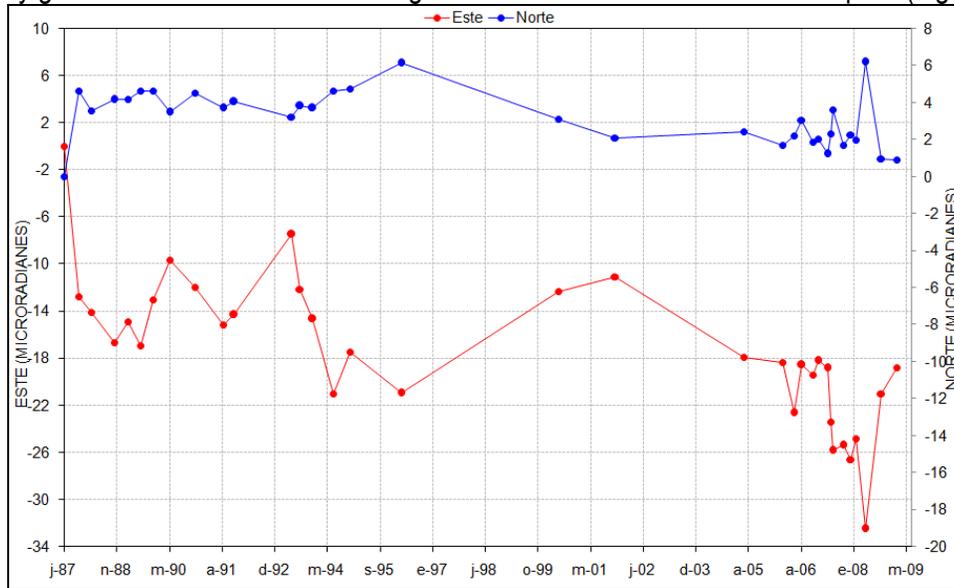


Figura 1.49. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el Incliseco La Laguna desde 1987 hasta primer semestre de 2009.

### 1.5.4.3 COMPORTAMIENTO VECTORES DE NIVELACION.

#### Vector El Rodeo

El vector de nivelación El Rodeo está ubicada en el flanco NE del VCM a una distancia de 783 m de la cima. La estación fue materializada en 1989 sobre los anillos piroclásticos del volcán, posee 6 vértices que conforman 5 tramos de nivelación y se orienta radialmente hacia los domos (Fig. 148).

El comportamiento observado desde 1989 hasta 1994 se caracterizó por presentar pequeñas fluctuaciones y un claro comportamiento inflacionario. Posteriormente, el vector cambio su comportamiento a una tendencia deflacionaria que se mantuvo hasta finales de 2006, cuando cambia nuevamente su comportamiento a inflacionario y registra hasta el primer semestre de 2009, un cambio acumulado de  $5,4 \mu\text{rad}$  (Fig. 1.50).



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

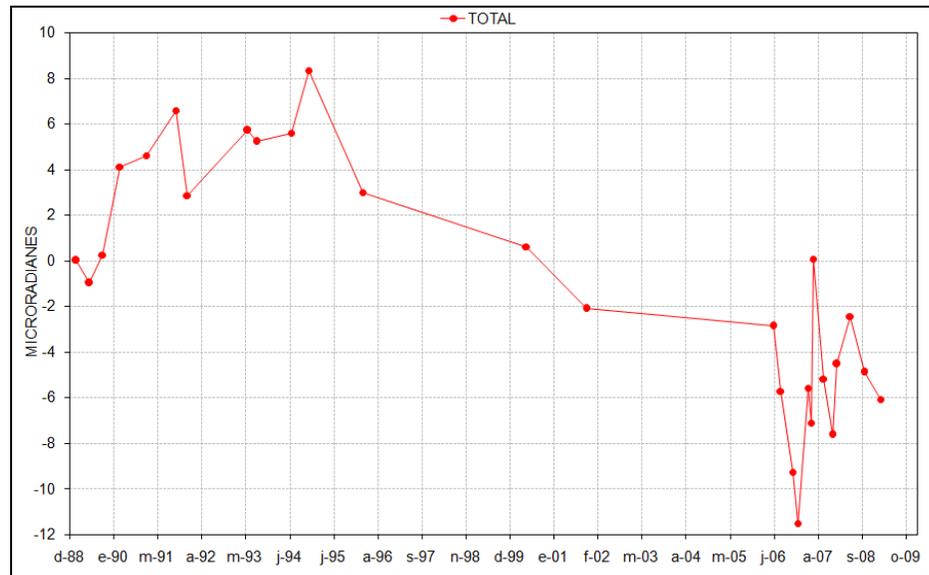


Figura 1.50 Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Rodeo desde 1988 hasta Junio de 2009.

#### 1.5.4.4 COMPORTAMIENTO INCLINOMETROS ELECTRONICOS

En el VCM se tienen instalados 4 inclinómetros electrónicos de plataforma nivelante de 2 ejes, provisto de un sensor de temperatura (Junio de 2009). 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  $\mu$ radianes ( $\mu$ rad). 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 inclinómetro electrónico Anillo está ubicado en el sector W del VCM a una distancia de 930 m de la cima. La estación fue instalada el 25 de Abril de 2008 sobre los anillos piroclásticos del volcán (Fig. 1.48). Esta estación fue instalada para verificar el proceso deflacionario del flanco SW del VCM.

Desde el 1 de Enero hasta el 19 de Febrero de 2009 las dos componentes del inclinómetro electrónico Anillo mostraron un comportamiento estable. Del 19 al 22 de febrero no se registraron datos debido a fallas en el inclinómetro, por lo cual se realizó mantenimiento al equipo y se reniveló el sensor de inclinometría. A partir del 22 de Febrero y hasta finalizar el primer semestre de 2009, las componentes Norte y Este han



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

venido manifestando un comportamiento inflacionario con un registro de cambio acumulado de -34,74 y -58,9  $\mu$ rad respectivamente (Fig. 1.51).

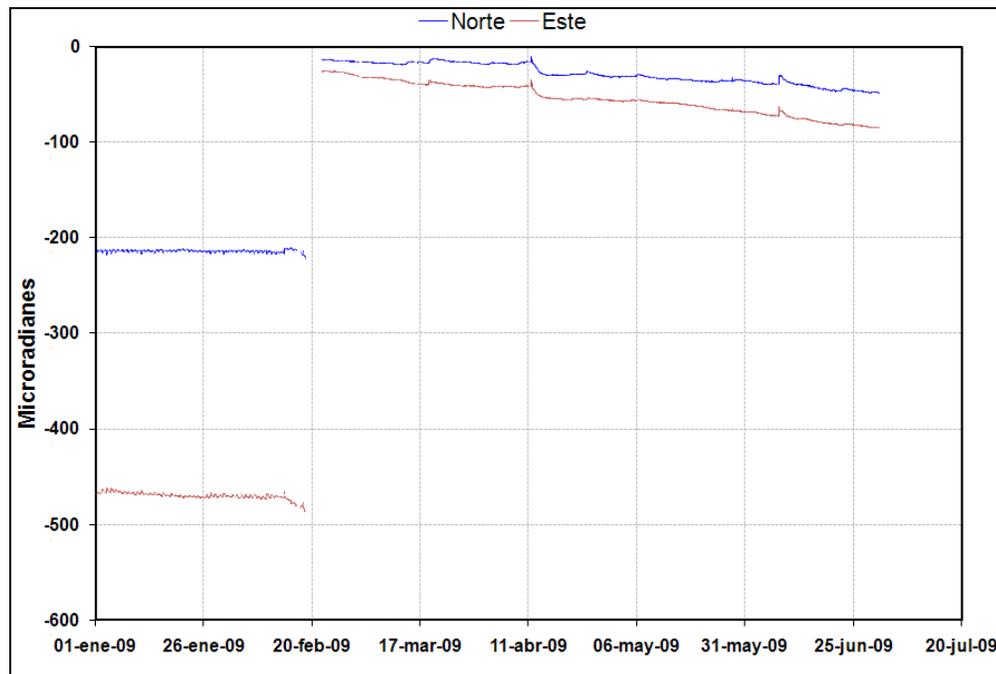


Figura 1.51. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Anillo en el primer semestre del 2009.

### **Inclinómetro Electrónico Aguacaliente**

El inclinómetro electrónico Aguacaliente está ubicado en el sector SSW del VCM a una distancia de 1675 m de la cima. La estación fue instalada el 10 de Junio de 2008 sobre el anillo piroclástico del VCM (Fig. 1.48).

El comportamiento de este inclinómetro ha estado caracterizado por el registro de grandes oscilaciones, motivo por el cual se han realizado varias jornadas de mantenimiento y chequeo del equipo, sin lograr reducir las fluctuaciones. En general se han registrado varios ciclos inflacionarios y deflacionarios (Fig. 1.52).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

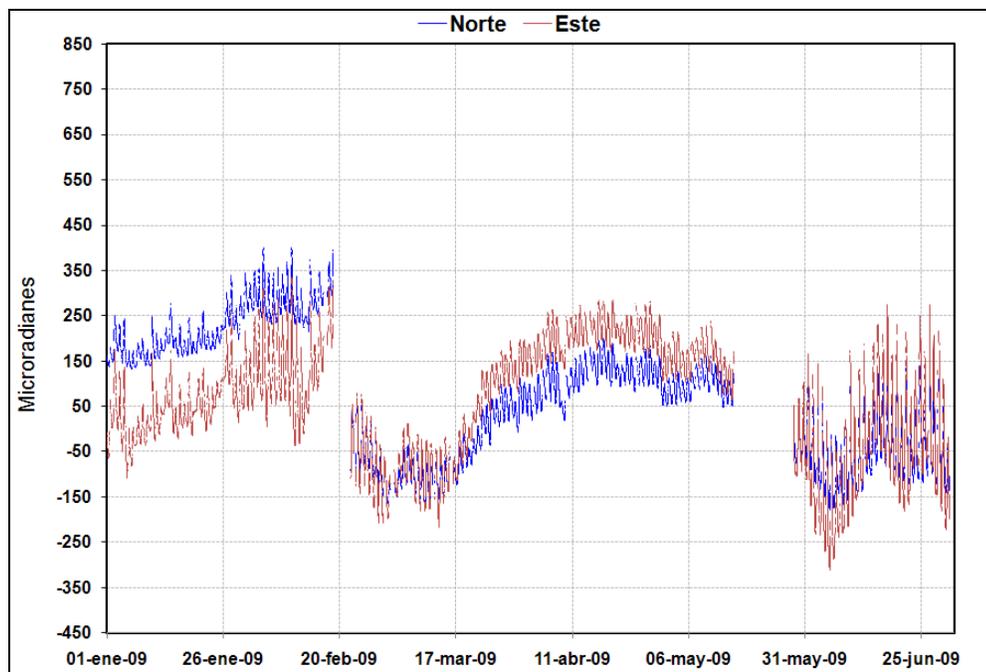


Figura 1.52. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Aguascalientes en el primer semestre del 2009

### **Inclinómetro Electrónico Laguna**

El inclinómetro electrónico Laguna está ubicado en el sector NNE del VCM a una distancia de 1050 m de la cima. La estación fue instalada el 10 de Junio de 2008 en la planicie formada entre los anillos piroclásticos y los domos del VCM (Fig. 1.48).

Desde el 26 de febrero hasta el 3 de Marzo no se registraron datos en el inclinómetro debido a fallas en el equipo de transmisión. En general se observa una tendencia deflacionaria con registro de cambios acumulados de 25,14 y de 37,8  $\mu$ rad para las componentes Norte y Este respectivamente (Fig. 1.53).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

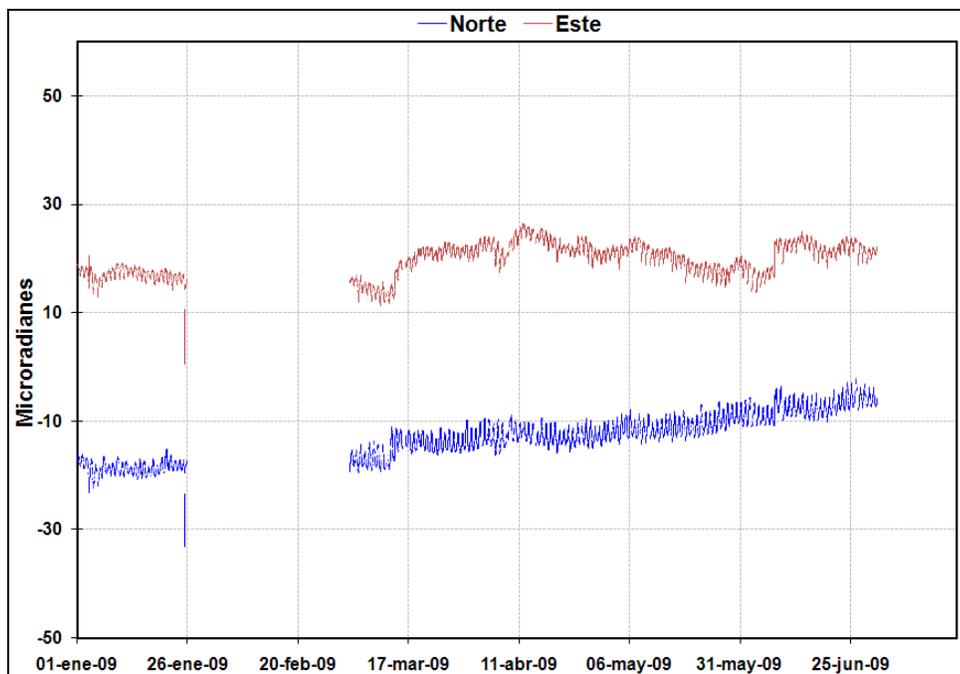


Figura 1.53. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Laguna en el primer semestre del 2009.

### **Inclinómetro Electrónico Rodeo**

El inclinómetro electrónico Rodeo fue instalado el 5 de Septiembre de 2008 en el sector E del VCM a una distancia de 835 m al NW de la cima (Fig. 1.48). Durante Enero de 2009 el inclinómetro presentó problemas de saturación en las dos componentes registrando los mismos valores, razón por lo cual el 26 de Enero se realizó renivelación del sensor de inclinometría y chequeo del equipo, encontrando que el radio transmisor no estaba funcionando adecuadamente. El 3 de Marzo se restableció la transmisión de los datos. El comportamiento mostrado desde entonces se caracterizó por mantener estabilidad en la componente Este, mientras que la componente Norte muestra pequeñas oscilaciones diarias y ciclos inflacionarios y deflacionarios (Fig. 1.54).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

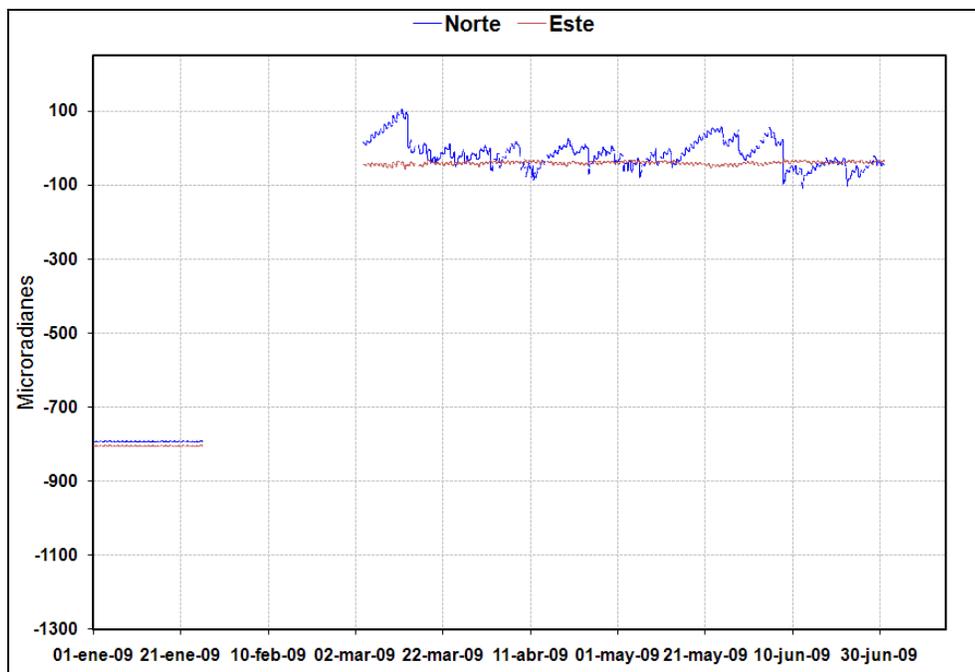


Figura 1.54. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Rodeo durante el primer semestre del 2009.

## 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. Se registraron un total de 20 eventos sísmicos, 17 de ellos asociadas a tránsito de gases y fluidos, siendo estos los que registraron la magnitud máxima durante todo el semestre, con un sismo ocurrido el día 21 de enero el cuál alcanzó una magnitud de 2.5 en la escala de Richter.

Las figuras 1.55 y 1.56 muestran la energía y el número de sismos diarios para el VCB.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

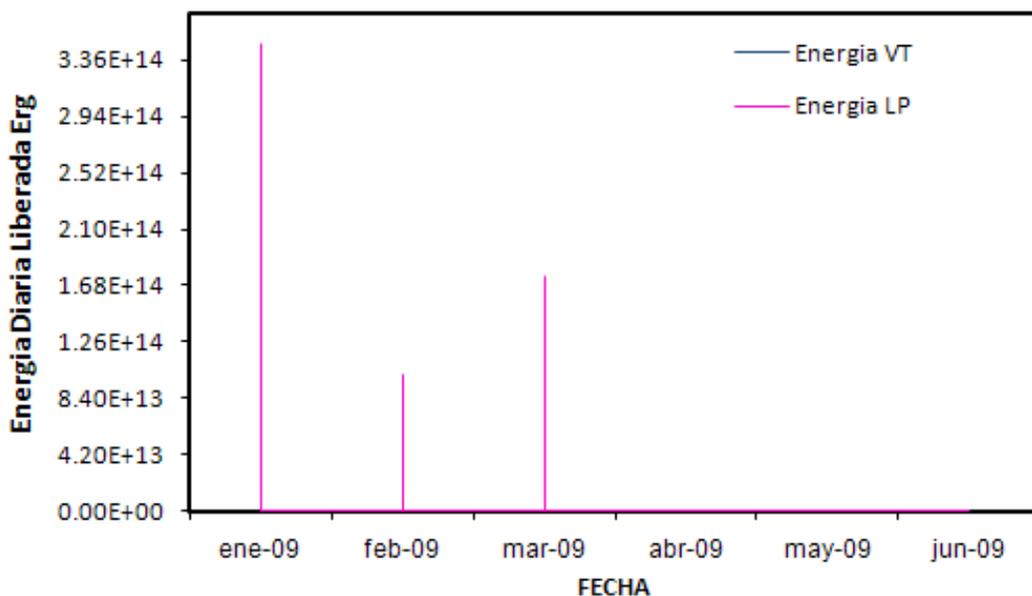


Figura 1.55. Energía liberada en el VCB. Primer semestre 2009.

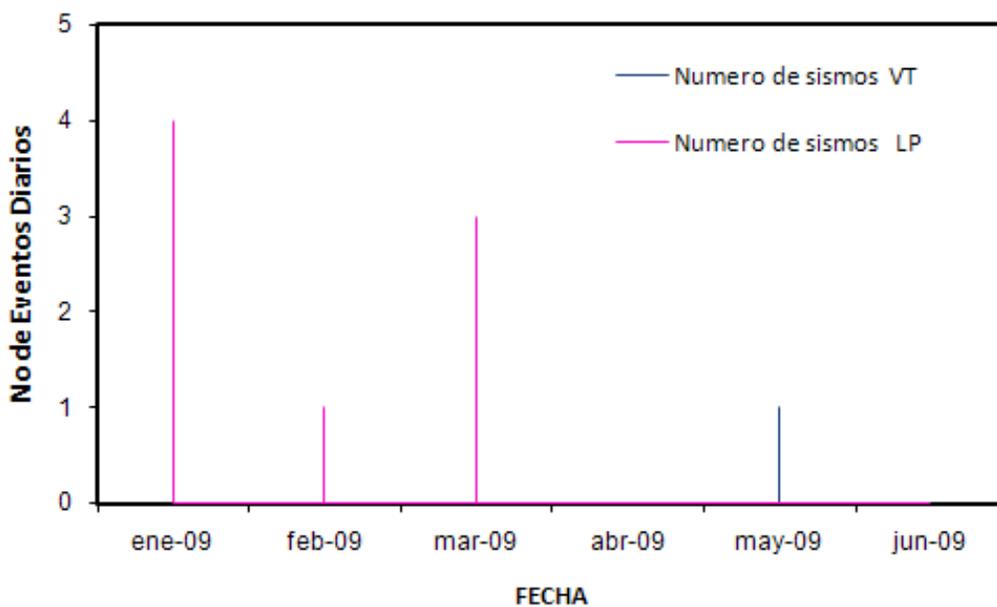


Figura 1.56. Número de sismos VCB. Primer semestre 2009.

### 1.6.2 GEOQUIMICA

La vigilancia geoquímica del VCB durante el primer semestre de 2009 consistió en las medidas de gases difusos: Gas Radón y CO<sub>2</sub> en suelo en dos estaciones, Cerro Bravo 1 y Cerro Bravo 2. Los valores obtenidos durante las



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

mediciones muestran que la concentración de radón en la estación Cerro Bravo 1 se mantuvo estable de acuerdo a la última medida. En la estación Cerro Bravo 2 se aprecia un incremento importante en la concentración de radón, en el mes de abril se registró un valor de 81,81 y en el mes de mayo se obtuvo un valor de 511,02 pCi/L. En cuanto a la concentración de CO<sub>2</sub> en la estación Cerro Bravo 2, desde septiembre de 2008 ésta ha llegado a sus más bajos niveles y se ha mantenido hasta las medidas del mes de mayo de 2009. Para Cerro Bravo 1 también se aprecia un descenso constante desde la misma fecha. La figura 1.57 muestra el comportamiento de los gases difusos en el VCB.

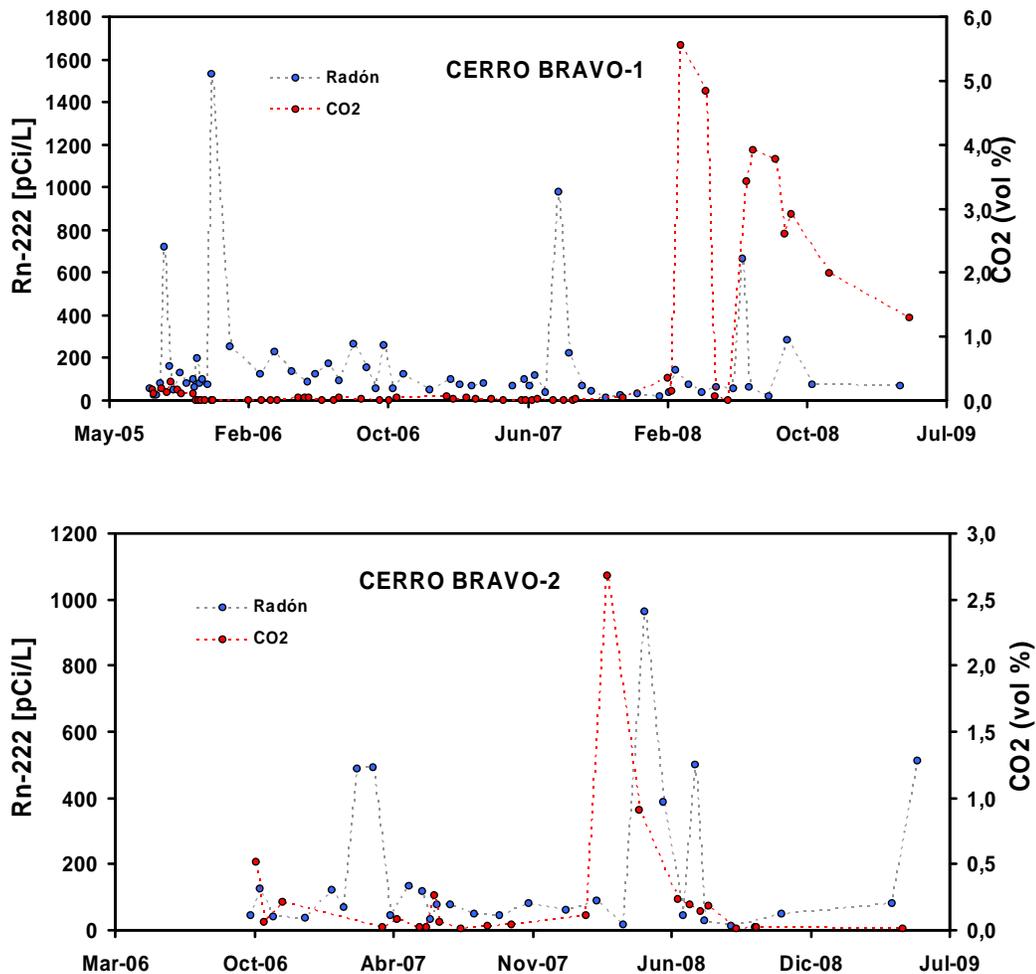


Figura 1.57 Variación de gases difusos en el VCB. Primer Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**1.7 VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VCB)**

**1.7.1 GEOQUIMICA**

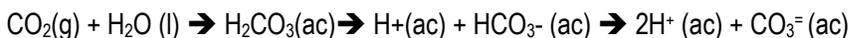
Para el primer semestre de 2009 se realizaron muestreos y análisis de los nacimientos termales de 3 sitios ubicados en el complejo volcánico del Paramillo: San Vicente (SV), Santa Elena (SE) y Santa Rosa (Caldero, la Cueva, Pozo AM y Helechos).

La evaluación de cada uno de los parámetros fisicoquímicos de los nacimientos se presenta en las figuras 1.58, 1.59 y 1.60. En la figura 1.57 se aprecia que la temperatura de los nacimientos de San Vicente presenta los mayores valores alcanzando en algunos sitios los 88°C, pero las temperaturas fluctúan entre los 56 y 87°C. En general en los nacimientos de SV no se observan variaciones importantes en las temperaturas durante las mediciones realizadas en los meses de febrero y marzo, se observa un pequeño incremento en SVP4 la cual pasó de 56 a 61°C. De acuerdo a las medidas de temperatura del 2008 se aprecia un descenso brusco en la temperatura del punto SV P10 en donde pasó en el mes de diciembre de 2008 de 77°C a febrero de 2009 a 64,5°C, este cambio puede atribuirse a posibles infiltraciones de agua fría de una quebrada aledaña al nacimiento.

En los nacimientos de Santa Elena (SE) se observa que las medidas de temperatura bajaron en promedio un grado en los puntos P7, P1 y P4, y en mayor magnitud en la estación P3 en donde pasó de 56 a 52°C, el P6 se mantuvo constante.

Los nacimientos de Santa Rosa, La Cueva y el Caldero mantuvieron su temperatura constante, mientras que el Pozo AM y los Helechos presentaron pequeños descensos de aproximadamente dos grados en su temperatura. Los helechos ha mostrado comportamiento fluctuante durante las mediciones, lo cual puede atribuirse a que se encuentra en cercanías a una cascada, y en ocasiones puede presentarse mezcla con agua fría.

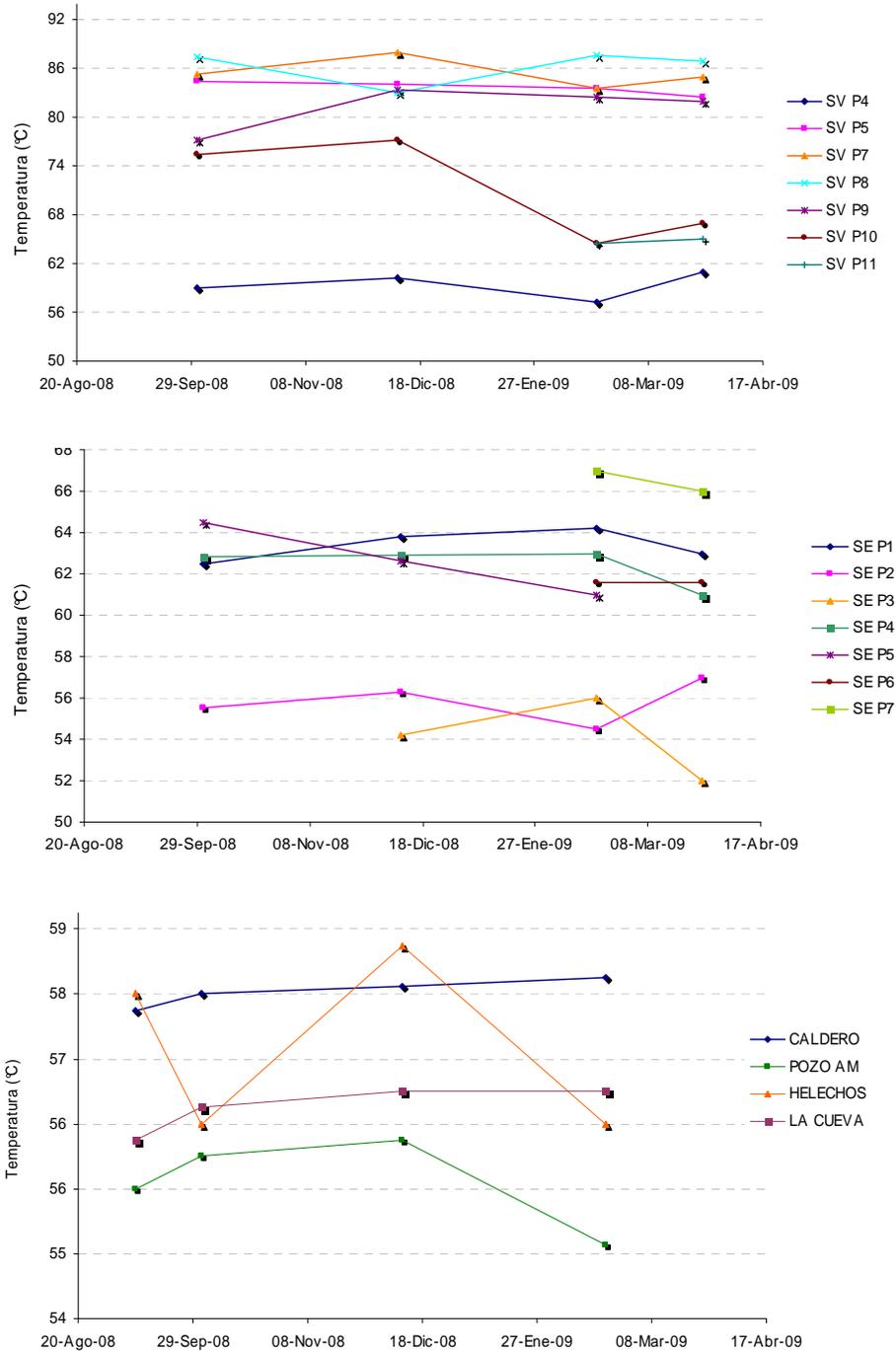
En la figura 1.58 se aprecia el comportamiento del pH, el cual presentó cambios en la mayoría de los puntos muestreados, los nacimientos de SV fueron los que mayores variaciones presentaron: SVP8 pasó de 7,2 a 8,2; SVP9 de 6,59 a 8,46; SVP10 de 7,2 a 8,2 y SVP11 de 6,48 a 8,1, contrariamente SVP5 disminuyó su pH considerablemente de 8,1 a 6,8, estos cambios pueden atribuirse a un posible aumento en el contenido de protones que da a su vez formación de iones carbonatos dado por la posible siguiente reacción:





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



**Figura 1.58. Variación de la temperatura en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009**



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

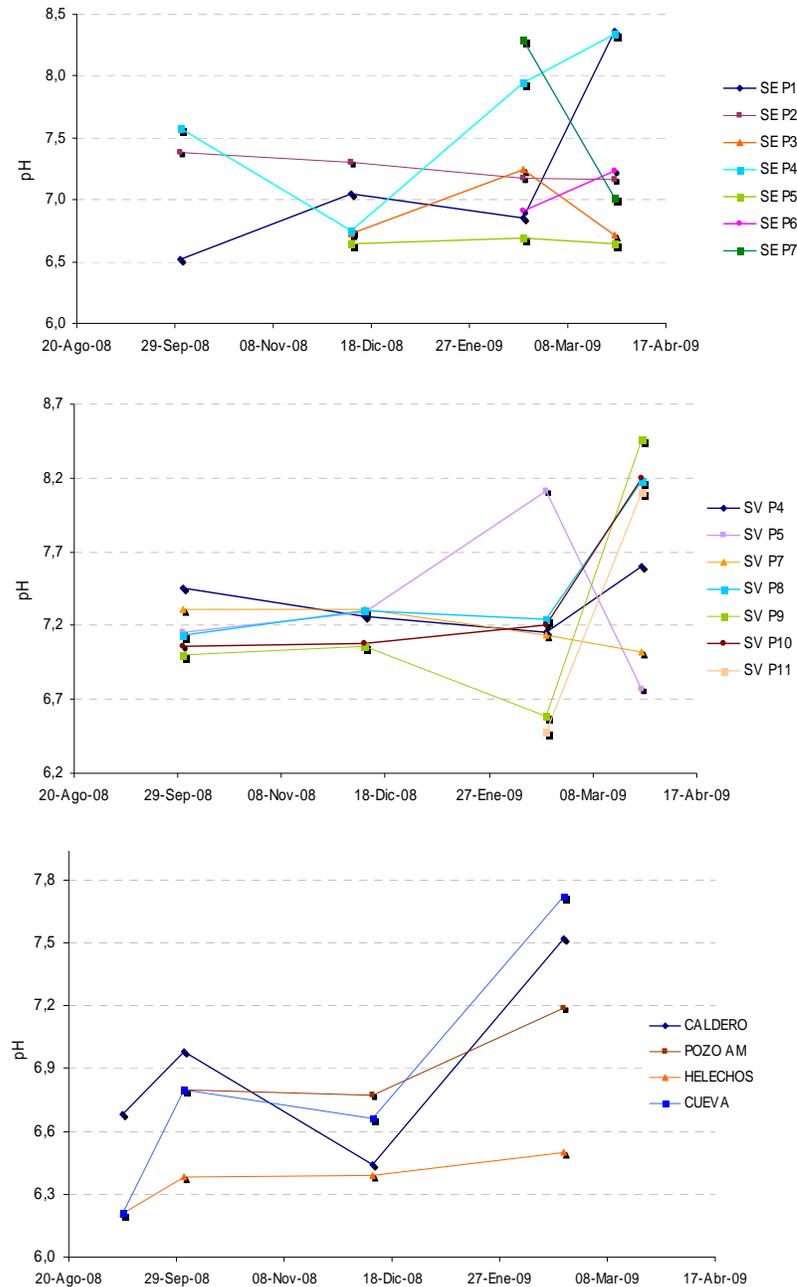


Figura 1.59. Variación el pH en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009.

El pH de los nacimientos de Santa Elena también presentó variaciones, especialmente en SEP1 donde pasó de 6,9 a 8,4, para los demás puntos de muestreo se aprecian pequeños cambios. En los nacimientos termales de Santa Rosa no se aprecian cambios representativos de acuerdo a las últimas medidas de diciembre del 2008.



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

Respecto a la conductividad eléctrica, en la figura 1.59 se registran los datos obtenidos en campo durante los muestreos realizados, allí se nota que de acuerdo a las últimas mediciones de diciembre de 2009 los valores de conductividad disminuyeron considerablemente para todos los nacimientos, es posible que haya ocurrido mayor disolución de iones durante la temporada lluviosa de enero y febrero y se haya reflejado en las mediciones; para las medidas tomadas en marzo se aprecia que se mantienen los valores de conductividad casi constantes para todos los puntos, se observan variaciones mínimas en las medidas registradas.

En la figura 1.60 se indica la variación en el contenido de cloruros en el agua. En general los nacimientos mantuvieron sus niveles de acuerdo a las mediciones realizadas en el 2008, en marzo se presentó incrementos en SVP9 pasó de 982 a 1755 ppm y en SEP7 pasó de 500 a 1145 ppm, lo cual puede ser atribuido a mezcla con agua de las precipitaciones o a infiltraciones por agua meteórica.

En cuanto al contenido de iones sulfato, en la figura 1.61 se aprecia que en el mes de febrero la concentración en los nacimientos termales de San Vicente aumentó respecto a las medidas del segundo semestre de 2008 y en el mes de marzo decrecieron, en los sitios de muestreo de Santa Elena se aprecia que el P3 ha venido incrementando su concentración de  $SO_4$  al igual que el P7.

Para los nacimientos de Santa Rosa se muestran fluctuaciones en todos los puntos, pero se aprecia un descenso brusco en la concentración de sulfatos de los Helechos, en donde pasó de tener en octubre 9 ppm al mes de marzo 0,02 ppm, es decir su contenido es nulo lo cual puede ocurrir cuando los iones sulfatos en una reacción de equilibrio se convierten en  $H_2S$ .

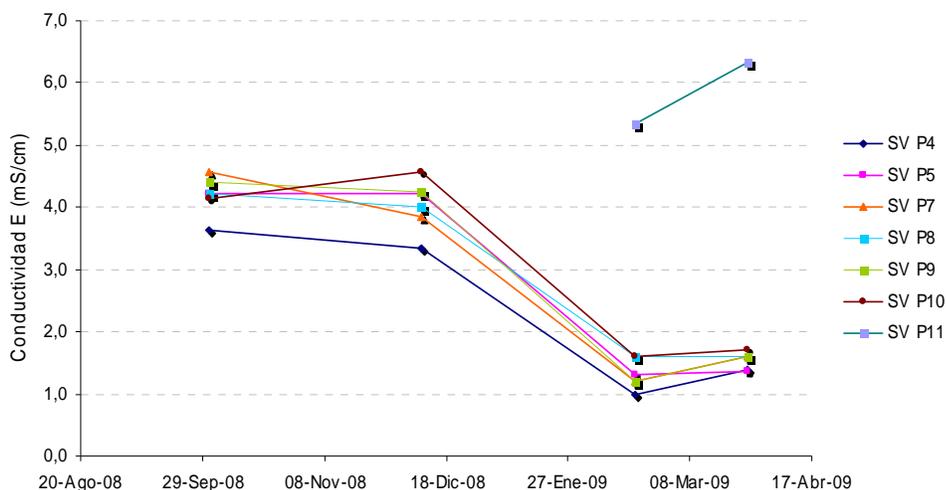
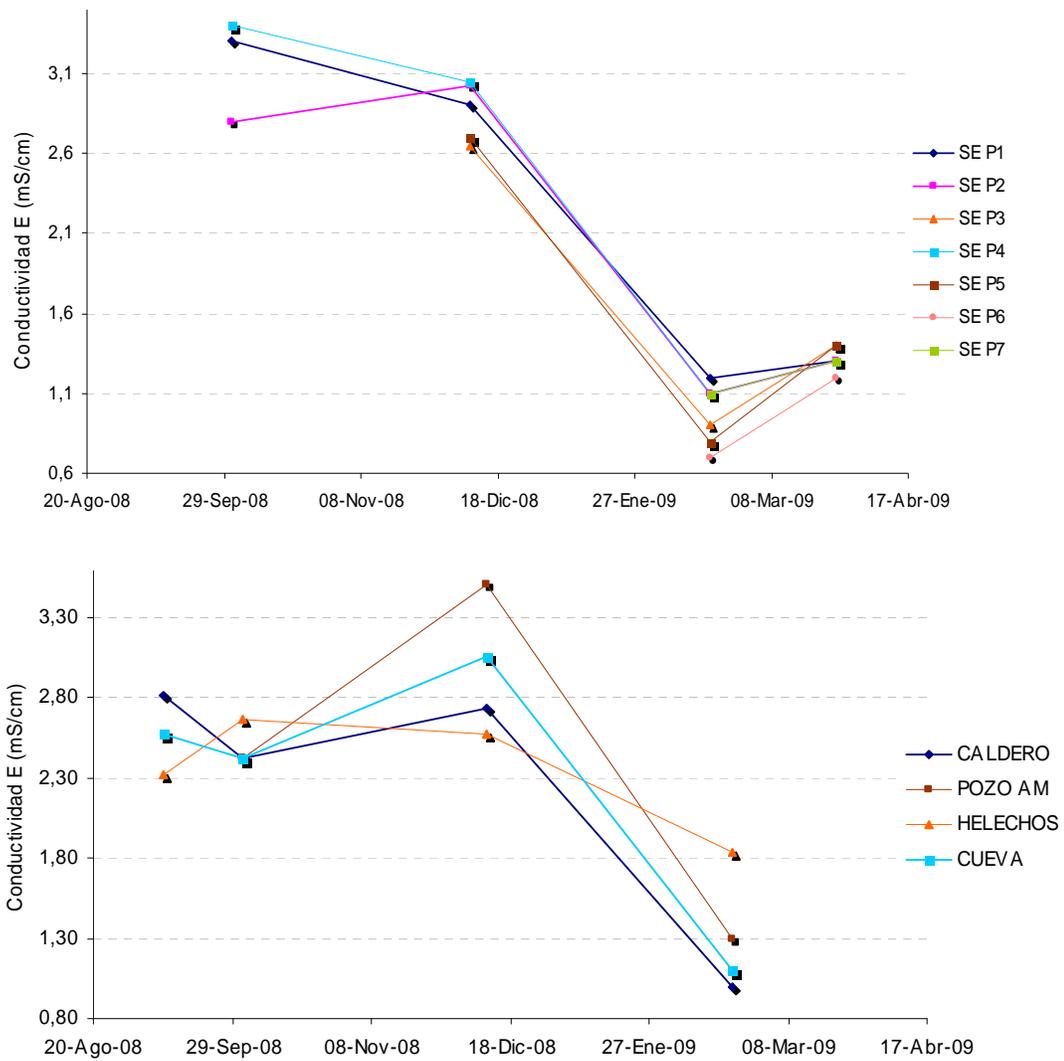


Figura 1.60 Variación de la conductividad eléctrica en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

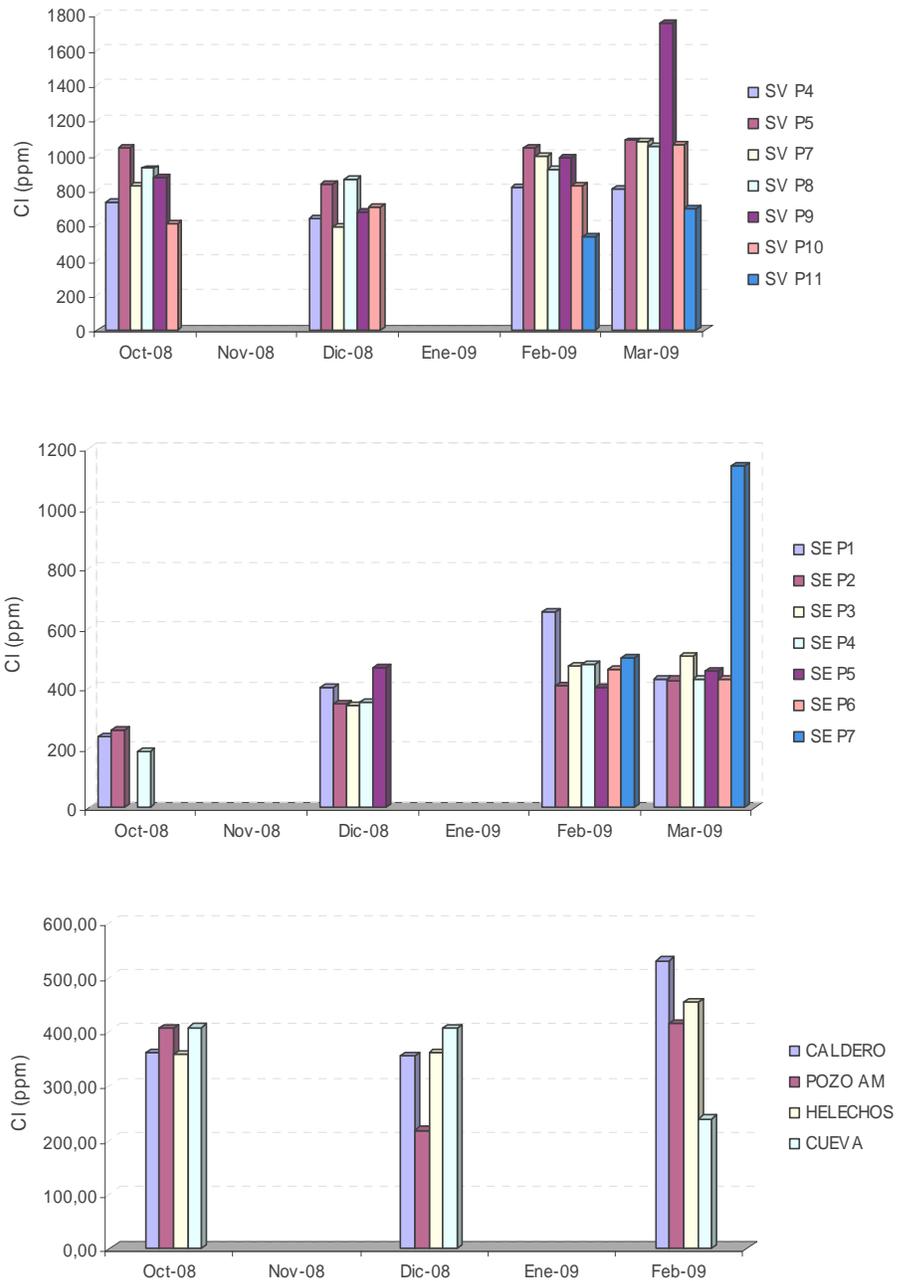


**Figura 1.60 (Continuación) Variación de la conductividad eléctrica en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009.**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



**Figura 1.61 Variación del contenido de cloruros en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009**



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

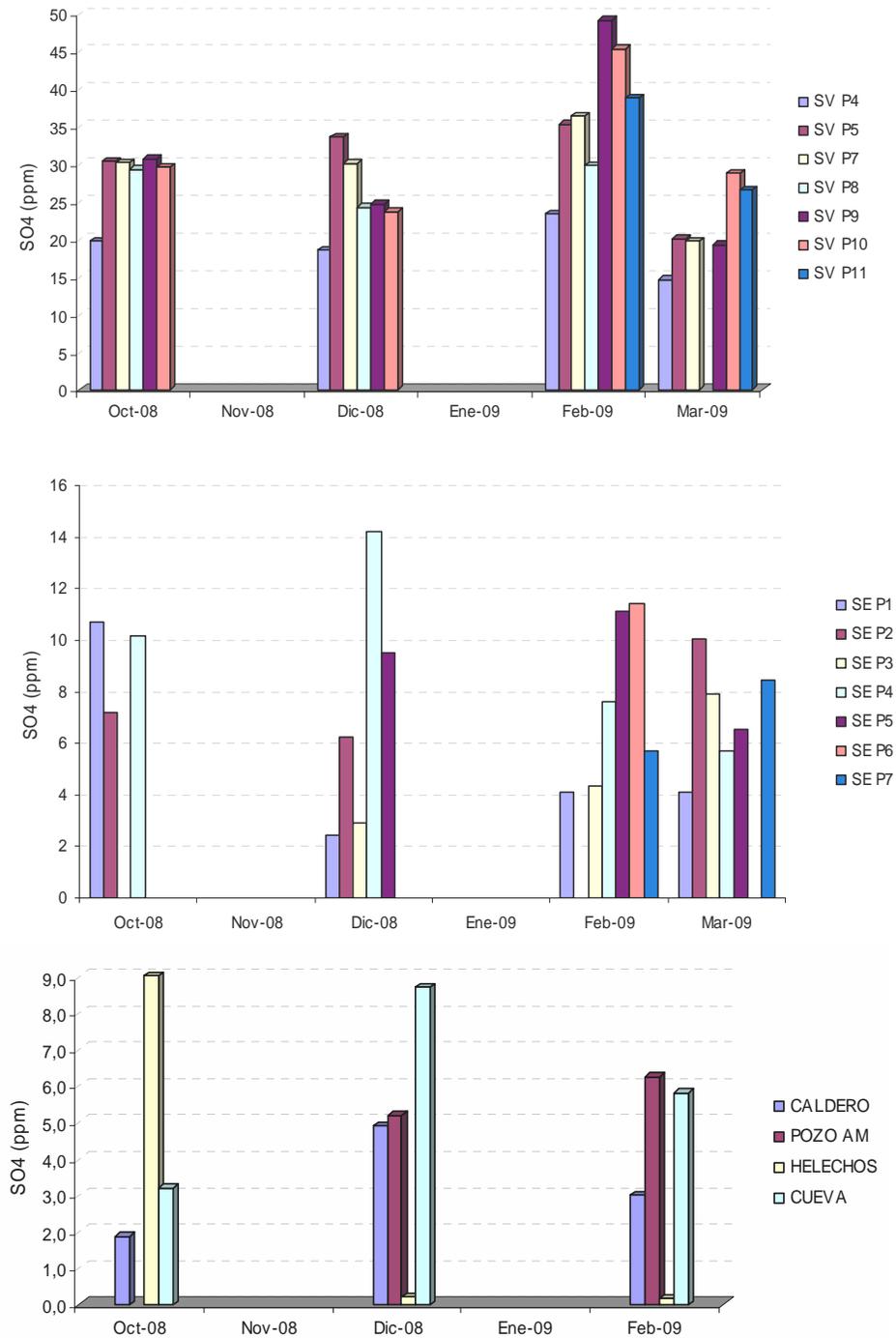


Figura 1.62. Variación del contenido de sulfatos en nacimientos termales del Paramillo de Santa Rosa. Primer Semestre de 2009.



# INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

## SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

### 1.8 ACTIVIDAD SÍSMICA REGIONAL

#### 1.8.1 SISMOLOGIA

Adicional a las labores de vigilancia volcánica, el OVSM realiza labores de vigilancia sísmica regional en la parte central de Colombia. Durante el primer semestre de 2009 se registraron 981 sismos de carácter local de los que se pudieron localizar 221, 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 1.63 presenta un mapa con la localización hipocentral de los sismos localizados.

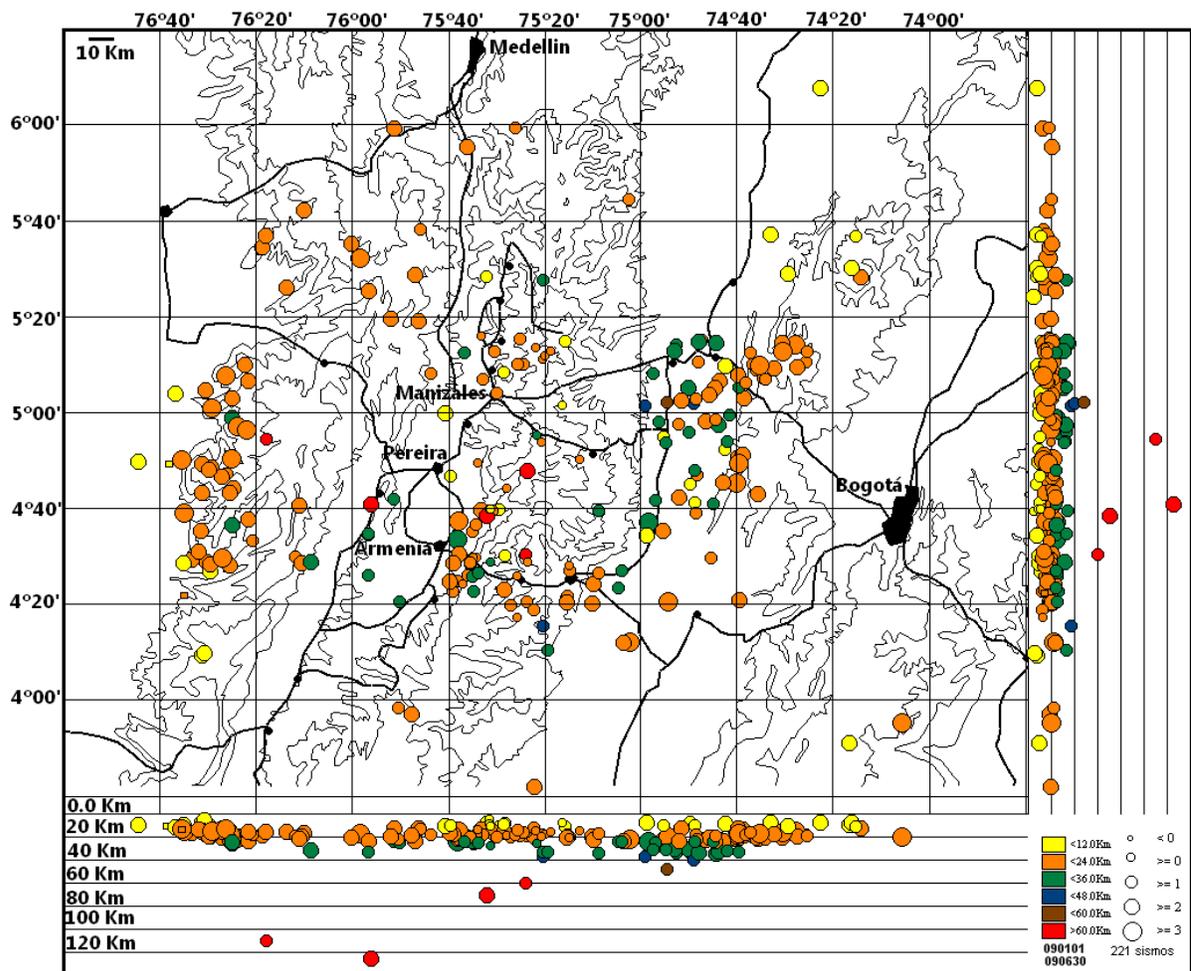


Figura 1.63. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el I semestre de 2009



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**1.9 CONCLUSIONES**

- ✓ La actividad sísmica de los volcanes del CVCMCB durante el primer semestre de 2009, se mantuvo en términos generales en niveles estables. Sin embargo, cabe resaltar el incremento en la ocurrencia de señales asociadas a tránsito de gases y fluidos presentado en el Volcán Nevado del Ruíz.
- ✓ El comportamiento de la actividad sísmica del Volcán Cerro Machín continuó presentándose predominantemente en esporádicos incrementos de actividad Volcano – Tectónica.
- ✓ La sismicidad regional de la parte central de Colombia, permaneció estable, generando sismos en algunas de las fuentes sismogénicas activas de la zona.
- ✓ El monitoreo geoquímico que se realizó durante el primer semestre de 2009 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 aguas meteóricas de circulación profunda, alteraciones fluido-roca que pueden afectar la composición química de aniones y cationes, así como a factores temporales asociados a las precipitaciones o también por la formación de complejos metálicos a altas temperaturas en lo profundo del edificio volcánico, y en general a la termodinámica misma del sistema cuando presenta desequilibrios.
- ✓ 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.
- ✓ Las estaciones de control topográfico del Volcán Nevado del Ruíz, al igual que los inclinómetros electrónicos “Azufrado” y “Recio” muestran en general un comportamiento estable. El inclinómetro electrónico “Bis” mostró un proceso inflacionario hacia el occidente con un cambio acumulado de -650 microradianes, mientras que el inclinómetro electrónico “Lisa” mostró un claro proceso deflacionario hacia el sur-occidente con un cambio acumulado de 500 microradianes.
- ✓ El principal proceso deformativo del Volcán Cerro Machín esta registrado por el inclinómetro electrónico “Anillo” que continúa mostrando un claro proceso deflacionario del flanco sur occidental del volcán.