



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**

**COMPILACION Y EDICION:  
MILTON ORDOÑEZ**

**II SEMESTRE DE 2008**



**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).....	4
1.3.1 SISMOLOGÍA .....	4
1.3.2 GEOQUÍMICA.....	8
1.3.2.1 Emisiones de Gas Radón.....	8
1.3.3.3 Fuentes Termales.....	9
1.3.3.4 Gases Volcánicos .....	16
1.3.4 DEFORMACIÓN .....	16
1.3.4.1 Comportamiento Inclínómetros Electrónicos.....	17
1.3.4.2 Comportamiento Líneas EDM.....	21
1.4 VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT) .....	22
1.4.1 SISMOLOGÍA .....	22
1.5 VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM).....	24
1.5.1 SISMOLOGÍA .....	24
1.5.2 GEOQUÍMICA.....	29
1.5.2.1 Emisiones de Gas Radón.....	29
1.5.2.2 Fuentes Termales.....	30
1.5.2.3 Gases Volcánicos .....	35
1.5.2.4 Monitoreo de Temperatura en el Campo Fumarólico.....	35
1.5.3 DEFORMACIÓN .....	36
1.5.3.1 Red de Deformación .....	36
1.5.3.2 Comportamiento Inclínómetros Secos.....	39
1.5.3.3 Comportamiento Vectores de Nivelación.....	41
1.5.3.4 Comportamiento Inclínómetros Electrónicos.....	43
1.5.3.5 Comportamiento Líneas EDM.....	45
1.6 VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB).....	46
1.6.1 SISMOLOGÍA .....	46
1.6.2 GEOQUÍMICA.....	48
1.7 VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VCB).....	49
1.7.1 GEOQUIMICA.....	49
1.7.1.1 Fuentes Termales Balneario San Vicente.....	50
1.7.1.2 Fuentes Termales Balneario de Santa Rosa.....	53
1.7.1.3 Fuentes Termales Balneario Santa Elena.....	54
1.8 ACTIVIDAD SÍSMICA REGIONAL .....	56
1.8.1 SISMOLOGIA .....	56
1.8.2 GEOQUIMICA.....	57
1.9 CONCLUSIONES.....	58

## INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1. Funcionamiento de estaciones de vigilancia, CVCMCB II semestre 2008.....	2
Figura 1.2. Redes de vigilancia sísmológica y geoquímica, CVCMCB II semestre de 2008. ....	3
Figura 1.3. Energía sísmica liberada diariamente, VNR II semestre 2008. ....	4
Figura 1.4. Número de sismos ocurridos diariamente, VNR II semestre de 2008. ....	4
Figura 1.5. Magnitud local de sismos VT, VNR II semestre 2008.....	5
Figura 1.6. Magnitud local de sismos LP, VNR II semestre 2008. ....	5
Figura 1.7. Período predominante de sismos LP, VNR II semestre 2008. ....	6
Figura 1.8. Localización hipocentral de sismos VT, VNR II semestre 2008. ....	7
Figura 1.9. Localización epicentral de sismos LP, VNR II semestre 2008. ....	8
Figura 1.10. Emisiones de gas radón y CO <sub>2</sub> en suelo, VNR II semestre de 2008. ....	9
Figura 1.11. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Hotel Termales, VNR II semestre del 2008.....	10
Figura 1.12. Variación de iones mayoritarios en la FT Hotel Termales, VNR II semestre de 2008.....	11
Figura 1.13. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Gualí, VNR II semestre de 2008.....	12
Figura 1.14. Variación de iones mayoritarios en la FT Gualí, VNR II semestre de 2008.....	13
Figura 1.15. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Botero Londoño, VNR II semestre de 2008. ....	14
Figura 1.16. Variación de iones mayoritarios en la FT Botero Londoño, VNR II semestre de 2008. ....	15
Figura 1.17. Variación del contenido de S, HCl y CO <sub>2</sub> en fluidos volcánicos, VNR II semestre de 2008. ....	16
Figura 1.18. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Bis, VNR II semestre de 2008. ....	18
Figura 1.19. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Lisa, VNR II semestre de 2008. ....	19
Figura 1.20. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Recio, VNR II semestre de 2008.....	19
Figura 1.21. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Azufrado, VNR II semestre de 2008. ....	20
Figura 1.22. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Refugio, VNR II semestre de 2008.....	21
Figura 1.23. Comportamiento de los reflectores visados desde la base EDM Refugio, VNR II semestre de 2008.....	22
Figura 1.24. Energía sísmica liberada diaria, VNT II semestre 2008. ....	23
Figura 1.25. Número de sismos diarios, VNT II semestre 2008.....	23
Figura 1.26. Número de avalanchas diarias, VNT II semestre 2008.....	24
Figura 1.27. a) Incremento en la sismicidad el día 8 en la cual se destaca la ocurrencia del sismo de las 13:01 (hora local) que tuvo una magnitud de 3.6 en la escala de Richter. b) Actividad sísmica registrada entre las 14:51 del día 8 y las 03:15 del día 9, destacándose el sismo ocurrido a las 03:00 am (hora local) el cual alcanzo la máxima magnitud registrada .....	25
Figura 1.28 Registro analógico de la estación CIMA del enjambre sísmico presentado entre las 03:18 y las 09:26 (hora local) del día 9, periodo de tiempo en el que se registraron 985 sismos Volcano – Tectónicos, 6 de ellos con magnitudes entre 2.6 y 3.4 en la escala de Richter. ....	26
Figura 1.29. Energía sísmica liberada diaria, VCM II semestre 2008. ....	27
Figura 1.30. Número de sismos diarios, VCM II semestre 2008.....	27
Figura 1.31. Distribución de magnitudes, VCM II semestre 2008. ....	28
Figura 1.32. Localización hipocentral de sismos VT, VCM II semestre 2008. ....	29
Figura 1.33. Emisiones de gas radón y CO <sub>2</sub> , VCM II semestre de 2008. ....	30
Figura 1.34. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Piscina, VCM II Semestre de 2008.....	31
Figura 1.35. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Estatuas, VCM II semestre de 2008.....	32
Figura 1.36. Variación de iones mayoritarios en la FT Piscina, VCM II semestre de 2008. ....	33
Figura 1.37. Variación de iones mayoritarios en la FT Estatuas, VCM II Semestre de 2008.....	34



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

Figura 1.38. Fotografía de la mancha blanca emanada en cercanías de la FT La Piscina, VCM II semestre de 2008.	35
Figura 1.39. Mapa de isotermas en el campo fumarólico principal del VCM. Los círculos rellenos representan los sitios donde se realizaron las mediciones. Los contornos representan valores de iso temperatura. La flecha representa el norte.	36
Figura 1.40. Red de deformación (Septiembre de 2008) mostrando la distribución de inclinómetros secos (triángulos rojos), vectores de nivelación (líneas verdes), bases EDM (cuadros magenta) y reflectores EDM (círculos amarillos), VCM II semestre de 2008.	37
Figura 1.41. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro Aguacaliente, VCM. A: 1987 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.	39
Figura 1.42. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro Eucalipto, VCM. A: 1987 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.	39
Figura 1.43. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro seco La Secreta, VCM. A: 1987 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.	40
Figura 1.44. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro seco La Laguna, VCM. A: 1987 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.	41
Figura 1.45. Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Rodeo, VCM. A: 1989 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.	41
Figura 1.46. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Domo desde Enero de 2007 hasta Septiembre de 2008, VCM.	42
Figura 1.47. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Eucalipto, VCM. A: 1989 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.	42
Figura 1.48. Comportamiento acumulado del vector de nivelación La Secreta desde Febrero de 2005 hasta Junio de 2008, VCM.	43
Figura 1.49. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Anillo y el No de sismos registrados en el VCM, II semestre de 2008.	44
Figura 1.50. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Aguacaliente y el No de sismos registrados en el VCM, II semestre de 2008.	44
Figura 1.51. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Laguna y el No de sismos registrados en el VCM, II semestre de 2008.	45
Figura 1.52. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico El Rodeo y el No de sismos registrados en el VCM, II semestre de 2008.	45
Figura 1.53. Comportamiento de la línea EDM del VCM, II semestre de 2008.	46
Figura 1.54. Ejemplo de señal sísmica (arriba) y su espectro (abajo) registrada el 30 de diciembre de 2008 en el VCB. Nótese los mismos picos espectrales en varias estaciones.	47
Figura 1.55. Energía liberada en el VCB. II semestre 2008.	48
Figura 1.56. Número de sismos diarios VCB, II semestre de 2008.	48
Figura 1.57. Emisiones de gas radón y CO <sub>2</sub> en suelo en el VCM, II semestre de 2008. Nótese el incremento notorio en el CO <sub>2</sub> antes del 15 de Diciembre en la estación CERRO BRAVO-1. El día 30 de Diciembre se presentó un aumento en la sismicidad tipo LP posiblemente relacionado con el incremento anterior de CO <sub>2</sub> .	49
Figura 1.58. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el II semestre de 2008.	56
Figura 1.59. Emisiones de gas radón y CO <sub>2</sub> en el Eje Cafetero, II semestre de 2008.	57



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**INDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Ocupaciones realizadas en la red de deformación, VNR II semestre de 2008. ....	17
<b>Tabla 2.</b> Resultados parciales de gases en botellas de Giggenbach, VCM II semestre de 2008.....	35
<b>Tabla 3.</b> Características de ubicación de las estaciones de la red de deformación, VCM II semestre de 2008.....	38
<b>Tabla 4.</b> Ocupaciones realizadas en la red de deformación, VCM II semestre de 2008.....	38

## **ACTIVIDAD DEL COMPLEJO VOLCANICO CERRO MACHIN – CERRO BRAVO (CVCMCB) II SEMESTRE 2008**

Elaborado por:  
Grupo Técnico del OVSM con el apoyo de los estudiantes monitores

Compilación y Edición:  
Milton Ordoñez

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La actividad sísmica de los volcanes del CVCMCB durante el II semestre de 2008 se caracterizó por presentar en general, estabilidad, a excepción del Volcán Cerro Machín (VCM), que registró una destacada variación en el parámetro de sismicidad los días 8,9 y 10 de Noviembre.

El Volcán Nevado del Ruiz (VNR) presentó estabilidad, con valores bajos tanto en energía sísmica como en el número de sismos, aunque se registraron a lo largo del semestre varias señales de baja frecuencia asociadas a pulsos de tremor. El Volcán Cerro Bravo (VCB) se mantuvo en un nivel bajo de actividad y liberación de energía sísmica, excepto durante Diciembre en el que se registró un incremento de actividad sísmica asociada a tránsito de fluidos. Cabe mencionar también que en Agosto se registró un enjambre sísmico VT asociado al Paramillo del Quindío. El Volcán Nevado del Tolima (VNT) registró muy baja actividad durante el II semestre de 2008.

### **1.2 RED DE VIGILANCIA**

Las redes de vigilancia del CVCMCB, presentaron, un buen funcionamiento. Las estaciones sísmicas funcionaron apropiadamente, aunque con algunas interferencias y ruidos que no afectan de manera significativa la vigilancia volcánica. El promedio general de funcionamiento de las estaciones sismológicas fue del 83%, de los inclinómetros electrónicos del 81% y de los monitores de flujos de lodo del 100%.

Durante el II semestre de 2008 se llevo a cabo la instalación de 3 estaciones sismológicas. En el VCM se instalaron las estaciones Silencio (5 de Septiembre) y la estación Santa Marta (16 de Octubre). En el VNR se instaló la estación Azufrado (Noviembre).

En lo que concierne a deformación se amplió la red instalando 3 inclinómetros electrónicos. En el VCM se instaló el inclinómetro Rodeo (5 de Septiembre). En el VNR se instalaron los inclinómetros Recio (22 de Julio) y Refugio (2 de Octubre).

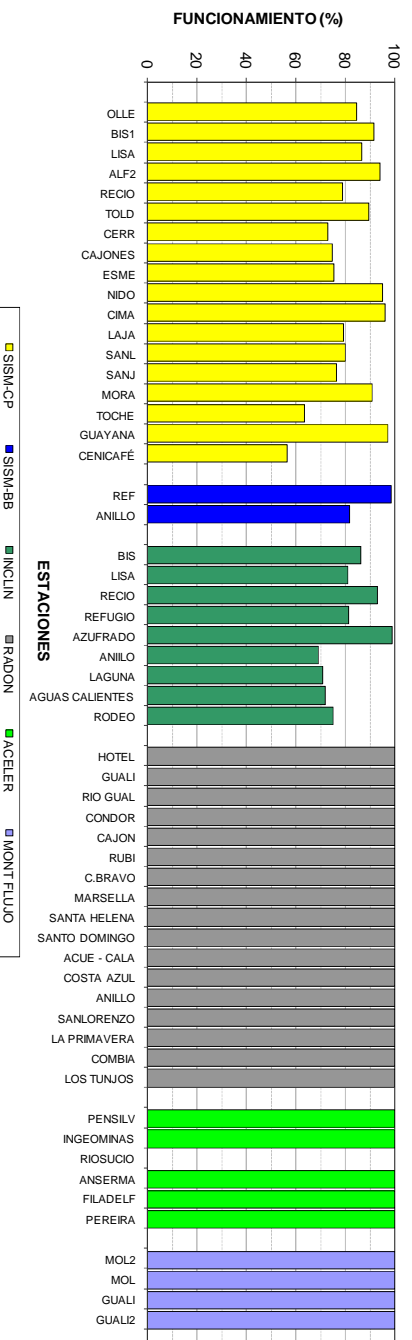
Durante algunos días de Julio, Agosto y Octubre se presentaron problemas con la recepción de los datos de la estación de banda ancha Anillo. Por otra parte, el computador que registra los datos enviados por los inclinómetros electrónicos del VCM, ubicado en la regional de INGEOMINAS en Ibagué, tuvo algunos problemas de recepción causados principalmente por los cortes en el suministro del fluido eléctrico y por el daño sufrido en la fuente de poder, la cual se fundió en Agosto.

La figura 1.1 muestra el funcionamiento de las estaciones telemétricas durante el II semestre de 2008. La figura 1.2 muestra las redes de vigilancia del CVCMCB (volcanes Cerro Bravo, Ruiz, Tolima y Machin).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



**Figura 1.1. Funcionamiento de estaciones de vigilancia, CVCMCB II semestre 2008.**



# INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

## SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

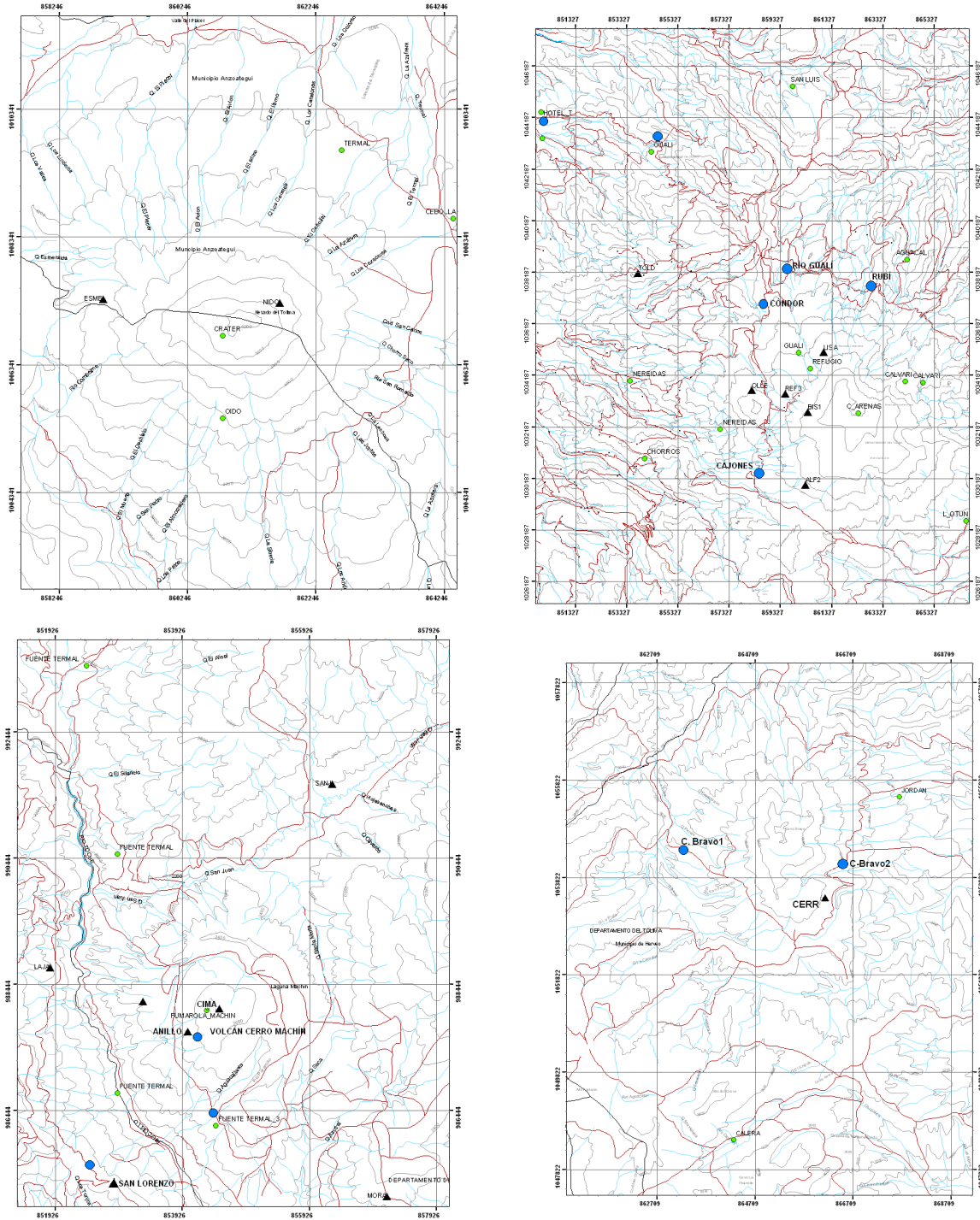


Figura 1.2. Redes de vigilancia sísmológica y geoquímica, CVC-MCB II semestre de 2008.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**1.3 VOLCÁN NEVADO DEL RUIZ (VNR)**

**1.3.1 SISMOLOGÍA**

Durante el II semestre de 2008, la actividad sísmica del VNR permaneció en términos generales, estable. El número de sismos registrados, así como la energía sísmica liberada mostraron niveles bajos; con leves incrementos registrados de forma esporádica; durante el semestre se destaca la ocurrencia de 7 señales asociadas a tremor. La figura 1.3 muestra la energía sísmica liberada diariamente y la figura 1.4 el número de sismos ocurridos por día.

Figura 1.3. Energía sísmica liberada diariamente, VNR II semestre 2008.

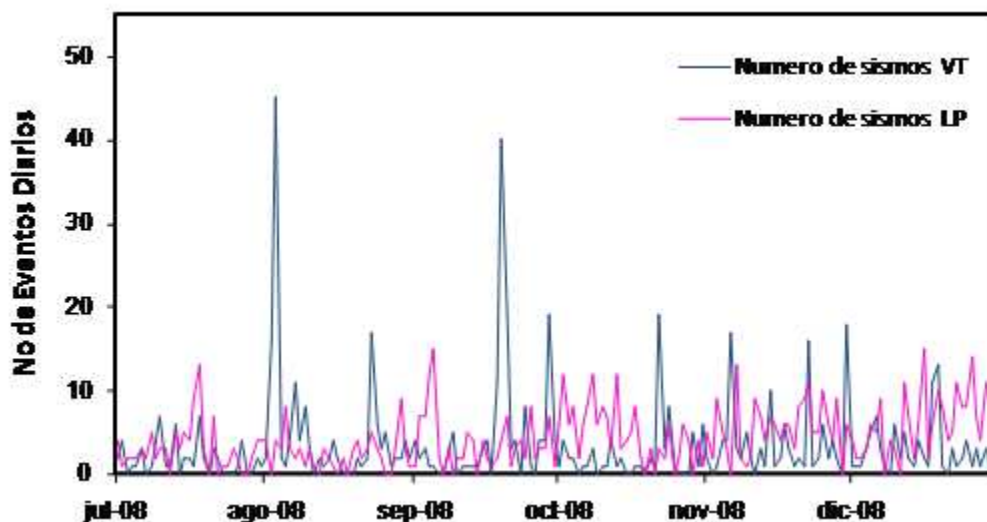


Figura 1.4. Número de sismos ocurridos diariamente, VNR II semestre de 2008.

Las magnitudes locales de los sismos Volcano-Tectónicos (VT) variaron entre -2.59 y 2.04, mientras que las magnitudes de los sismos de Largo-Período (LP) oscilaron entre -0.01 y 2.11. Las figuras 1.5 y 1.6 muestran las magnitudes locales de sismos VT y LP para el II semestre de 2008.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

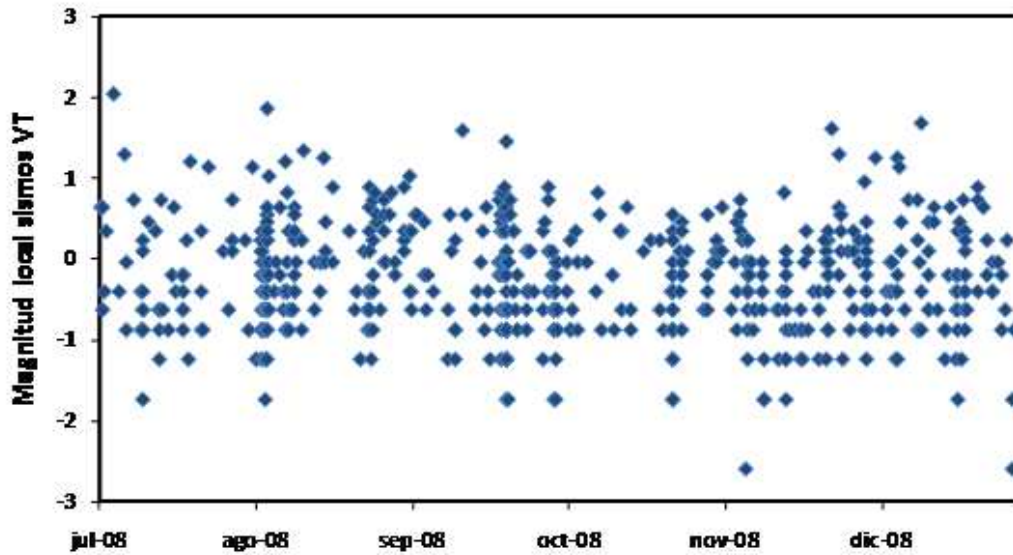


Figura 1.5. Magnitud local de sismos VT, VNR II semestre 2008.

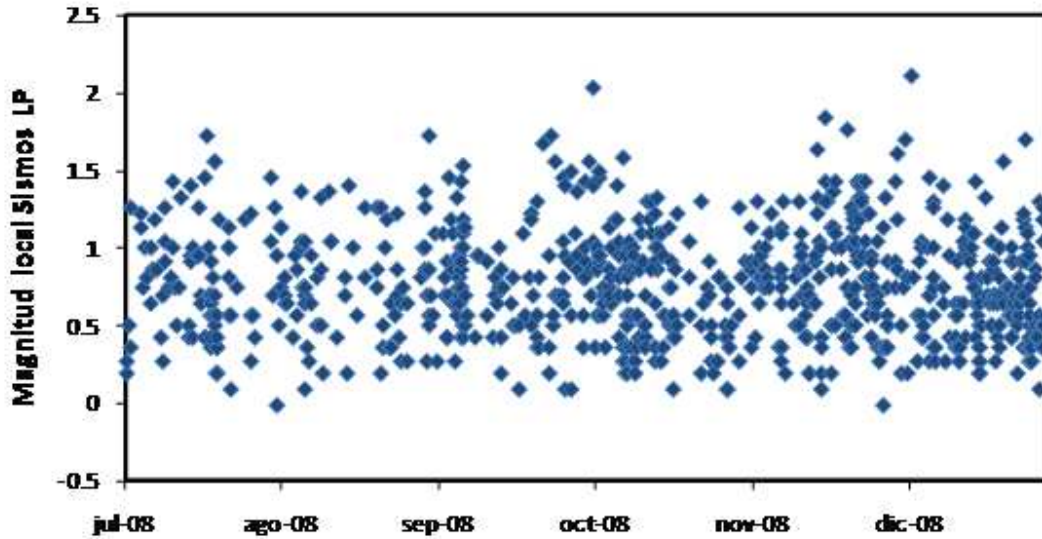


Figura 1.6. Magnitud local de sismos LP, VNR II semestre 2008.

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



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

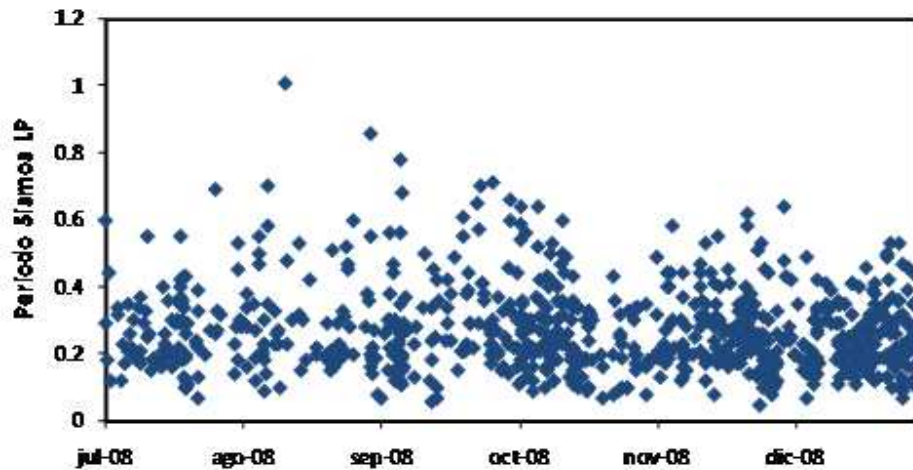


Figura 1.7. Período predominante de sismos LP, VNR II semestre 2008.

En cuanto a los hipocentros de los sismos VT estos se concentraron principalmente en 2 sectores (Figura 1.8), el primero en el cráter y alrededor del mismo, con profundidades que oscilaron principalmente entre 1 y 3 Km; el segundo al sur del cráter, con profundidades entre 3 y 5 Km, de igual forma se destaca la localización de algunos eventos al noroccidente del cráter para los que el rango de profundidad varió entre 6 y 12 Km. En total fueron 368 sismos los localizados



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

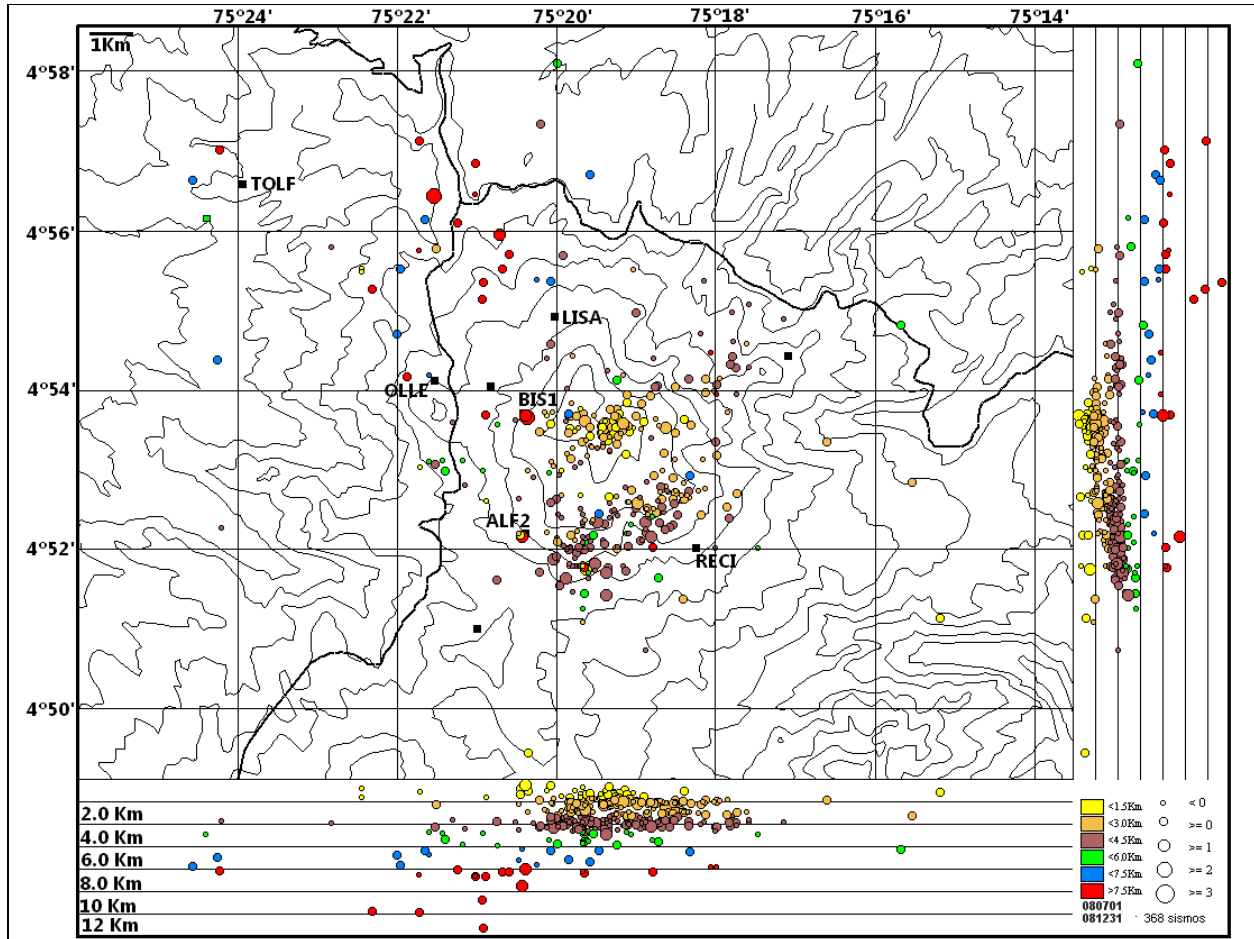


Figura 1.8. Localización hipocentral de sismos VT, VNR II semestre 2008.

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**

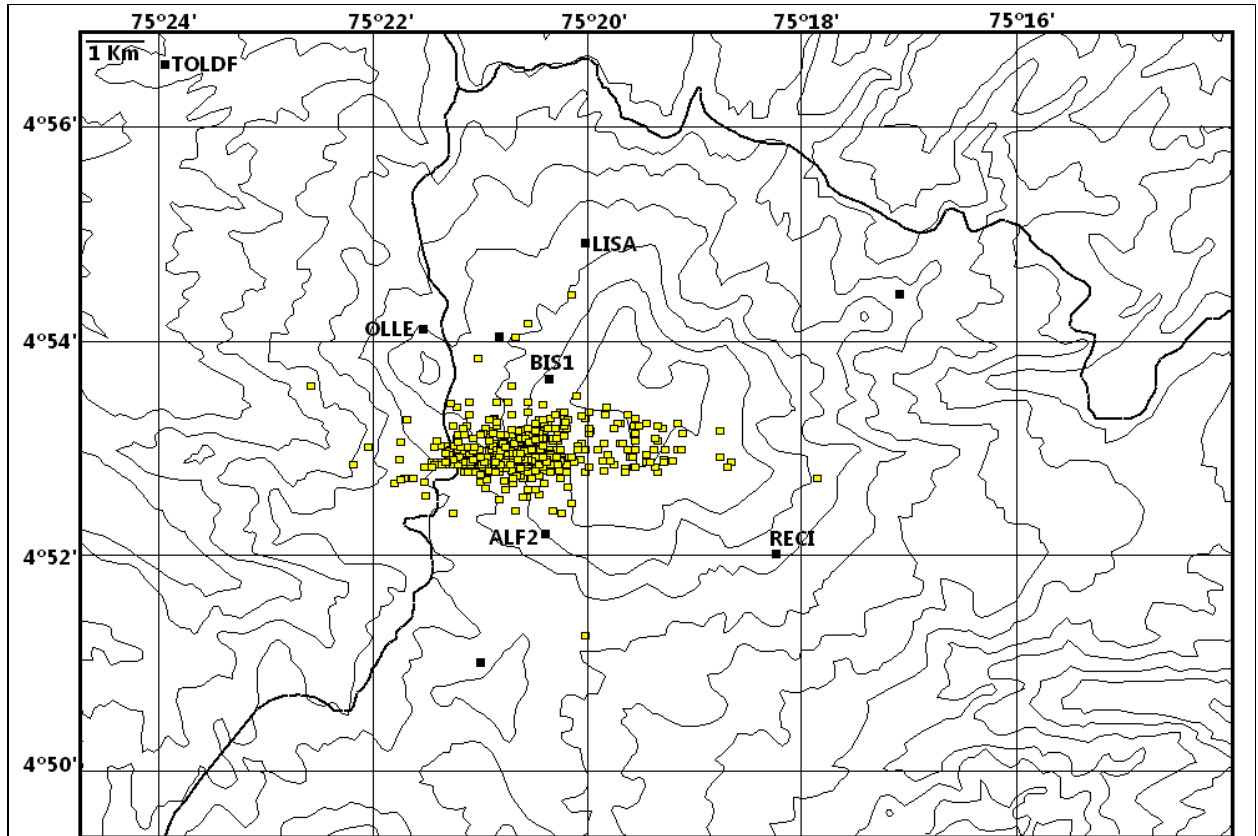


Figura 1.9. Localización epicentral de sismos LP, VNR II semestre 2008.

### 1.3.2 GEOQUÍMICA

Durante el II semestre del 2008 se realizaron muestreos y análisis in situ y en laboratorio de 3 fuentes termales. Se analizaron gases de las trampas alcalinas ubicadas en las estaciones Gualí, Refugio 1, Refugio 2 y Olleta.

#### 1.3.2.1 Emisiones de Gas Radón

Durante el II semestre de 2008, se realizaron 6 mediciones de emisión de gas radón y CO<sub>2</sub> en suelo. En general, los valores encontrados en todas las estaciones estuvieron dentro del rango normal de emisión. Se detectaron algunos pulsos puntuales en las estaciones Gualí y Rubí, tanto en la emisión de CO<sub>2</sub> como radón (Figura 1.10).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

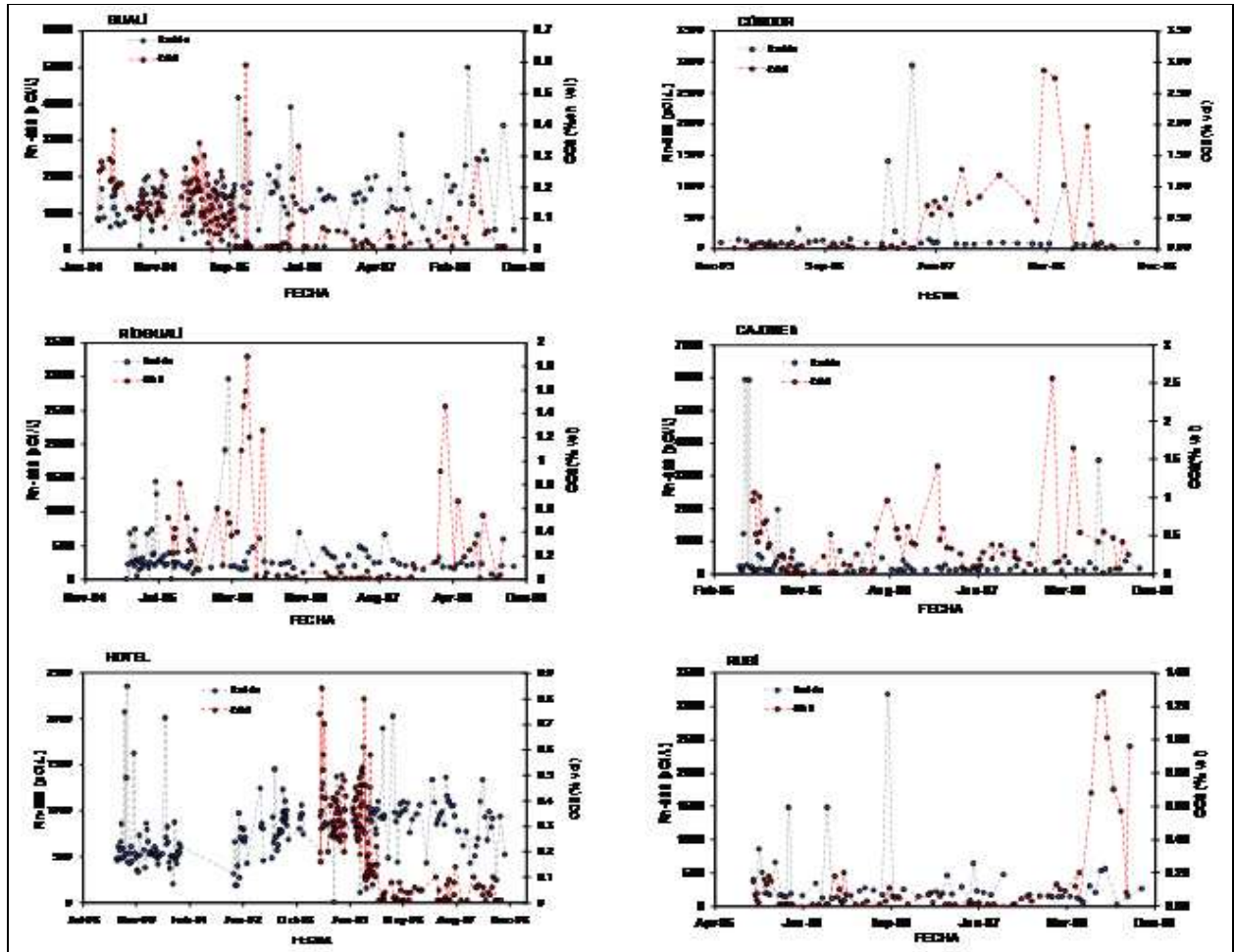


Figura 1.10. Emisiones de gas radón y CO<sub>2</sub> en suelo, VNR II semestre de 2008.

### 1.3.3.3 Fuentes Termales

Se realizó monitoreo a las fuentes termales (FT) Hotel Termales, Gualí y Botero Londoño.

#### FT Hotel Termales

En la figura 1.11 se aprecia los parámetros fisicoquímicos medidos in situ para la FT Hotel Termales, los cuales presentaron pequeñas variaciones durante el II semestre del 2008. La temperatura promedio se mantuvo en 60°C, el pH en los últimos meses fluctuó entre 1,35 y 1,44, mientras que los valores de conductividad eléctrica (CE) en promedio muestran 18 mS/cm, los cuales siguen aumentando paulatinamente con el tiempo.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

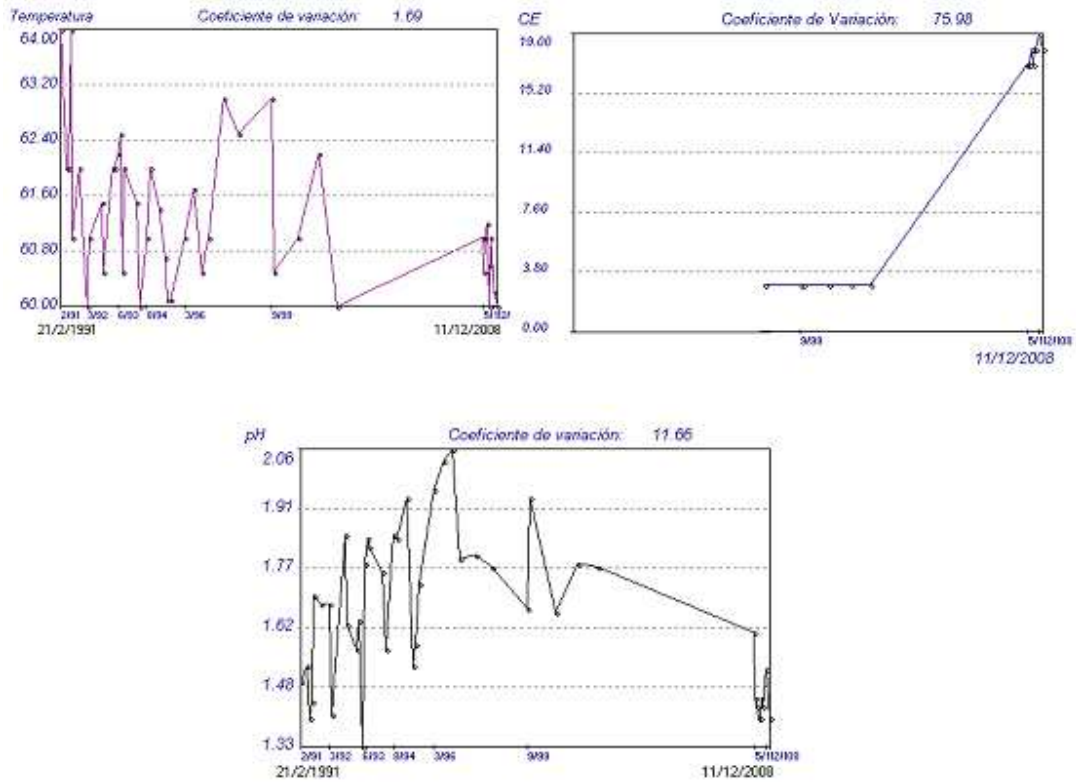


Figura 1.11. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Hotel Termales, VNR II semestre del 2008.

En la figura 1.12 se aprecian la composición química general de la FT Hotel Termales, destacándose las variaciones en las mediciones tomadas en los meses de Julio y Septiembre, especialmente en las concentraciones de sulfatos y de iones potasio. También se aprecian incrementos paulatinos en cloruros y en la concentración de iones calcio.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

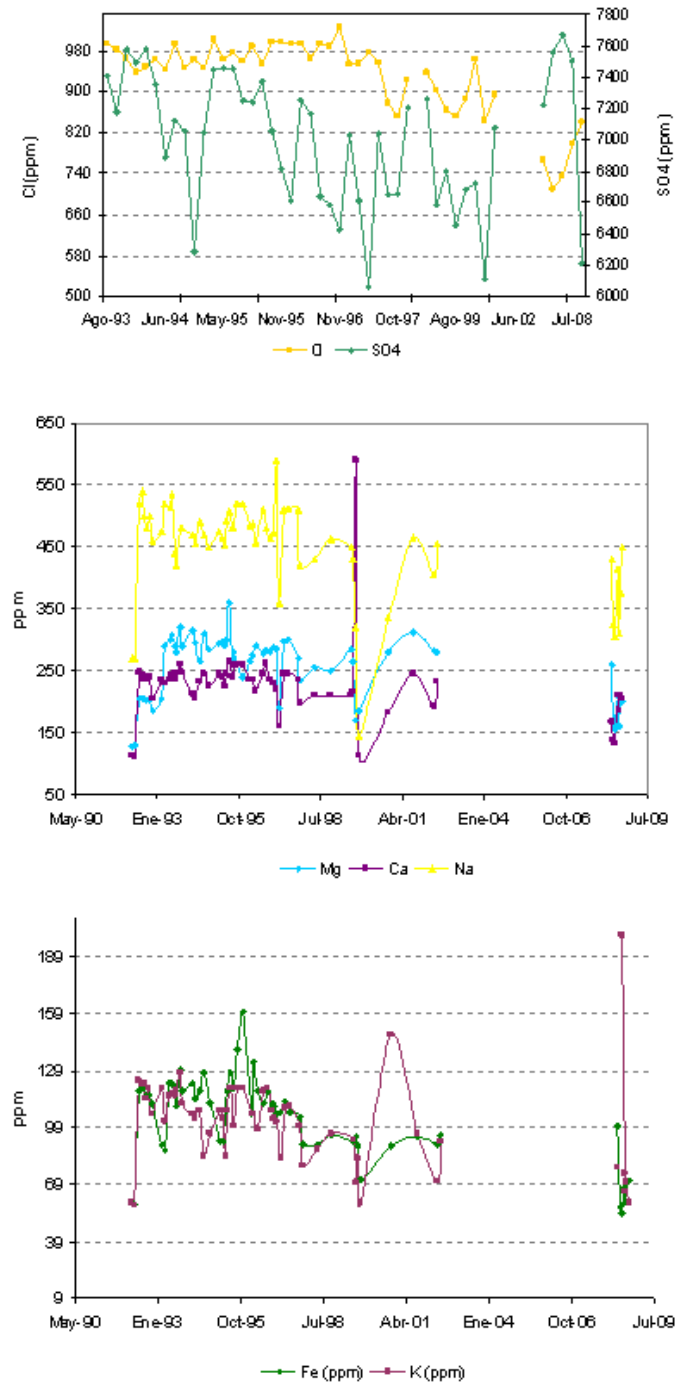


Figura 1.12. Variación de iones mayoritarios en la FT Hotel Termales, VNR II semestre de 2008.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**FT Gualí**

Las mediciones realizadas en la FT Gualí presentan variaciones similares a las de la FT Hotel Terales, destacándose las variaciones en los valores de pH, conductividad y en las concentraciones de iones mayoritarios, los cuales mantenían una línea base estable en comparación con las mediciones de años anteriores. Los cambios observados pueden estar asociados a alteraciones en el sistema hidrotermal que podrían estar relacionadas con rompimiento de rocas (Figuras 1.13 y 1.14).

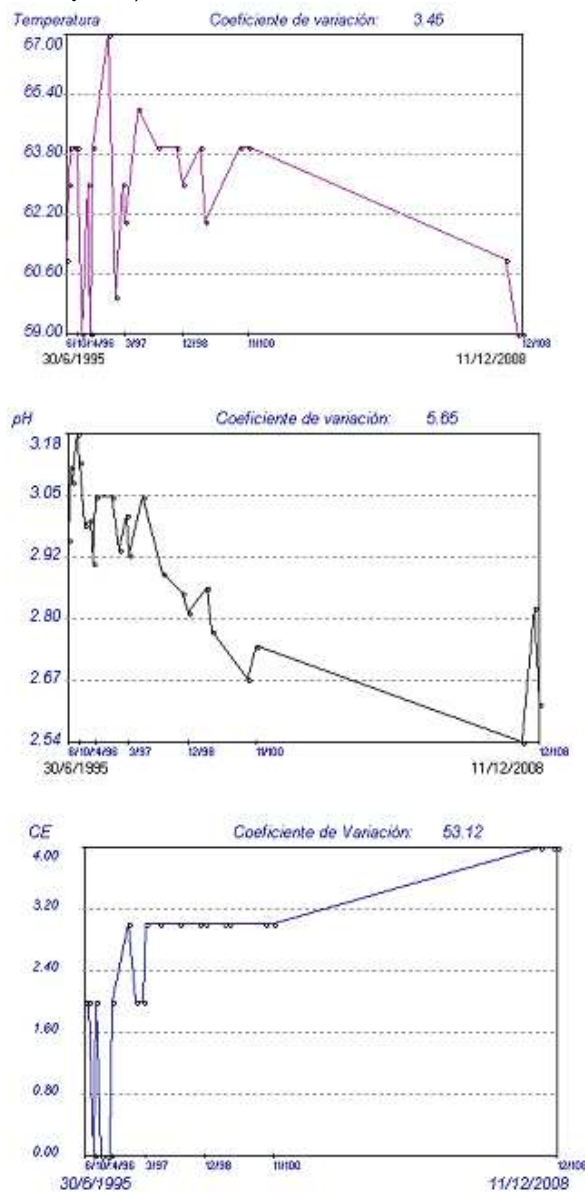


Figura 1.13. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Gualí, VNR II semestre de 2008.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

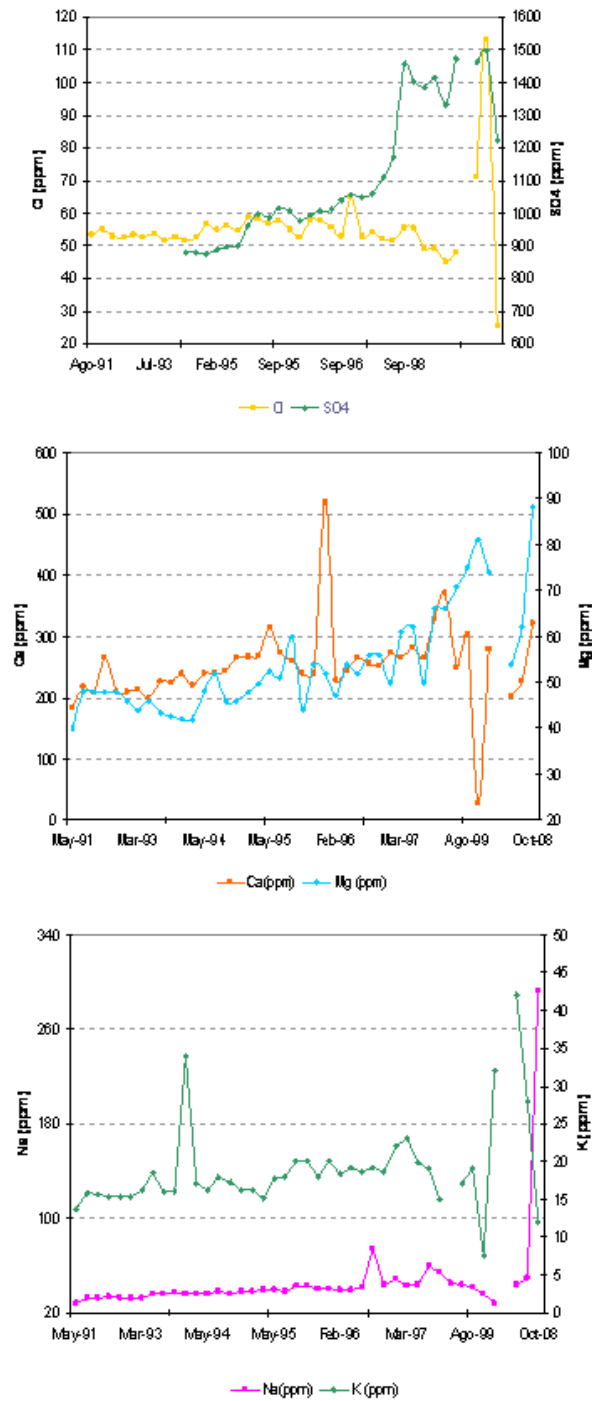


Figura 1.14. Variación de iones mayoritarios en la FT Gualí, VNR II semestre de 2008.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**FT Botero Londoño**

Esta fuente termal fue la que presentó más variaciones en su composición química, pues en los análisis de Julio se reportaron 76 ppm Sulfatos ( $\text{SO}_4^{=}$ ), los cuales no habían sido detectados en las mediciones anteriores. Para Septiembre su contenido bajo a 52,63 ppm. Es importante resaltar que este parámetro ha venido cambiando en los últimos años. En cuanto a la cantidad de cloruros (Cl) aumentó en la última medición, mientras que los Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) han disminuido. Por otra parte es importante resaltar que en mediciones en años anteriores no se tienen reportes de carbonatos ( $\text{CO}_3^{=}$ ) y en las últimas mediciones se alcanzan concentraciones de 94,5 ppm.

Los parámetros fisicoquímicos medidos in situ muestran que la temperatura se ha mantenido en un promedio de 92°C, el pH sigue presentando tendencia a la basicidad y la conductividad mantiene el pequeño incremento que presentó en la medición de Julio (Figuras 1.15 y 1.16).

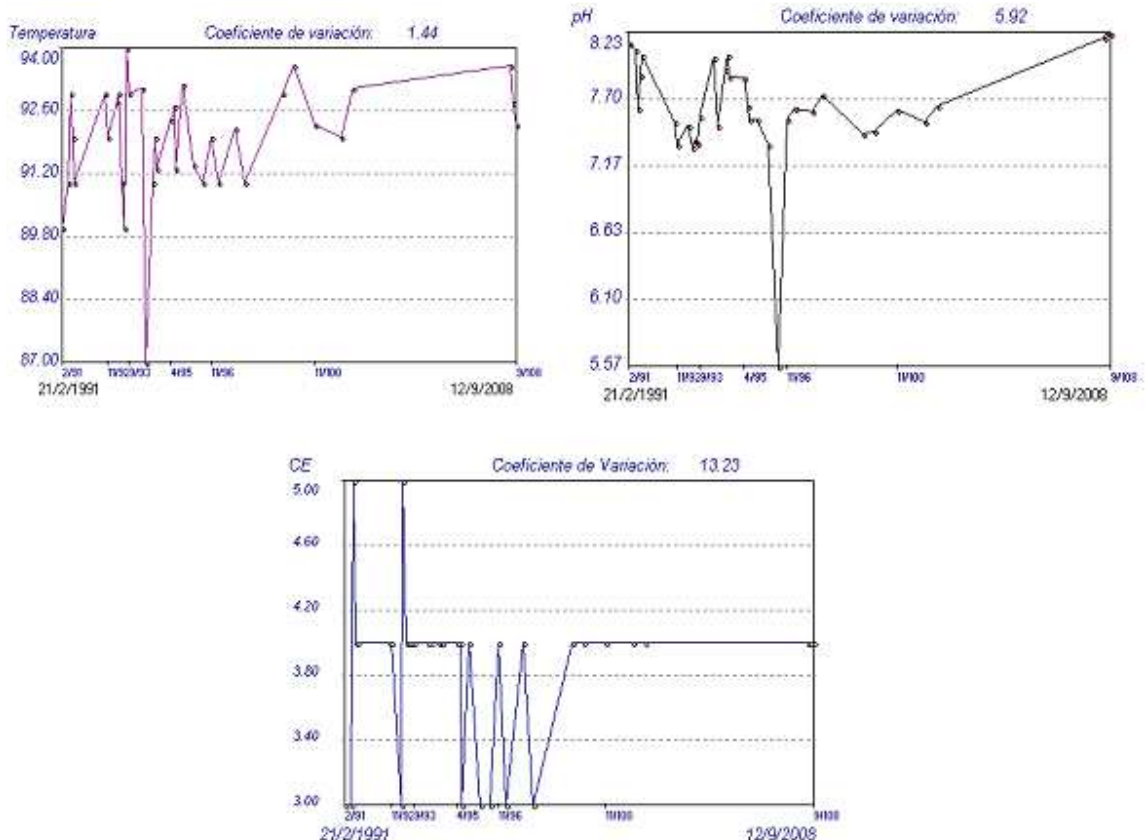


Figura 1.15. Variación de parámetros fisicoquímicos en la FT Botero Londoño, VNR II semestre de 2008.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

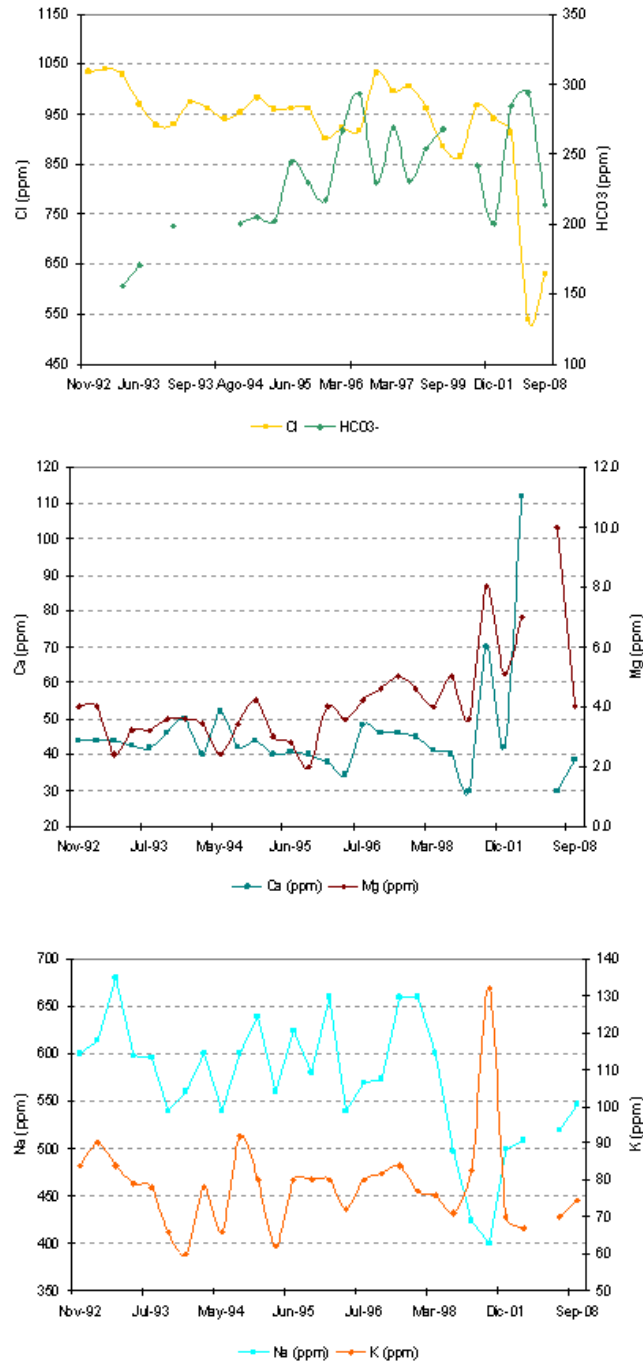


Figura 1.16. Variación de iones mayoritarios en la FT Botero Londoño, VNR II semestre de 2008.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**1.3.3.4 Gases Volcánicos**

A partir de los resultados parciales de los parámetros geoquímicos evaluados en los fluidos volcánicos del VNR se estableció que las concentraciones de CO<sub>2</sub> y azufre total (St) presentaron algunas variaciones de acuerdo a la línea que se tiene para cada uno de los componentes mencionados (Figura 1.17). Los mayores cambios se presentan en la estación Gualí, en donde se aprecia que el contenido de azufre aumentó significativamente, lo cual puede estar relacionado con la columna de vapor observada durante los últimos días de Octubre. Las relaciones de HCl se mantienen para las estaciones de Olleta y Gualí, mientras que para las estaciones de Refugio 1 y Refugio 2 presentan mayores cambios. El CO<sub>2</sub> sigue presentando valores cercanos a la línea base.

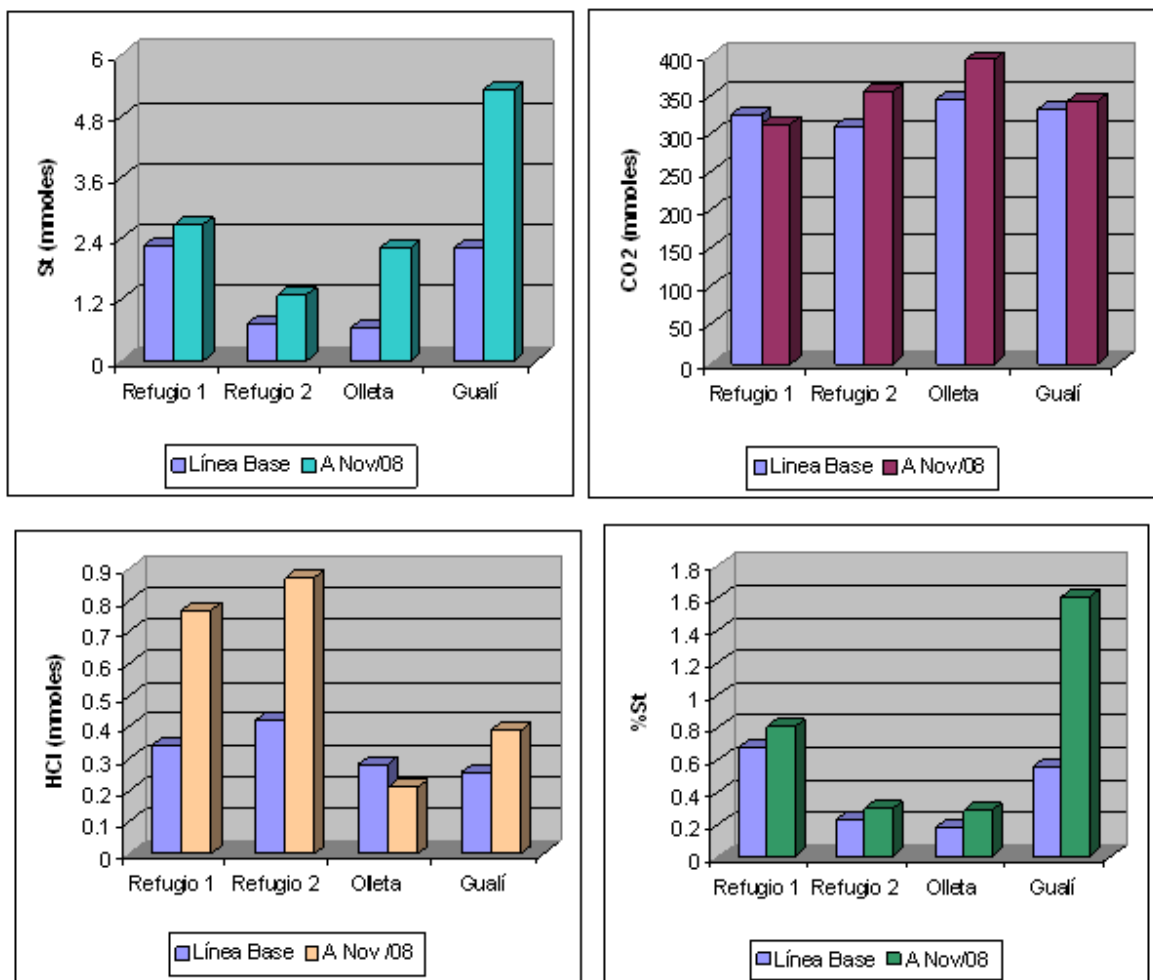


Figura 1.17. Variación del contenido de S, HCl y CO<sub>2</sub> en fluidos volcánicos, VNR II semestre de 2008.

**1.3.4 DEFORMACIÓN**

Durante el II semestre de 2008 no se ocuparon las estaciones de control topográfico del VNR. La red fue ampliada, instalando 3 inclinómetros electrónicos (Recio, Refugio y Azufrado), materializando 2 bases EDM (Refugio y



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

Tumbas) e instalando 6 reflectores EDM. Los inclinómetros electrónicos funcionaron de manera casi regular desde su instalación, algunos presentaron algunas fallas técnicas que fueron reparadas oportunamente. La tabla 1 muestra los periodos de funcionamiento de los inclinómetros electrónicos y las ocupaciones realizadas en la red EDM.

ESTACION	REGISTRO	
	DESDE	HASTA
I. ELEC. BIS	1 de Enero de 2008	31 de Diciembre de 2008
I. ELEC. LISA	1 de Enero de 2008	31 de Diciembre de 2008
I. ELEC. RECIO	22 de Julio de 2008	31 de Diciembre de 2008
I. ELEC. REFUGIO	2 de Octubre de 2008	31 de Diciembre de 2008
I. ELEC. AZUFRADO	1 de Diciembre de 2008	31 de Diciembre de 2008
	OCUPACIONES	FECHA
B. EDM REFUGIO	5	Octubre - Noviembre
R. EDM REFUGIO 1	5	Octubre - Noviembre
R. EDM REFUGIO 2	5	Octubre - Noviembre
R. EDM REFUGIO 3	5	Octubre - Noviembre
R. EDM REFUGIO 4	5	Octubre - Noviembre
R. EDM REFUGIO 5	5	Octubre - Noviembre
R. EDM REFUGIO 6	5	Octubre - Noviembre
R. EDM OLLETA	No se ocupó	

Tabla 1. Ocupaciones realizadas en la red de deformación, VNR II semestre de 2008.

#### 1.3.4.1 Comportamiento Inclinómetros Electrónicos

En el VNR se tienen instalados 5 inclinómetros electrónicos, cada uno provisto de una plataforma nivelante de 2 ejes y un sensor de temperatura. Cada estación de inclinometría cuenta con un sistema de alimentación (Batería y panel solar), una tarjeta electrónica para el registro los cambios de voltaje asociados a los cambios de inclinación, y un sistema telemétrico (Radio y antena de transmisión). El eje Y de cada sensor se orienta hacia el Norte magnético terrestre, por consiguiente el eje X se orienta hacia el Este magnético. Cada inclinómetro envía datos de inclinación teleméricamente cada 10 minutos, los cuales son transformados a  $\mu$ radianes. Para el análisis de los datos de inclinometría electrónica se tiene en cuenta que el registro de cambios negativos en el voltaje de las componentes Norte y Este está asociado con inclinaciones positivas del sensor (inflación), y cambios positivos de voltaje se asocian con inclinaciones negativas (deflación).

##### Inclinómetro Bis

Este inclinómetro electrónico se instaló el 30 de Agosto de 2007 en el sector de Bis a 1,6 km al NW de cráter Arenas del VNR, en cercanías de la estación sísmológica Bis. El comportamiento de este inclinómetro durante el II semestre del 2008 se caracterizó por presentar grandes fluctuaciones en las 2 componentes. La componente Este mostró una tendencia deflacionaria con registro de un cambio acumulado de  $+6,3 \mu$ rad, mientras que la componente Norte mostró un comportamiento inflacionario con un cambio de  $-80,93 \mu$ rad (Figura 1.18).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

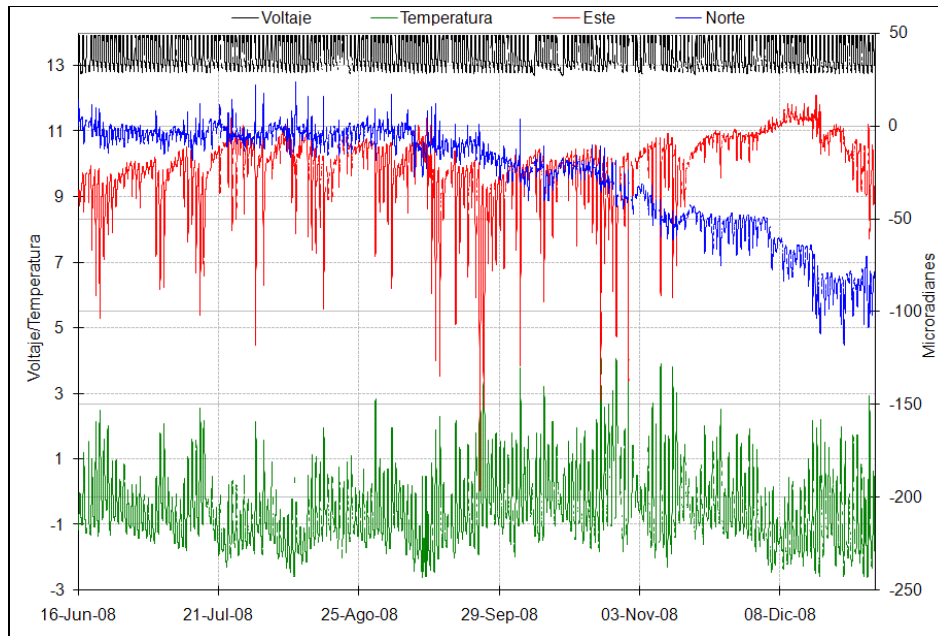


Figura 1.18. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Bis, VNR II semestre de 2008.

### 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 NW de cráter Arenas del VNR, a un costado de la estación sísmológica Lisa. Su comportamiento se caracterizó por presentar grandes fluctuaciones a lo largo de todo el II semestre de 2008. Desde el 1 de Julio hasta el 23 de Noviembre, la componente Este mostró una tendencia deflacionaria con un cambio acumulado de  $+18,27\mu\text{rad}$ , mientras la componente Norte no mostró un comportamiento definido. Del 23 de Noviembre hasta el 11 de Diciembre el inclinómetro no registró información por fallas en el funcionamiento. Desde el 11 de Diciembre el comportamiento de las componentes Norte y Este muestran una tendencia inflacionaria con un cambio de  $-4.43$  y  $-14.88 \mu\text{rad}$  respectivamente (Figura 1.19).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

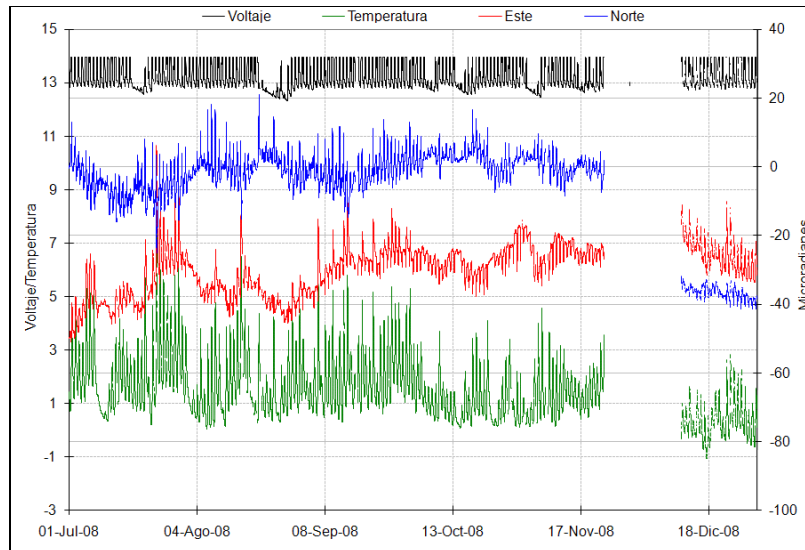


Figura 1.19. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Lisa, VNR II semestre de 2008.

**Inclinómetro Recio**

Este inclinómetro electrónico se instaló el 22 de Julio de 2008 en el sector de Recio a 2,2 km al SW de cráter Arenas del VNR. El comportamiento del inclinómetro Recio durante el II semestre de 2008 se caracterizó por tener fluctuaciones. La componente Norte registró una tendencia inflacionaria con un cambio acumulado de -8,70  $\mu$ rad, mientras la componente Este mostró un comportamiento deflacionario con registro de un cambio de 16,57  $\mu$ rad (Figura 1.20).

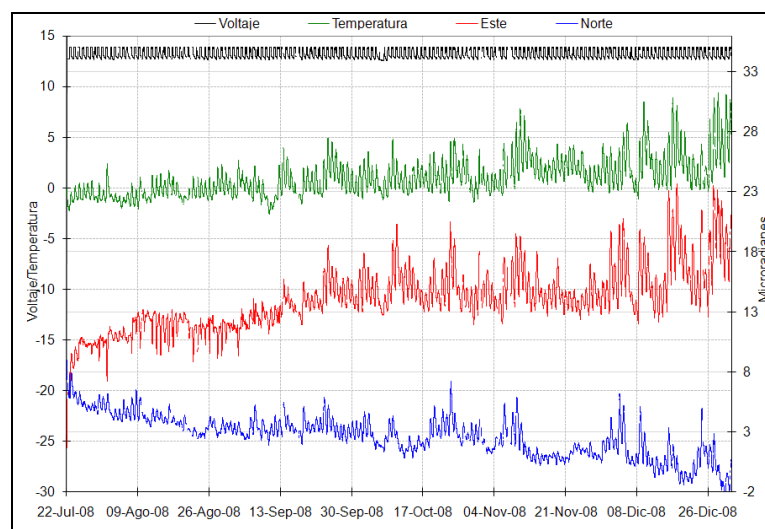


Figura 1.20. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Recio, VNR II semestre de 2008.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**Inclinómetro Azufrado**

Este inclinómetro electrónico se instaló en Noviembre de 2008 en el flanco NE del VNR a una distancia de 3 Km desde el cráter Arenas. Durante Diciembre el inclinómetro mostró un comportamiento muy fluctuante. La componente Norte muestra una tendencia inflacionaria con registro de un cambio acumulado de  $-11,54 \mu\text{rad}$ , mientras la componente Este no muestra un comportamiento definido (Figura 1.21).

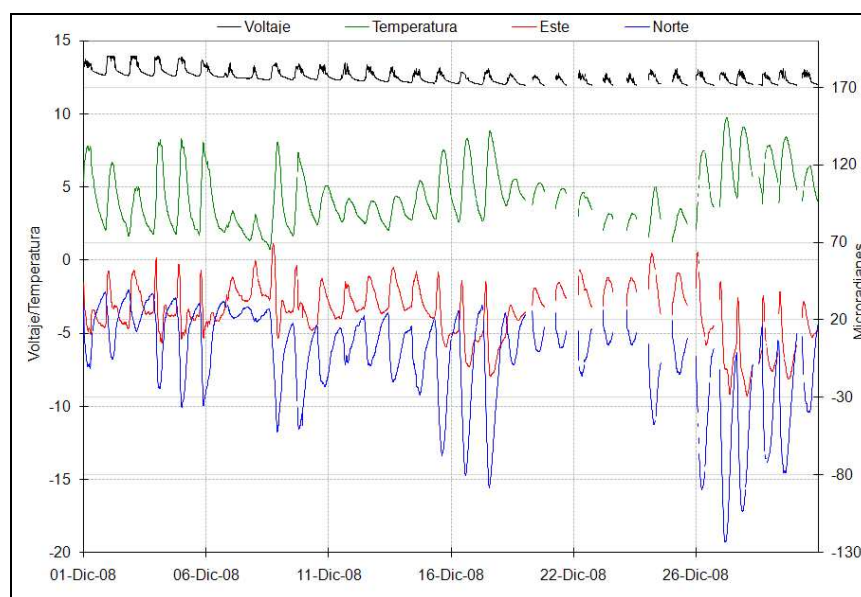


Figura 1.21. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Azufrado, VNR II semestre de 2008.

**Inclinómetro Refugio**

Este inclinómetro se instaló el 2 de Octubre de 2008 en el flanco NW del VNR a 2,6 km del cráter Arenas. El comportamiento mostrado hasta el 31 de Diciembre de 2008 fue fluctuante con una tendencia inflacionaria en sus 2 componentes, registrando cambios acumulados de  $203,34 \mu\text{rad}$  en la componente Norte y de  $119,42 \mu\text{rad}$  en la componente Este (Figura 1.22).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

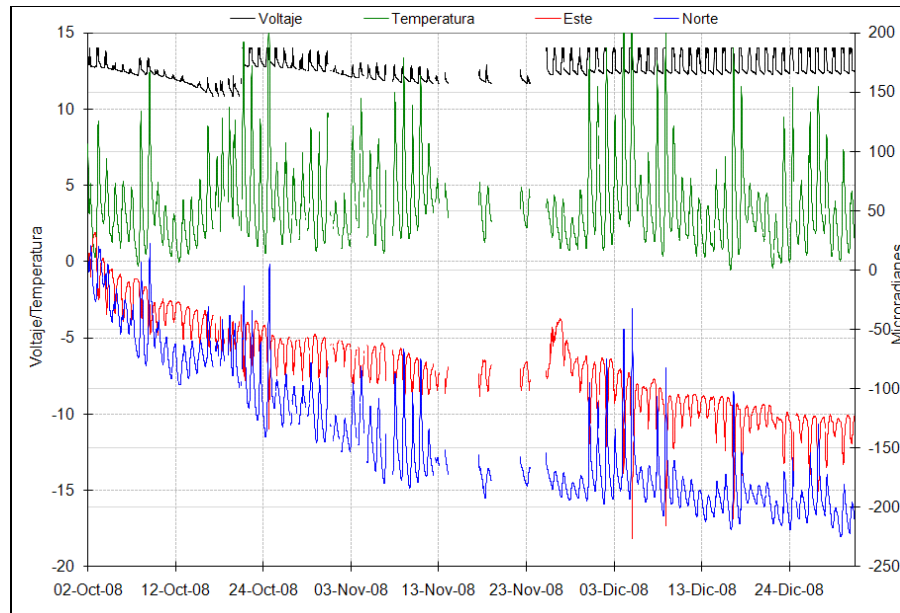


Figura 1.22. Comportamiento de las componentes Norte y Este, y del voltaje y la temperatura del inclinómetro electrónico Refugio, VNR II semestre de 2008.

#### 1.3.4.2 Comportamiento Líneas EDM

Durante el II semestre de 2008 se inició la implementación de la red EDM del VNR, construyéndose las bases Refugio y Tumbas e instalando los reflectores Refugio 1, Refugio 2, Refugio 3, Refugio 4, Refugio 5, Refugio 6 y Olleta. Después de un tiempo de estabilización se realizaron las primeras mediciones. El comportamiento de la Línea EDM Refugio-Olleta mostró estabilidad, mientras el resto de las líneas EDM presentaron algunos cambios posiblemente asociados a un proceso de estabilización (Figura 1.23).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

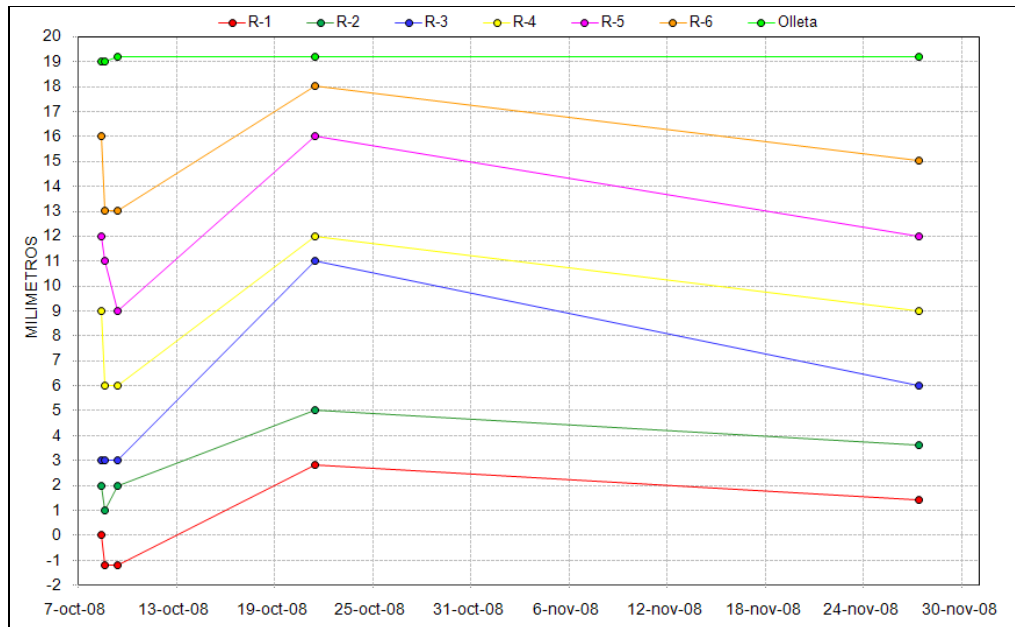


Figura 1.23. Comportamiento de los reflectores visados desde la base EDM Refugio, VNR II semestre de 2008.

## 1.4 VOLCÁN NEVADO DEL TOLIMA (VNT)

### 1.4.1 SISMOLOGÍA

En general, la actividad sísmica del VNT se mantiene en niveles muy bajos. Durante el II semestre de 2008 se registraron un total de 47 sismos (45 VT y 2 LP) con una liberación de energía igualmente baja.

En la figura 1.24 se grafica la energía sísmica liberada diaria. La figura 1.25 muestra el número de sismos diarios.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

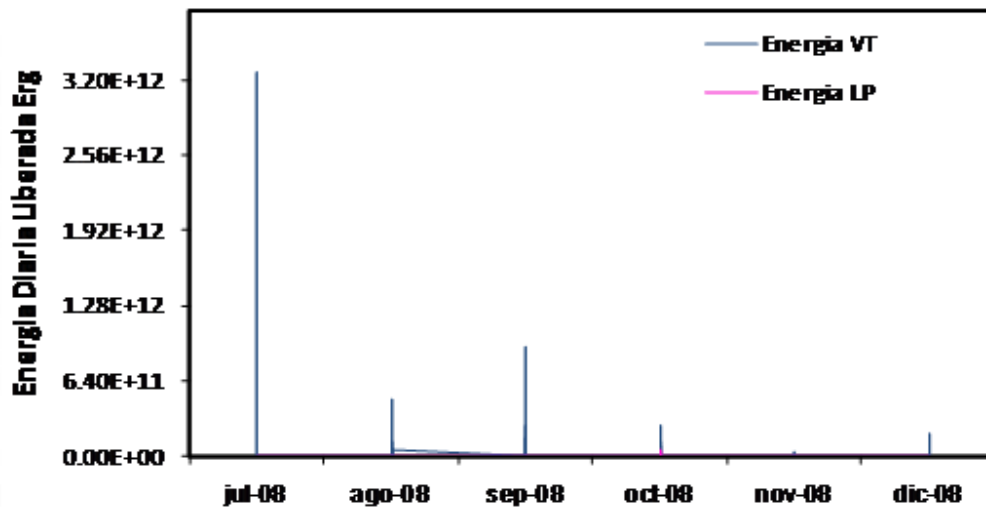


Figura 1.24. Energía sísmica liberada diaria, VNT II semestre 2008.

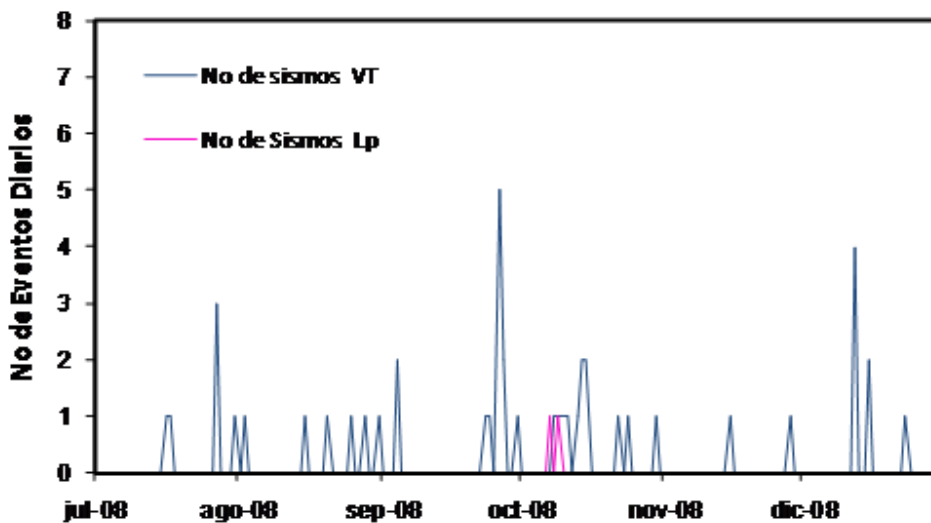


Figura 1.25. Número de sismos diarios, VNT II semestre 2008.

Por otra parte, se detectaron gran cantidad de pequeñas avalanchas de roca, producidas por el deshielo del casquete glaciar. Un total de 357 señales sísmicas asociadas a avalanchas fueron registradas durante el II semestre de 2008 (Figura 1.26).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

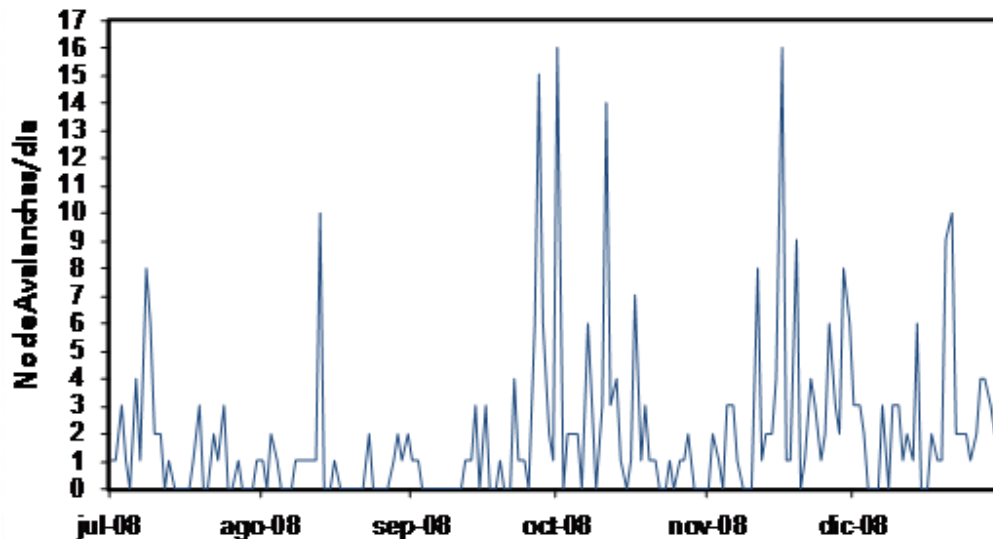


Figura 1.26. Número de avalanchas diarias, VNT II semestre 2008.

Durante el segundo semestre del 2008 se presentó en cercanías de los edificios volcánicos del CVCMCB, un enjambre sísmico de sismos Volcano – Tectónicos en el Paramillo del Quindío. Dicha actividad se registró el día 9 de Agosto con un total de 65 eventos localizados al NW del Volcán Nevado del Tolima con profundidades que oscilaron entre los 2 y 5 Km, y una magnitud máxima registrada de 1.14 en la escala de Richter.

## 1.5 VOLCÁN CERRO MACHÍN (VCM)

### 1.5.1 SISMOLOGÍA

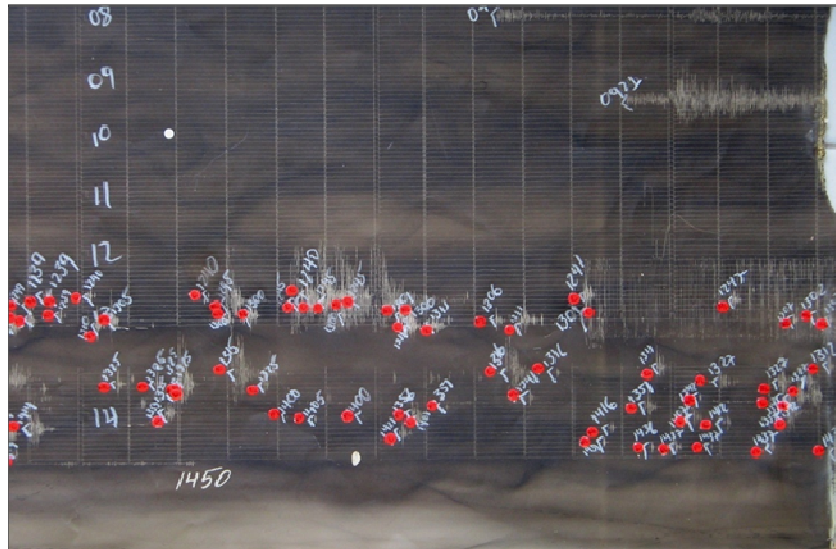
El VCM mostró un nivel medio a alto en la actividad sísmica durante el II semestre de 2008. El comportamiento del volcán estuvo caracterizado por la ocurrencia de sismos VT en forma de repetidos incrementos de actividad y enjambres, siendo la actividad más destacada durante el semestre la presentada los días 8, 9 y 10 de Noviembre, en los cuales se registraron 1291 sismos de carácter Volcano – Tectónico, alcanzando 9 de ellos magnitudes superiores a 2,5 en la escala de Richter, los cuales fueron reportados como sentidos por los habitantes de Cajamarca, Ibagué, Calarcá y Armenia. La máxima magnitud registrada fue de 4.3 en la escala de Richter la cual corresponde a un sismo registrado el día 9 de Noviembre a las 3:00 am (hora local), evento al que se asociaron cambios importantes registrados por los inclinómetros localizados alrededor del volcán.

La figura 1.27 muestra el inicio del incremento en la sismicidad el día 8 y el nivel de actividad sísmica presentado entre las 14:51 del día 8 y las 03:15 del día 9. La figura 1.28 presenta el registro del enjambre sísmico en la estación CIMA entre las 03:18 y las 09:26 (hora local) del día 9, periodo de tiempo en el que se registraron 985 sismos Volcano – Tectónicos, 6 de ellos con magnitudes entre 2.6 y 3.4 en la escala de Richter.

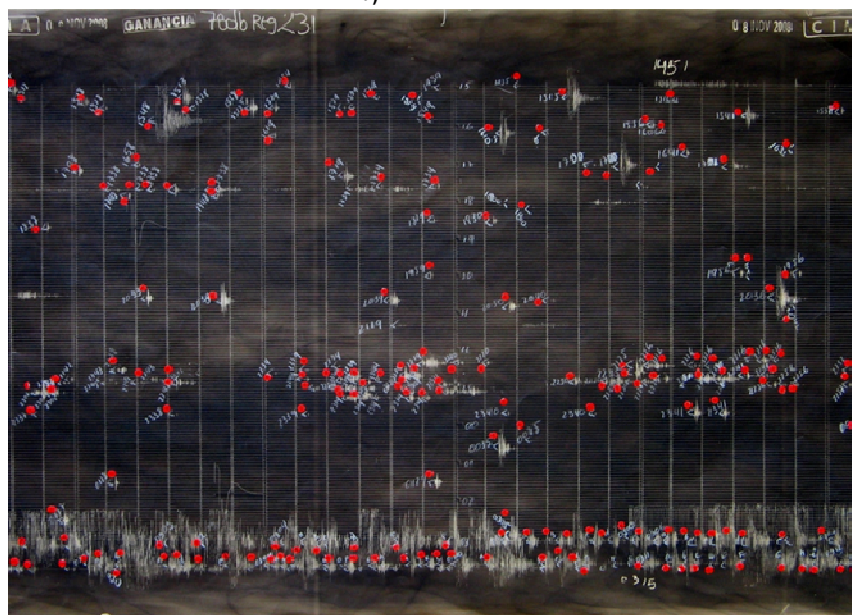


**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



a)



b)

Figura 1.27. a) Incremento en la sismicidad el día 8 en la cual se destaca la ocurrencia del sismo de las 13:01 (hora local) que tuvo una magnitud de 3.6 en la escala de Richter. b) Actividad sísmica registrada entre las 14:51 del día 8 y las 03:15 del día 9, destacándose el sismo ocurrido a las 03:00 am (hora local) el cual alcanzó la máxima magnitud registrada



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

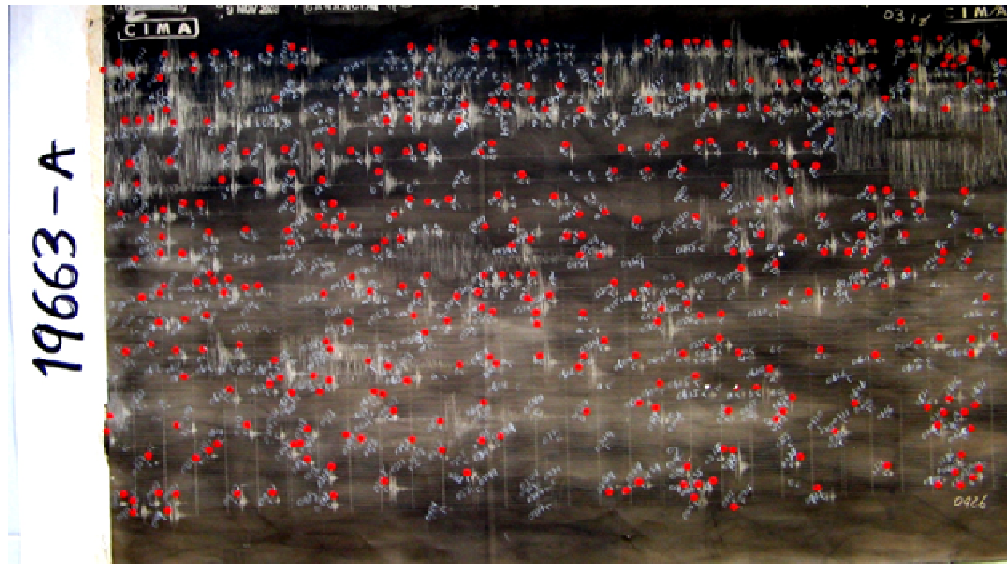


Figura 1.28 Registro analógico de la estación CIMA del enjambre sísmico presentado entre las 03:18 y las 09:26 (hora local) del día 9, periodo de tiempo en el que se registraron 985 sismos Volcano – Tectónicos, 6 de ellos con magnitudes entre 2.6 y 3.4 en la escala de Richter.

Además de la sismicidad asociada a ruptura de roca (Tipo VT), durante el II semestre se registraron 4 sismos relacionados con transito de gases y fluidos (Tipo LP), de los que se destaca el registrado el día 23 de Diciembre a las 18:53 (hora local), con una magnitud de 0.9 en la escala de Richter. En total, la red de estaciones instalada en el VCM registró un total de 2364 eventos sísmicos a lo largo del II semestre de 2008.

La actividad sísmica registrada por el volcán durante Noviembre de 2008, supera la actividad registrada el día 27 de Diciembre de 2007, constituyéndose entonces en la más energética desde que se inicio el monitoreo sísmico en el año 1989.

La figura 1.29 presenta la energía sísmica liberada diaria. La figura 1.30 muestra el número de sismos diarios. La figura 1.31 muestra la distribución de magnitudes con respecto al tiempo para el II semestre de 2008.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

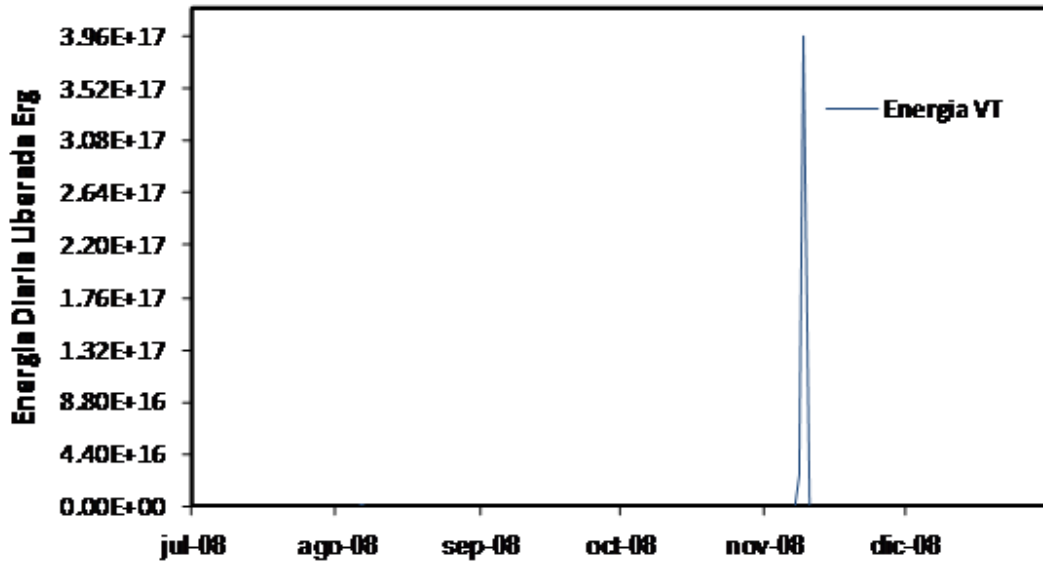


Figura 1.29. Energía sísmica liberada diaria, VCM II semestre 2008.

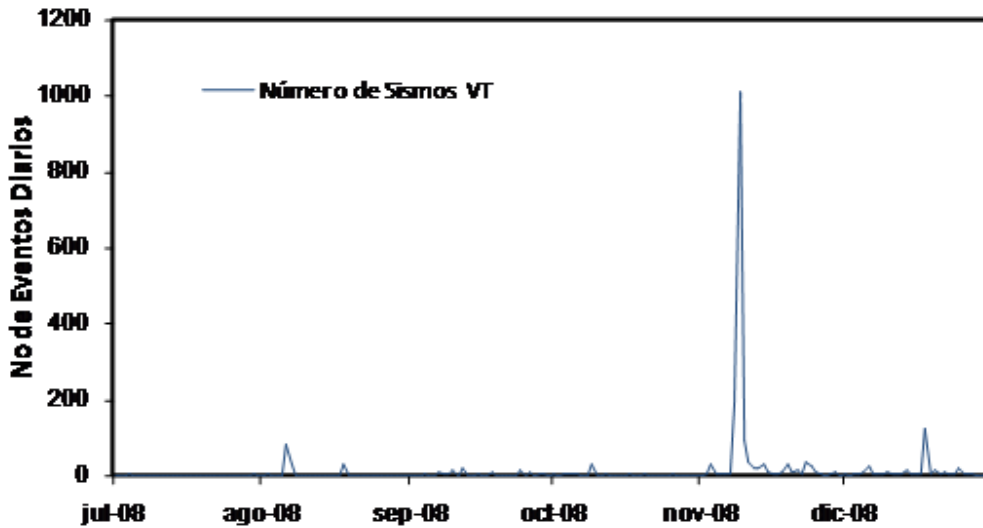


Figura 1.30. Número de sismos diarios, VCM II semestre 2008.





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

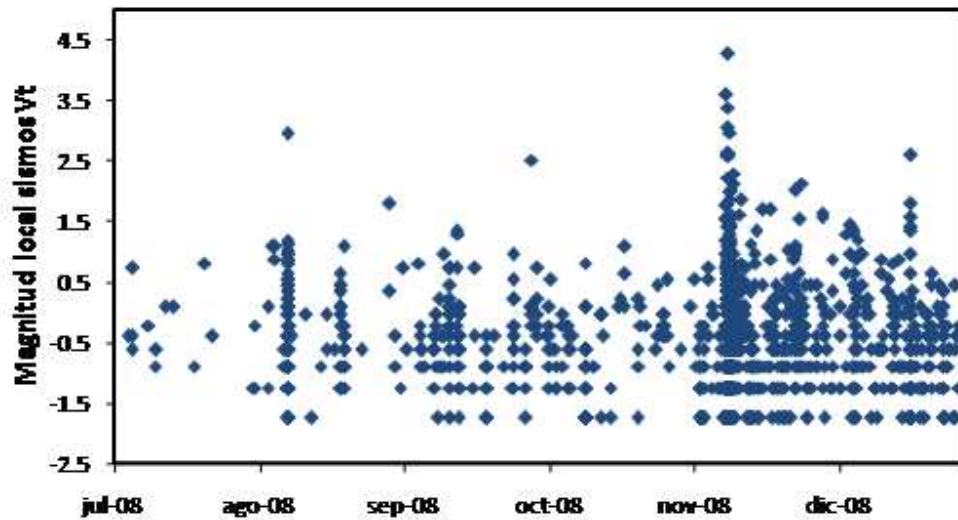


Figura 1.31. Distribución de magnitudes, VCM II semestre 2008.

La sismicidad Volcano-Tectónica (VT) se localizó principalmente debajo del domo y hacia él SE de la cima, alcanzando profundidades que oscilaron predominantemente entre 2 y 6 km (Figura 1.32).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

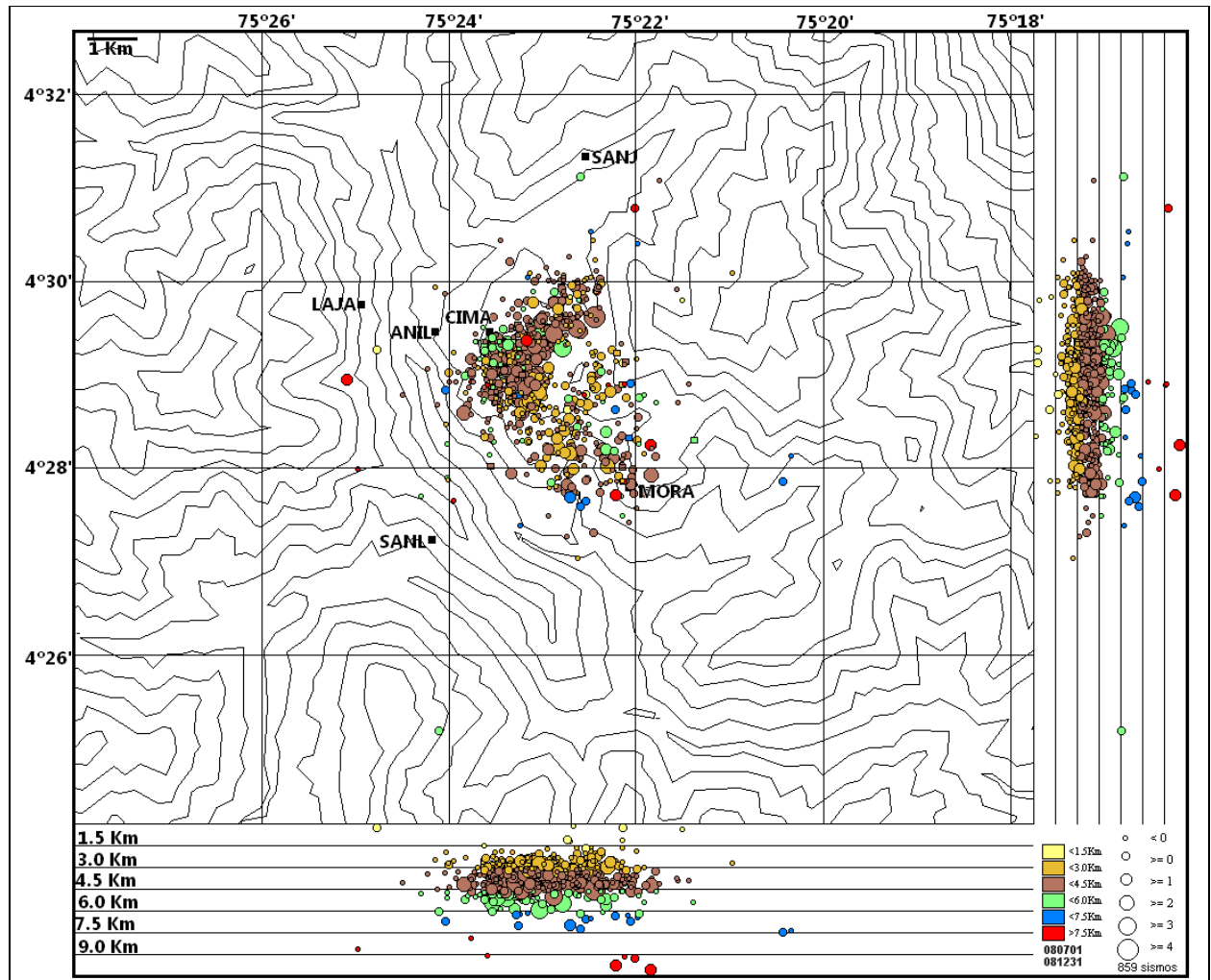


Figura 1.32. Localización hipocentral de sismos VT, VCM II semestre 2008.

## 1.5.2 GEOQUÍMICA

Durante el II semestre del 2008 se realizaron muestreos y análisis in situ y en laboratorio de 3 fuentes termales aledañas al VCM. Se tomaron muestras de gases utilizando Botellas de Giggenbach en la fumarola La Macha. Así mismo se realizaron mediciones periódicas de radón y CO<sub>2</sub> en suelo. Además, se realizó un mapa térmico en el campo fumarólico.

### 1.5.2.1 Emisiones de Gas Radón

Durante el II semestre de 2008, se realizaron 11 mediciones de emisiones de gas radón y CO<sub>2</sub> en suelo. Varios cambios temporales se observaron en las emisiones de gas radón de algunas estaciones, especialmente a mediados de Octubre, los cuales estuvieron asociados posiblemente con el posterior incremento de la actividad sísmica de Noviembre (Figura 1.33).



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

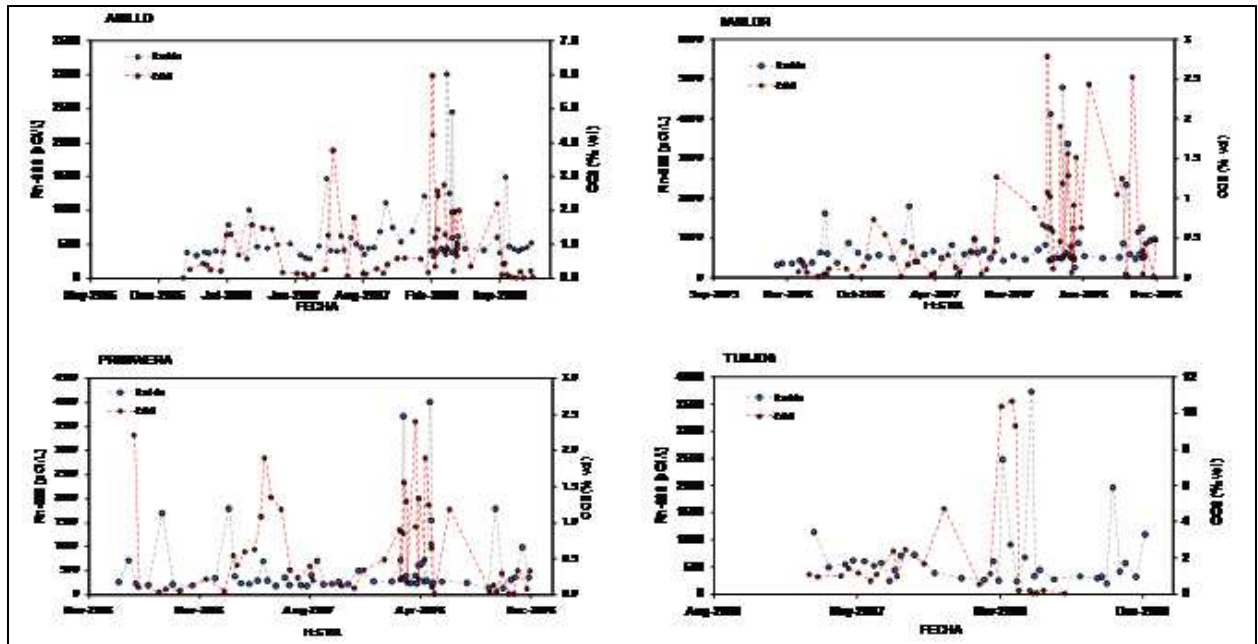


Figura 1.33. Emisiones de gas radón y CO<sub>2</sub>, VCM II semestre de 2008.

#### 1.5.2.2 Fuentes Termales

Se realizó monitoreo durante los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre a las fuentes termales (FT): La Piscina o Aguas calientes, Estatuas y Puente Tierra.

##### FT Puente Tierra

El muestreo y análisis de las aguas de la fuente termal Puente Tierra no se realizaba desde el año 2002. En el II semestre del 2008 se logró realizar el muestreo solamente en Septiembre, ya que el acceso a la zona se dificultó por la fuerte oleada invernal. Los datos parciales registrados de las medidas in situ no muestran variaciones significativas de acuerdo a mediciones de años anteriores, se mantiene un pH promedio de 7,30. La temperatura presentó un incremento de 4 grados pasando de 58 a 62°C. La conductividad se mantiene en 2,32 mS/cm.

##### FT La Piscina y Estatuas

En las figuras 1.34 y 1.35 se aprecian los parámetros fisicoquímicos de las FT Piscina y Estatuas, los cuales se caracterizaron por no presentar cambios significativos.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

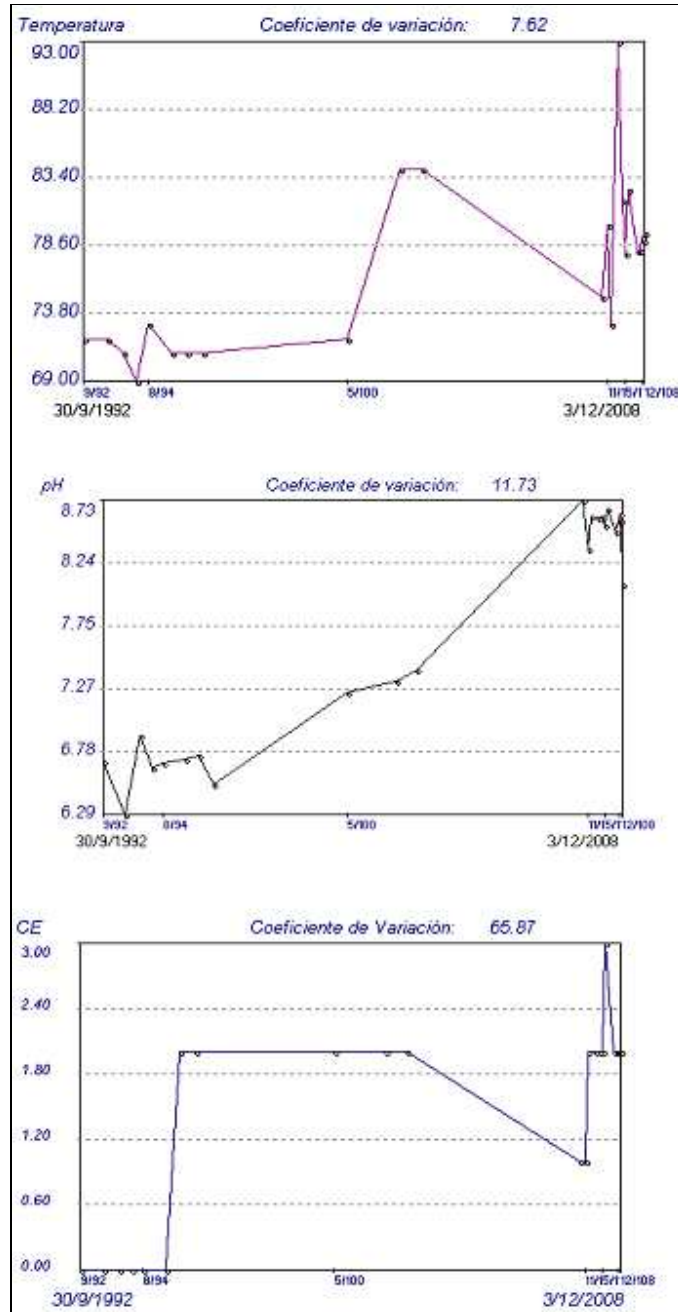


Figura 1.34. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Piscina, VCM II Semestre de 2008.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

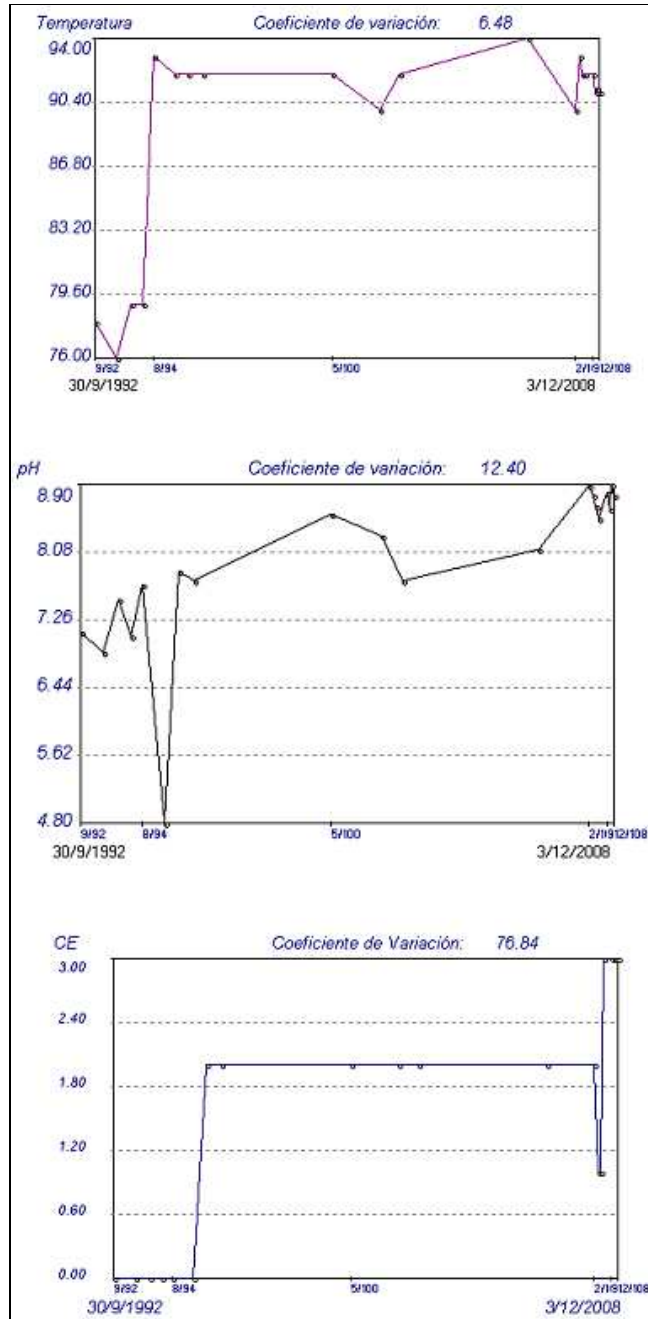


Figura 1.35. Variación de los parámetros fisicoquímicos de la FT Estatuas, VCM II semestre de 2008.

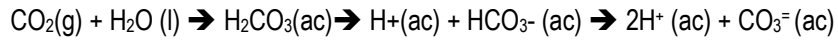
En las figuras 1.36 y 1.37 se aprecian los cambios ocurrientes en las concentraciones de aniones (Cloruros y Sulfatos) en las fuentes termales Piscina y Estatuas, lo cual podría indicar alteraciones en el sistema hidrotermal y/o en la cámara magmática del VCM, además durante el muestreo en Septiembre y Octubre se ha detectado presencia de  $\text{CO}_3^{2-}$ ; éstos iones están determinados por la presión parcial del dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  en el fluido profundo, lo



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

que hace que se produzca un proceso de condensación cuando éste entra en contacto con el agua. La siguiente reacción se presenta cuando ocurre el fenómeno anterior:



Cuando existe exceso de  $\text{CO}_2$  este puede condensarse y llegar a los fluidos hidrotermales alterando de esta manera la composición del agua.

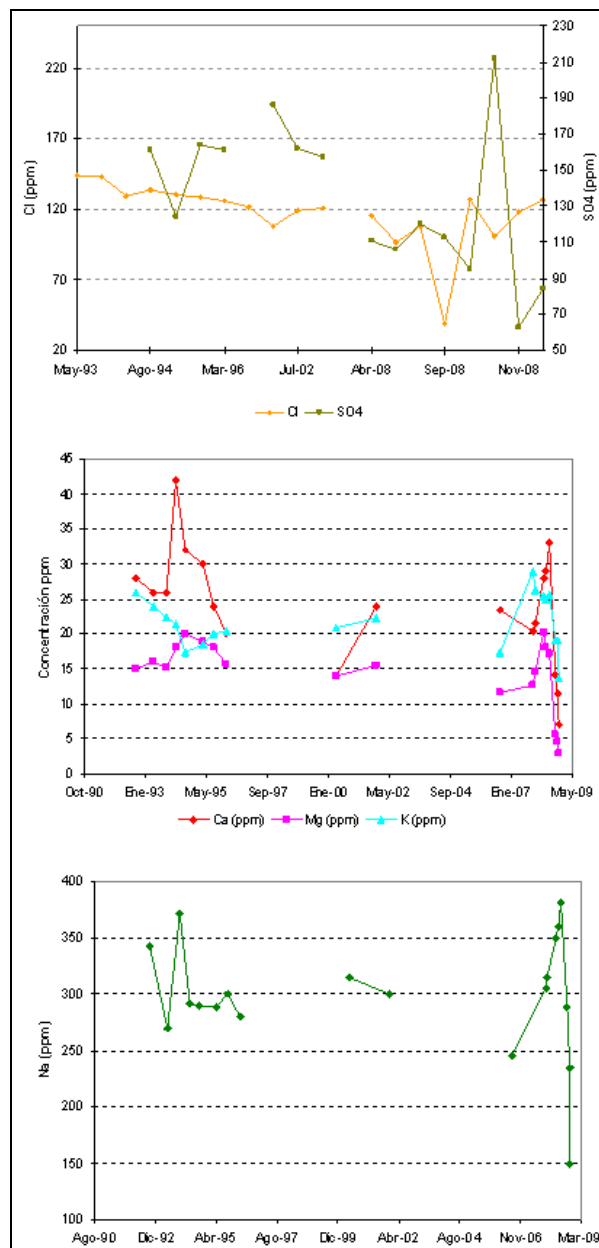


Figura 1.36. Variación de iones mayoritarios en la FT Piscina, VCM II semestre de 2008.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

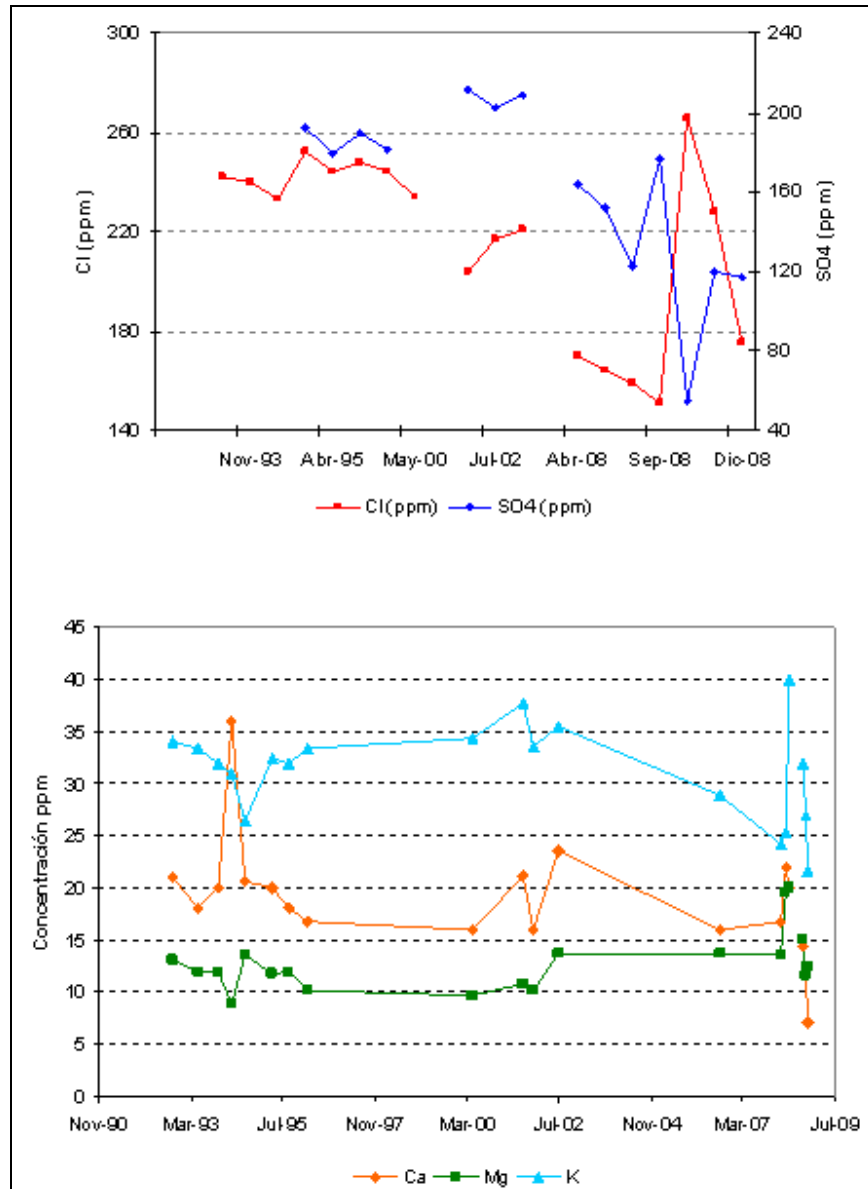


Figura 1.37. Variación de iones mayoritarios en la FT Estatuas, VCM II Semestre de 2008.

Otro aspecto a resaltar es que durante Octubre y Noviembre apareció una mancha blanca, cerca a la fuente termal La Piscina (Figura 1.38), lo cual puede indicar presencia de carbonatos. Es importante resaltar que la presencia de este tipo de manchas ha precedido actividad eruptiva importante en los volcanes Nevado del Ruiz en Colombia y en el Volcán Arenal en Costa Rica.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**



Figura 1.38. Fotografía de la mancha blanca emanada en cercanías de la FT La Piscina, VCM II semestre de 2008.

### 1.5.2.3 Gases Volcánicos

Durante Octubre y Diciembre de 2008 se realizó muestreo de gases directo en la fumarola La Mancha utilizando Botellas de Giggenbach, obteniendo 2 datos para los diferentes parámetros. En la tabla 2 se presentan los resultados parciales en las concentraciones de H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> y HCl, los cuales se compararon con los datos recolectados en 1992 y 2002.

mmolesCO <sub>2</sub>			mmolesH <sub>2</sub> S			mmolesHCl		
Jul/02	Oct/08	Dic/08	Jul/02	Oct/08	Dic/08	Jul/02	Oct/08	Dic/08
88,94	112,75	153,24	0,05	1,17	1,24	0,00	0,21	1,14

Tabla 2. Resultados parciales de gases en botellas de Giggenbach, VCM II semestre de 2008.

En la composición química de los gases fumarólicos del VCM se aprecia un incremento en las concentraciones de los gases condensables respecto a la línea base que se tenía desde la última medida en el 2002. Cabe destacar que se detectó presencia de HCl, compuesto que no se había detectado en la composición general de gases en las mediciones realizadas en el lapso 1992 – 2002. Es importante sugerir que se debe realizar un muestreo periódico para tener una línea base actualizada y poder establecer el comportamiento de la composición de los gases con el tiempo y su ocurrencia debida a la actividad volcánica.

### 1.5.2.4 Monitoreo de Temperatura en el Campo Fumarólico

En el domo principal del VCM se empezó a realizar un trabajo de evaluación de la temperatura de los focos fumarólicos. Se instaló una red de monitoreo para establecer las líneas de cambio con el tiempo. La figura 1.39 muestra el mapa de isotermas, en donde se aprecia los mayores valores de temperatura hacia el norte del campo fumarólico que son superiores a los valores de la fumarola principal.





## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL



Figura 1.39. Mapa de isotermas en el campo fumarólico principal del VCM. Los círculos rellenos representan los sitios donde se realizaron las mediciones. Los contornos representan valores de iso temperatura. La flecha representa el norte.

### 1.5.3 DEFORMACIÓN

#### 1.5.3.1 Red de Deformación

La red de deformación del VCM (Septiembre de 2008) 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



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

EDM denominadas: San Lorenzo y Lajas (no ocupada aún); y 8 reflectores EDM denominados: El Rodeo, Brisas, El Porvenir, La Palma, Primavera, Aguacaliente Alto, Aguacaliente Bajo y Cielo Roto (Figura 1.40, Tablas 3 y 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.

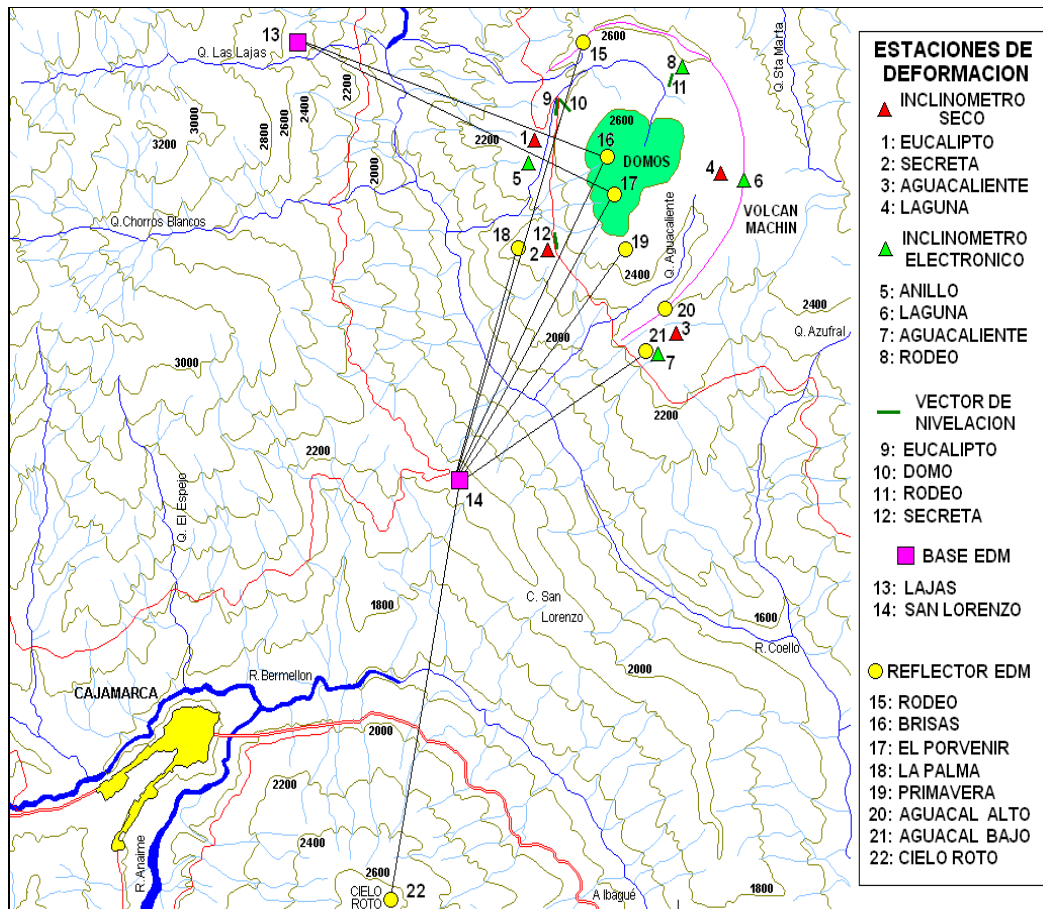


Figura 1.40. Red de deformación (Septiembre de 2008) mostrando la distribución de inclinómetros secos (triángulos rojos), vectores de nivelación (líneas verdes), bases EDM (cuadros magenta) y reflectores EDM (círculos amarillos), VCM II semestre de 2008.



**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, VCM II semestre de 2008.

ESTACION	REGISTRO	
	DESDE	HASTA
I. ELEC. ANILLO	25 de Abril de 2008	31 de Diciembre de 2008
I. ELEC. LA LAGUNA	10 de Junio de 2008	31 de Diciembre de 2008
I. ELEC. AGUACALIENTE	10 de Junio de 2008	31 de Diciembre de 2008
I. ELEC. EL RODEO	5 de Septiembre de 2008	31 de Diciembre de 2008
	OCUPACIONES	FECHA
I. SECO AGUACALIENTE	3	Enero, Abril, Septiembre
I. SECO LAGUNA	3	Enero, Abril, Septiembre
I. SECO LA SECRETA	4	Enero, Febrero, Abril, Septiembre
I. SECO EUCALIPTO	4	Enero, Febrero, Abril, Septiembre
V. EL RODEO	3	Enero, Mayo, Septiembre
V. DOMO	2	Febrero, Septiembre
V. EUCALIPTO	4	Enero, Febrero, Abril, Septiembre
V. LA SECRETA	4	Enero, Febrero, Abril, Septiembre
B. EDM SAN LORENZO	10	5 Marzo, 2 Abril, 2 Septiembre, 1 Octubre

Tabla 4. Ocupaciones realizadas en la red de deformación, VCM II semestre de 2008.



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

#### 1.5.3.2 Comportamiento Inclínómetros Secos

##### Incliseco Aguacaliente

El incliseco Aguacaliente fue materializado en 1987 sobre el anillo piroclástico del VCM. El comportamiento observado desde 1987 hasta el 2005 estuvo caracterizado por el registro de algunas fluctuaciones que en general marcaron una tendencia inflacionaria (Figura 1.39). Desde Enero de 2005 hasta Septiembre de 2008, la estación muestra algunas fluctuaciones con una tendencia deflacionaria, con registro de un cambio acumulado de  $-1,6$  y  $-6,2$   $\mu\text{rad}$  en las componentes Norte y Este respectivamente (Figura 1.41).

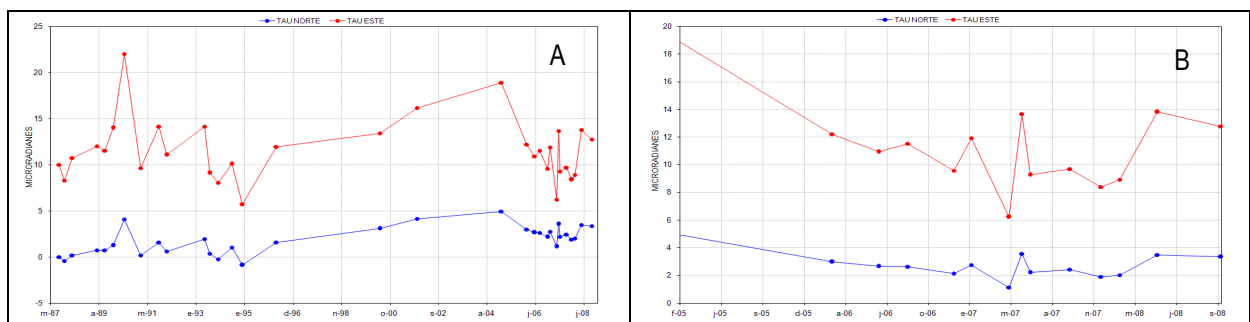


Figura 1.41. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el incliseco Aguacaliente, VCM. A: 1987 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.

##### Incliseco Eucalipto

El comportamiento de esta estación se ha caracterizado por presentar algunas fluctuaciones, manteniendo una tendencia inflacionaria en la componente Norte con registro de un cambio acumulado de  $12$   $\mu\text{rad}$  desde 1987 hasta el 2004. Para este mismo periodo, la componente Este no presentó cambios y mantuvo estabilidad (Figura 1.42). A partir de 2005 hasta Septiembre de 2008 la componente Este viene mostrando una clara tendencia inflacionaria registrando un cambio acumulado  $7,3$   $\mu\text{rad}$ , mientras que la componente Norte presenta fluctuaciones y mantiene estabilidad (Figura 1.40).

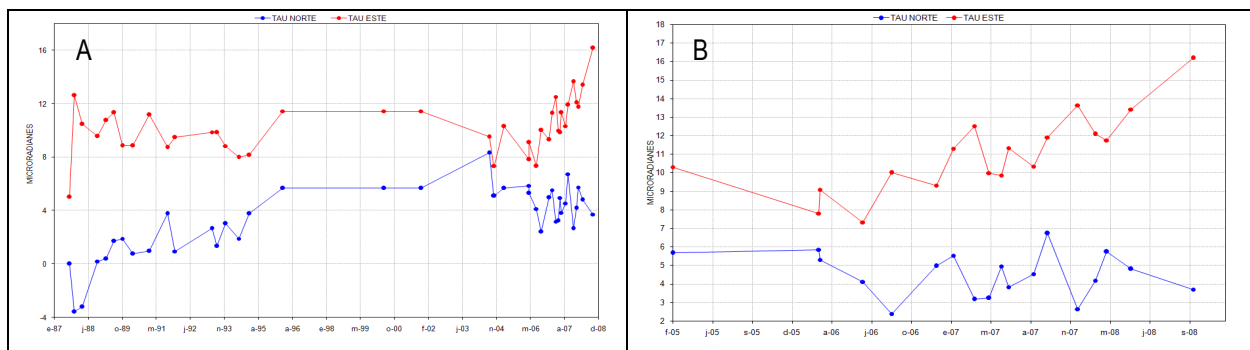


Figura 1.42. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el incliseco Eucalipto, VCM. A: 1987 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

#### Incliseco La Secreta

El comportamiento registrado en esta estación se ha caracterizado por presentar desde el inicio de las mediciones en 1987 hasta Septiembre de 2008, un claro y constante comportamiento deflacionario, registrando cambios acumulados de -242 y -474  $\mu\text{rad}$  en las componentes Norte y Este respectivamente (Figura 1.43).

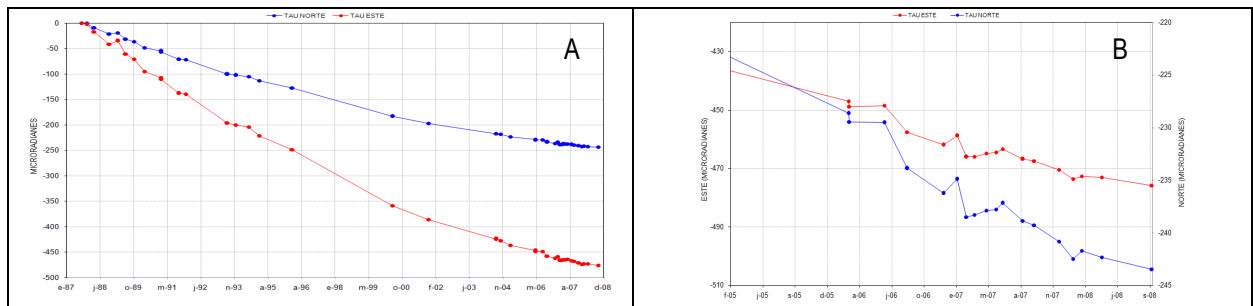


Figura 1.43. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinómetro seco La Secreta, VCM. A: 1987 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.

A partir de 2005 la actividad sísmica del VCM aumentó significativamente y algunas estaciones de deformación cambiaron su comportamiento, a excepción del incliseco La Secreta que ha mantenido la misma tendencia deflacionaria que la ha caracterizado, registrando desde el 2005 hasta Septiembre de 2008, cambios acumulados de -20  $\mu\text{rad}$  y -39  $\mu\text{rad}$  en sus componentes N y E respectivamente (Figura 1.41).

#### Incliseco La Laguna

Este inclinómetro fue materializado en 1987 en la planicie formada entre los anillos piroclásticos y los domos del VCM. El comportamiento de esta estación está caracterizado por registrar desde el inicio de las observaciones topográficas en 1987, un claro comportamiento deflacionario en sus 2 componentes, siendo más marcado en la componente Este (Figura 1.44). A partir de 2005, fecha a partir de la cual aumentó la actividad sísmica, se viene apreciando hasta Junio de 2008 una clara tendencia deflacionaria en la componente Este con registro de un cambio acumulado de -9  $\mu\text{rad}$ , a partir de esta fecha hasta Septiembre de 2008 presenta una tendencia ascendente con un cambio acumulado de 12  $\mu\text{rad}$ , mientras la componente Norte en todo este periodo mantiene estabilidad (Figura 1.44).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

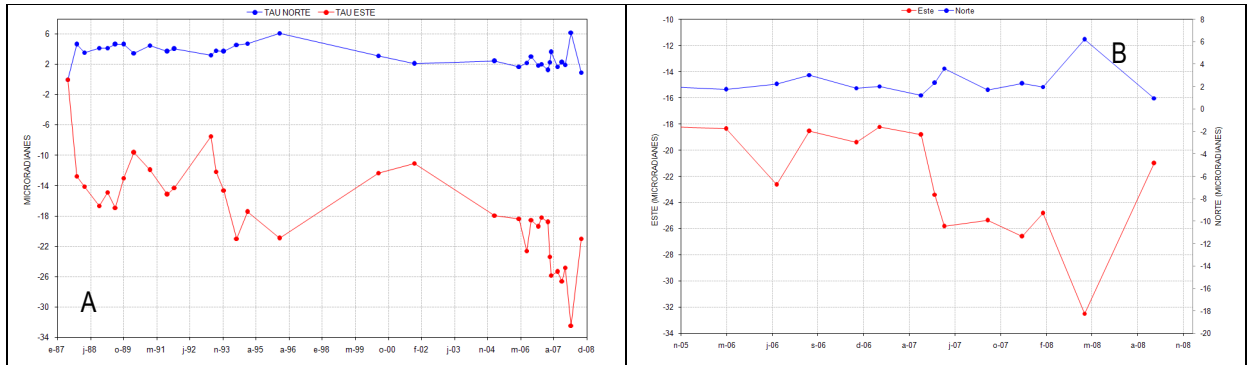


Figura 1.44. Comportamiento acumulado de las componentes Norte y Este registrado por el inclinico La Laguna, VCM. A: 1987 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.

**1.5.3.3 Comportamiento Vectores de Nivelación**

**Vector El Rodeo**

Esta 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. El comportamiento observado desde 1989 hasta 1994 se caracterizó por presentar pequeñas fluctuaciones y un claro comportamiento inflacionario (Figura 1.45). 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 Septiembre de 2008, un cambio acumulado de 6,6  $\mu$ rad (Figura 1.45).

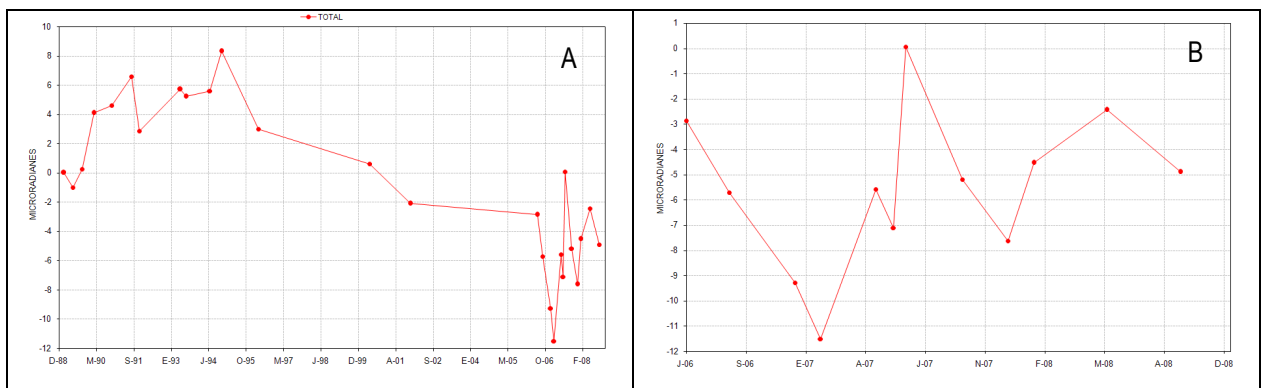


Figura 1.45. Comportamiento acumulado del vector de nivelación El Rodeo, VCM. A: 1989 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.

**Vector Domo**

La estación fue materializada en 2007 sobre el domo de lava W, posee 12 vértices que conforman 11 tramos de nivelación y se orienta radialmente hacia los domos. Esta estación presentó un comportamiento deflacionario desde las primeras observaciones hasta Julio de 2007, posteriormente el comportamiento de la estación cambio generando una tendencia inflacionaria registrando hasta Septiembre de 2008 con un cambio acumulado de 8,8  $\mu$ rad (Figura 1.46).



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

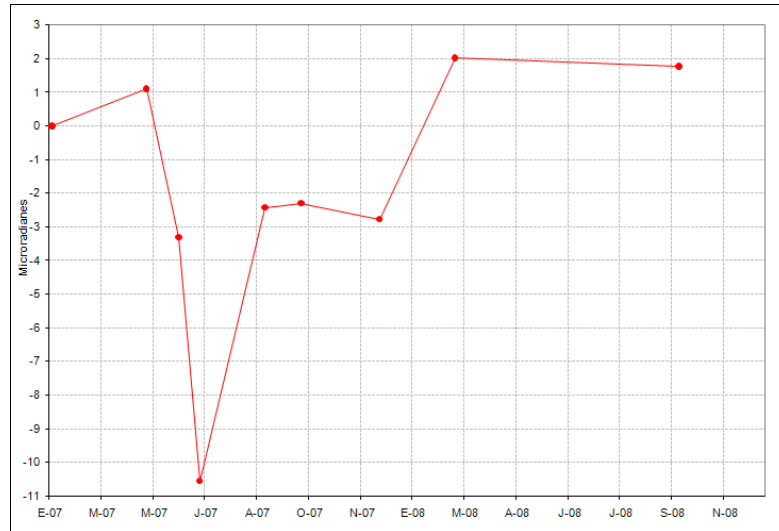


Figura 1.46. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Domo desde Enero de 2007 hasta Septiembre de 2008, VCM.

**Vector Eucalipto**

La estación fue materializada en 1989 sobre los anillos piroclásticos del volcán, posee 6 vértices que conforman 5 tramos de nivelación y se orienta tangencialmente hacia los domos. Su comportamiento se ha caracterizado por presentar desde el principio de las observaciones en 1989 una clara tendencia inflacionaria, registrando hasta la actualidad un cambio acumulado de 53,7  $\mu$ rad (Figura 1.47). Para verificar este proceso deformativo, a partir de 2006 se incrementaron las mediciones de campo y se constató el proceso deformativo de este sector del volcán, registrando hasta Septiembre de 2008 un cambio acumulado de 5,5  $\mu$ rad (Figura 1.47).

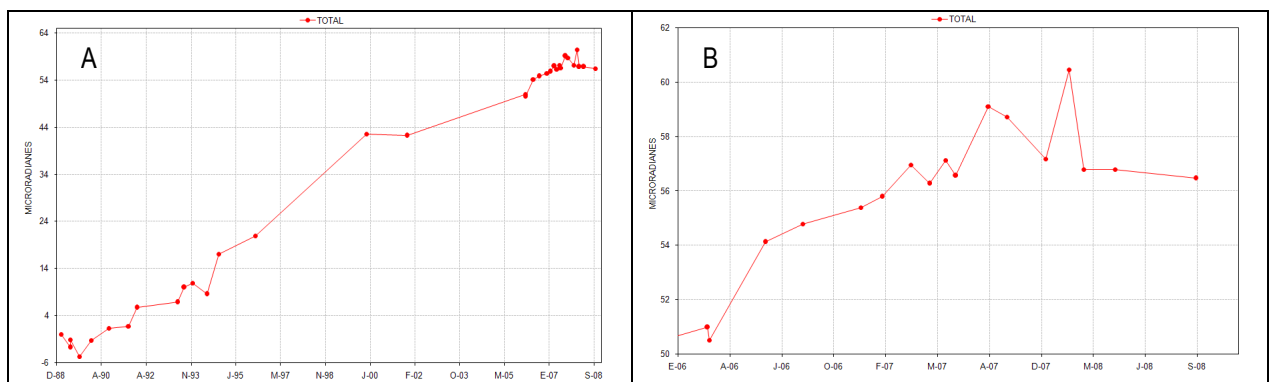


Figura 1.47. Comportamiento acumulado del vector de nivelación Eucalipto, VCM. A: 1989 hasta Septiembre de 2008. B: detalle.

**Vector La Secreta**

Esta estación fue materializada en 2005 sobre los relictos piroclásticos del volcán a un costado del incliseco La Secreta, posee 8 vértices que conforman 7 tramos de nivelación y se orienta tangencialmente hacia los domos Su comportamiento se caracterizo hasta finales 2007 por mostrar una clara tendencia deflacionaria registrando un



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

cambio acumulado de  $6,4 \mu\text{rad}$ , partir de esta fecha varia mostrando una tendencia inflacionaria con un cambio acumulado de  $2,5 \mu\text{rad}$  (Figura 1.48).

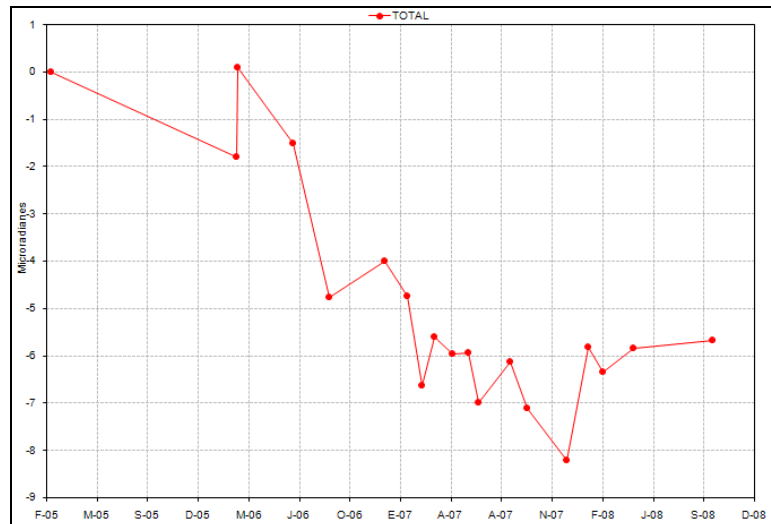


Figura 1.48. Comportamiento acumulado del vector de nivelación La Secreta desde Febrero de 2005 hasta Junio de 2008, VCM.

#### 1.5.3.4 Comportamiento Inclínómetros Electrónicos

En el VCM se tienen instalados 4 inclinómetros electrónicos, cada uno provisto de una plataforma nivelante de 2 ejes y un sensor de temperatura que funcionan de la misma forma como se operan en el VNR.

##### Inclinómetro Electrónico Anillo

Esta estación fue instalada el 25 de Abril de 2008 sobre los anillos piroclásticos del volcán con el objeto de verificar el proceso deflacionario del flanco SW del VCM. Su comportamiento se ha caracterizado por registrar desde el 1 de Julio hasta el 31 de Diciembre de 2008, una tendencia inflacionaria hacia el NE con registro de cambios acumulados de  $-473 \mu\text{rad}$  para la componente Norte y de  $-161.8 \mu\text{rad}$  para la componente Este (Figura 1.49). Como consecuencia del enjambre sísmico del 9 de Noviembre se presentó un cambio abrupto en las componentes Norte y Este de  $-228 \mu\text{rad}$  y  $-46.3 \mu\text{rad}$  respectivamente. Después del cambio el inclinómetro mantuvo una tendencia de estabilidad (Figura 1.49).





## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

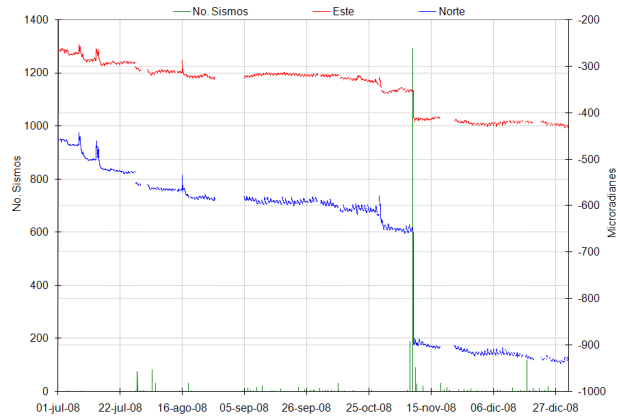


Figura 1.49. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Anillo y el No de sismos registrados en el VCM, II semestre de 2008.

#### Inclinómetro Electrónico Aguacaliente

Esta estación fue instalada el 10 de Junio de 2008 sobre el anillo piroclástico del VCM. Su comportamiento se ha caracterizado por mostrar grandes fluctuaciones, sin definir un comportamiento particular (Figura 1.50).

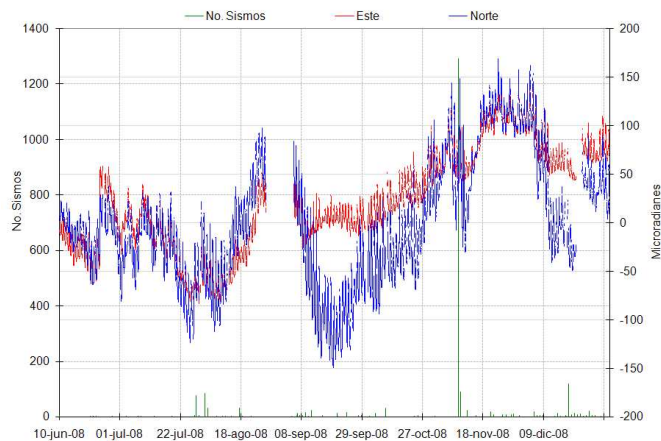


Figura 1.50. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Aguacaliente y el No de sismos registrados en el VCM, II semestre de 2008.

#### Inclinómetro Electrónico Laguna

Esta estación fue instalada el 10 de Junio de 2008 en la planicie formada entre los anillos piroclásticos y los domos del VCM. Su comportamiento se ha caracterizado por mostrar pequeñas fluctuaciones y una clara tendencia de estabilidad (Figura 1.51). Como consecuencia del enjambre sísmico del 9 de Noviembre se presentó un cambio abrupto en las componentes Norte y Este de  $-45 \mu\text{rad}$  y  $-90 \mu\text{rad}$  respectivamente. Después del cambio el inclinómetro retornó al nivel anterior y mantuvo la tendencia de estabilidad (Figura 1.51).



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

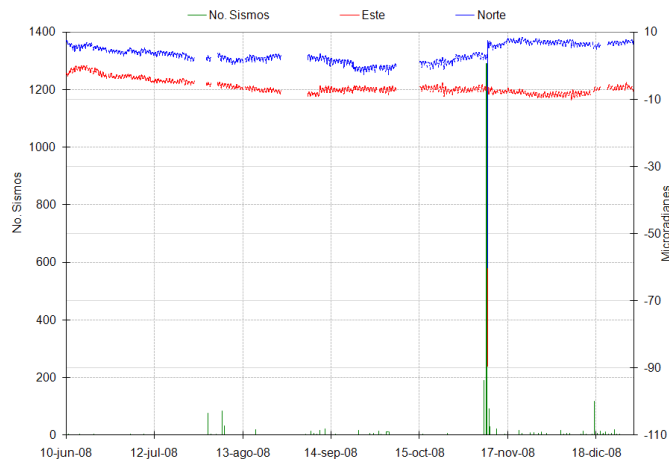


Figura 1.51. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico Laguna y el No de sismos registrados en el VCM, II semestre de 2008.

#### Inclinómetro Electrónico Rodeo

Esta estación fue instalada el 5 de Septiembre de 2008. Este inclinómetro mostró grandes fluctuaciones principalmente en la componente Norte. En general se aprecia un comportamiento deflacionario en las 2 componentes. Como consecuencia del enjambre sísmico del 9 de Noviembre se presentó un cambio abrupto en las componentes Norte y Este de  $-309,22 \mu\text{rad}$  y  $-296,14 \mu\text{rad}$  respectivamente. Después del cambio el inclinómetro mantuvo la tendencia de estabilidad (Figura 1.52).

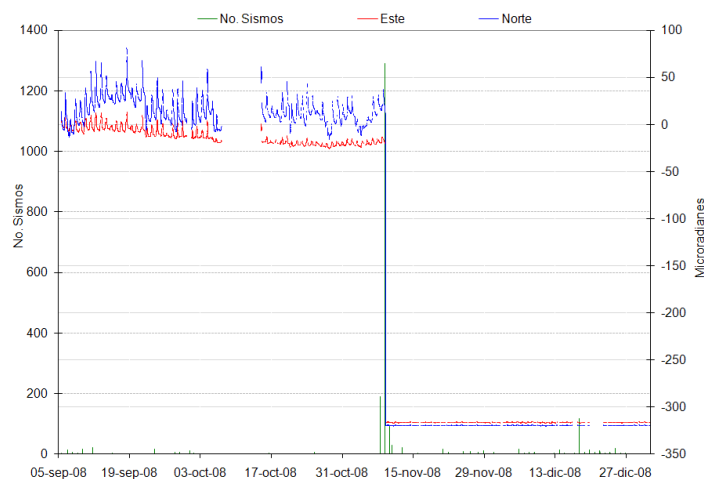


Figura 1.52. Comportamiento de las componentes Norte y Este del inclinómetro electrónico El Rodeo y el No de sismos registrados en el VCM, II semestre de 2008.

#### 1.5.3.5 Comportamiento Líneas EDM

En Febrero de 2008 se inició la implementación de la red EDM del VCM, recuperando la base EDM "Las Lajas" y construyendo la base "San Lorenzo", e instalando los reflectores Brisas y El Porvenir sobre los domos del VCM y el reflector Cielo Roto en el cerro del mismo nombre para control de la base San Lorenzo. En Septiembre se instalaron



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

los reflectores Rodeo, La Palma, Porvenir, Primavera, Aguascalientes Alto y Aguascalientes Bajo. Las mediciones realizadas muestran estabilidad para las líneas Brisas y Cielo Roto, mientras que las demás muestran algunos cambios asociados al proceso de estabilización de los reflectores (Figura 1.53).

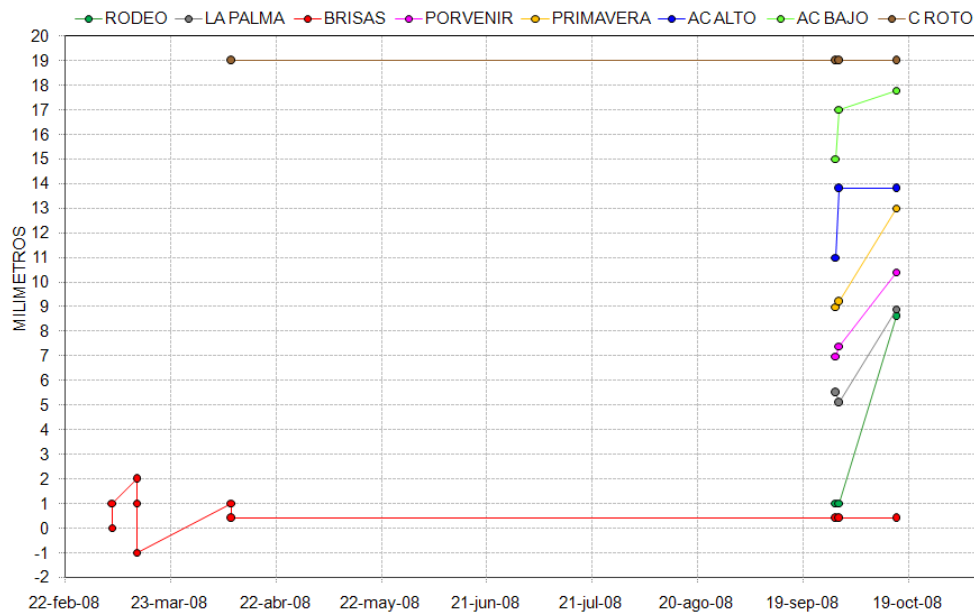


Figura 1.53. Comportamiento de la línea EDM del VCM, II semestre de 2008.

## 1.6 VOLCÁN CERRO BRAVO (VCB)

### 1.6.1 SISMOLOGÍA

El volcán Cerro Bravo (VCB) durante el II semestre de 2008 presentó un nivel bajo de actividad sísmica, excepto en el mes de Diciembre. Se registraron durante el semestre un total de 78 señales sísmicas de las cuales solo una estuvo relacionada con fracturamiento de roca (Tipo VT), y 77 a tránsito de gases y fluidos (Tipo LP), eventos que se registraron entre las 8:25 am y las 11:00 am (hora local) del día 30 de diciembre, y de las que se reportó como sentida en las partes altas de los edificios en la ciudad de Manizales, por lo menos una. La máxima magnitud local registrada durante esta actividad fue de 2.3. Este tipo de señales sísmicas no se habían registrado antes durante todo el periodo de vigilancia instrumental en este volcán, la figura 1.54 muestra el registro de la señal sísmica en varias estaciones y su respectivo espectro de frecuencias.

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**

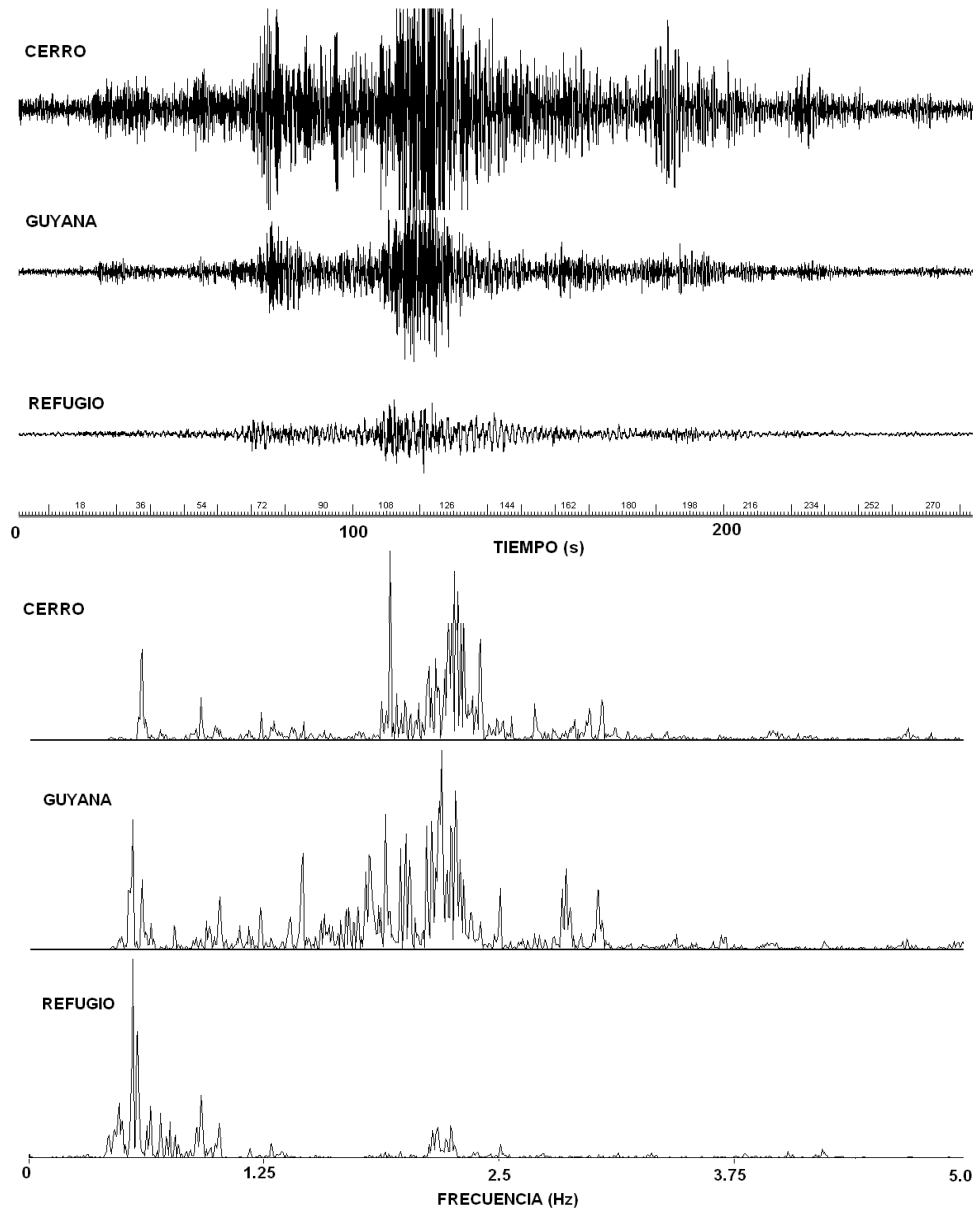


Figura 1.54 Ejemplo de señal sísmica (arriba) y su espectro (abajo) registrada el 30 de diciembre de 2008 en el VCB. Nótese los mismos picos espectrales en varias estaciones.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

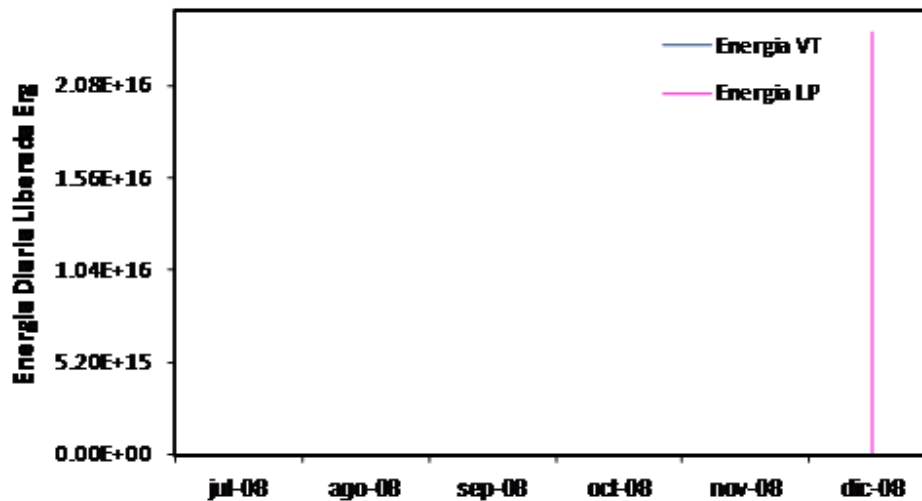


Figura 1.55. Energía liberada en el VCB. II semestre 2008

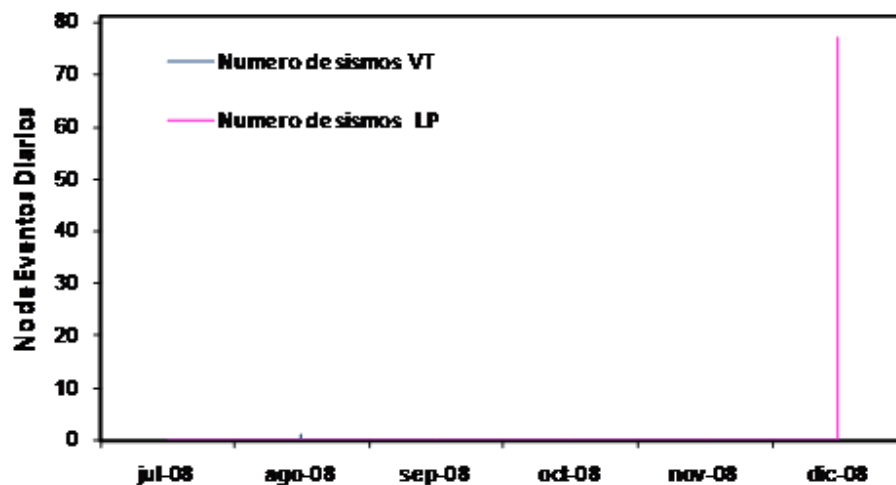


Figura 1.56. Número de sismos diarios VCB, II semestre de 2008

### 1.6.2 GEOQUÍMICA.

Durante el II semestre de 2008 se realizaron cinco mediciones de emisiones de gas radón y CO<sub>2</sub> en suelo en el VCB. En las 2 estaciones instaladas, se detectaron incrementos en los niveles de radón en Julio. Posteriormente se detectó un incremento importante en la emisión de CO<sub>2</sub>, en la estación CERRO BRAVO-1, hasta del día 15 de Diciembre, alcanzando valores altos sostenidos. Posterior a este incremento en CO<sub>2</sub>, se presentó un aumento importante en la sismicidad tipo LP en el VCB el día 30 de Diciembre, lo que podría estar asociado con los altos valores anteriores de CO<sub>2</sub>. La Figura 1.57 presenta los resultados.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

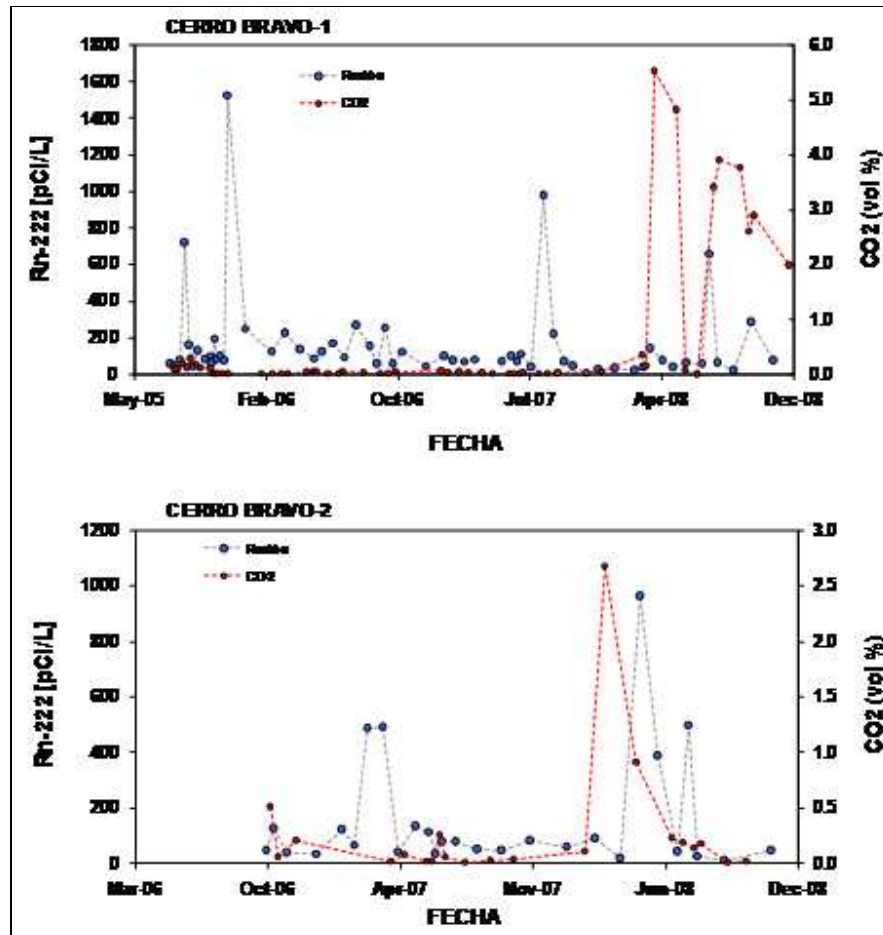


Figura 1.57. Emisiones de gas radón y CO<sub>2</sub> en suelo en el VCM, II semestre de 2008. Nótese el incremento notorio en el CO<sub>2</sub> antes del 15 de Diciembre en la estación CERRO BRAVO-1. El día 30 de Diciembre se presentó un aumento en la sismicidad tipo LP posiblemente relacionado con el incremento anterior de CO<sub>2</sub>.

## 1.7 VOLCÁN PARAMILLO DE SANTA ROSA (VCB)

### 1.7.1 GEOQUIMICA

Desde Agosto a Diciembre de 2008 se inició el monitoreo de las fuentes termales aledañas al Paramillo de Santa Rosa, para ello se contó con la colaboración de los administradores de los balnearios en donde están ubicadas las aguas termales. En el balneario San Vicente se inventariaron y monitorearon 9 fuentes termales, en el balneario de Santa Rosa 4 fuentes termales y en el balneario Santa Elena 5 nacimientos termales. A continuación se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos medidos in situ y de acuerdo a los análisis de composición química se estableció su clasificación general. Durante los meses de monitoreo de las fuentes termales no se mostraron variaciones en la fisicoquímica de sus aguas, a pesar del régimen de lluvia que se presentó en el II semestre del año, lo cual la mayoría de las veces modifica su composición en sales.



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**1.7.1.1 Fuentes Termales Balneario San Vicente**

**San Vicente P1**



<b>Temperatura</b>	<b>44° C</b>
<b>pH</b>	<b>6.63</b>
<b>Conductividad</b>	<b>1.3 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada</b>

**San Vicente P2**



<b>Temperatura</b>	<b>44.5° C</b>
<b>pH</b>	<b>6.93</b>
<b>Conductividad</b>	<b>1.74 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada</b>

**San Vicente P4**



<b>Temperatura</b>	<b>59° C</b>
<b>pH</b>	<b>7.45</b>
<b>Conductividad</b>	<b>3.63 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada sódica</b>



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**San Vicente P5**



<b>Temperatura</b>	<b>84.5°C</b>
<b>pH</b>	<b>7.16</b>
<b>Conductividad</b>	<b>3.67 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada sódica</b>

**San Vicente P7**



<b>Temperatura</b>	<b>88°C</b>
<b>pH</b>	<b>7.31</b>
<b>Conductividad</b>	<b>3.64 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada sódica</b>

**San Vicente P8**



<b>Temperatura</b>	<b>83.1°C</b>
<b>pH</b>	<b>7.30</b>
<b>Conductividad</b>	<b>3.87/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada sódica</b>





**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**San Vicente P9**



Temperatura	83.4°C
pH	7.0
Conductividad	4.3 mS/cm
Clasificación General	Agua neutra clorurada sódica

**San Vicente P10**



<b>Temperatura</b>	<b>77.2°C</b>
<b>pH</b>	<b>7.06</b>
<b>Conductividad</b>	<b>4.01 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada sódica</b>

**San Vicente P11**



<b>Temperatura</b>	<b>65.1°C</b>
<b>pH</b>	<b>6.75</b>
<b>Conductividad</b>	<b>3.64 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada</b>



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**1.7.1.2 Fuentes Termales Balneario de Santa Rosa**

**Pozo del Amor**



<b>Temperatura</b>	<b>56°C</b>
<b>pH</b>	<b>6.77</b>
<b>Conductividad</b>	<b>3.51 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada</b>

**La Cueva**



<b>Temperatura</b>	<b>56°C</b>
<b>pH</b>	<b>7.01</b>
<b>Conductividad</b>	<b>2.69 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada</b>

**El Caldero del Diablo**



<b>Temperatura</b>	<b>58.1°C</b>
<b>pH</b>	<b>6.44</b>
<b>Conductividad</b>	<b>2.62 mS/cm</b>
<b>Clasificación General</b>	<b>Agua neutra clorurada</b>



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**Los Helechos**



Temperatura	57.3°C
pH	6.21
Conductividad	2.32 mS/cm
Clasificación General	Agua neutra clorurada sódica

**1.7.1.3 Fuentes Termales Balneario Santa Elena**

**Santa Elena P1**



Temperatura	63.8°C
pH	7.05
Conductividad	2.9 mS/cm
Clasificación General	Agua neutra clorurada

**Santa Elena P2**



Temperatura	56.3°C
pH	7.30
Conductividad	3.02 mS/cm
Clasificación General	Agua neutra clorurada



**INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA  
INGEOMINAS**

**SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL**

**Santa Elena P3**



Temperatura	54.2°C
pH	6.73
Conductividad	2.61 mS/cm
Clasificación General	Agua neutra clorurada

**Santa Elena P4**



Temperatura	62.9°C
pH	6.75
Conductividad	3.05 mS/cm
Clasificación General	Agua neutra clorurada sódica

**Santa Elena P5**



Temperatura	64.5°C
pH	6.64
Conductividad	2.74 mS/cm
Clasificación General	Agua neutra clorurada sódica



**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 II semestre de 2008 se registraron 812 sismos de carácter local de los que se pudieron localizar 336, 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 1.58 presenta un mapa con la localización hipocentral de los sismos localizados.

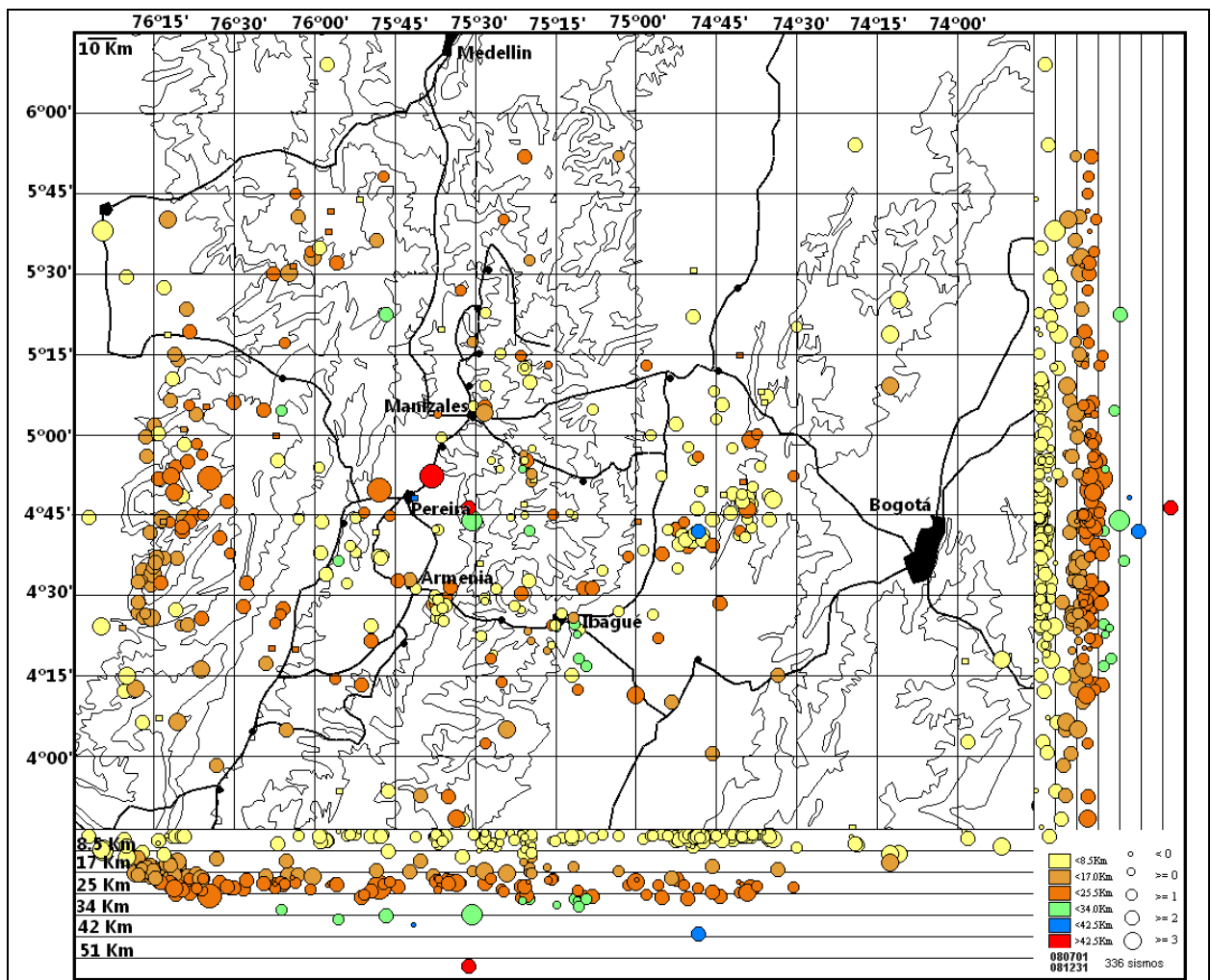


Figura 1.58. Localización hipocentral de sismos tectónicos locales en la región central de Colombia, durante el II semestre de 2008



## INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS

### SUBDIRECCION DE AMENAZAS GEOLOGICAS Y ENTORNO AMBIENTAL

#### 1.8.2 GEOQUIMICA

Durante el II semestre de 2008, se realizaron 10 mediciones de radón y CO<sub>2</sub> en suelo en la red geoquímica del Eje Cafetero. Se detectaron cambios en los niveles de CO<sub>2</sub> y posteriormente cambios en radón en varias estaciones, lo que podría estar indicando que la génesis de estos gases sea un mecanismo de difusión, producido en las zonas de fallas (Figura 1.59).

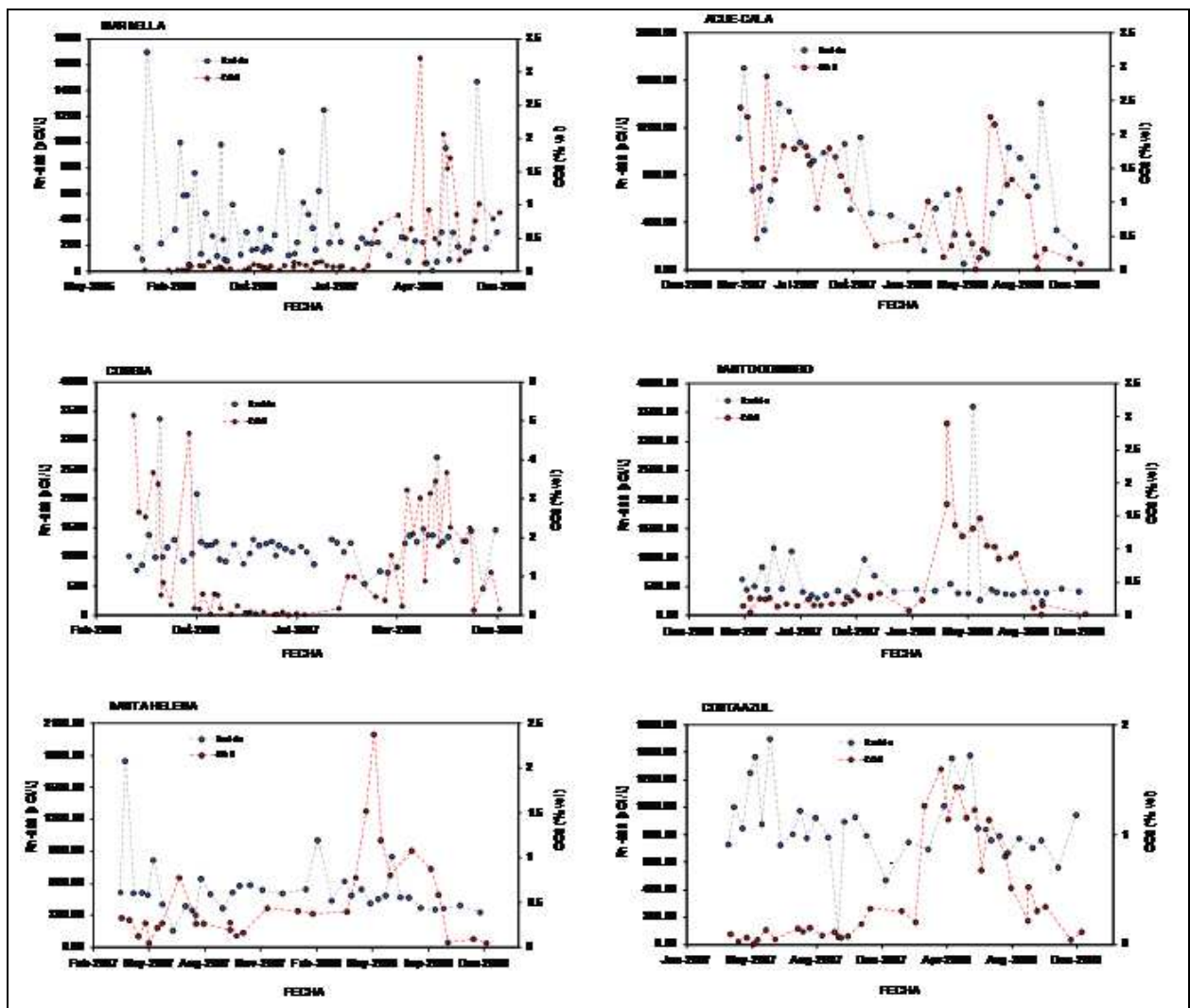


Figura 1.59. Emisiones de gas radón y CO<sub>2</sub> en el Eje Cafetero, II semestre de 2008.



**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 II semestre de 2008, se mantuvo, en términos generales, en niveles estables y bajos, excepto el VCM, que presentó continuos incrementos de actividad y enjambres, dentro de los que se destaca la actividad presentada durante el mes de Noviembre, la cual se convierte en la más energética desde el inicio de su monitoreo en el año de 1989.

Es igualmente destacable la actividad sísmica de baja frecuencia registrada por el VCB el día 30 de Diciembre, la cual no se había presentado antes en el periodo de vigilancia instrumental de dicho volcán; sin embargo, después de este incremento la actividad sísmica regresó a niveles normales.

La sismicidad regional de la parte central de Colombia, permaneció estable, generando sismos en algunas de las fuentes sismogénicas activas de la zona.

Las fuentes termales del CVCMCB presentaron variaciones tanto en sus parámetros fisicoquímicos como en su composición química durante el II semestre de 2008. Estos cambios periódicos se observan a menudo como respuesta a las precipitaciones que se presenten, la radiación solar y el aspecto más importante, a la evolución del sistema volcánico, por ello tanto en el VNR como en el VCM se han presentado variaciones en los contenidos de iones mayoritarios como cloruros, sulfatos y carbonatos, las cuales se presentan cuando hay desequilibrio durante la circulación o movimiento de fluidos desde el interior del volcán o las condiciones cambiantes en el sistema hidrotermal.

Las variaciones tanto en emisiones de radón y CO<sub>2</sub> en suelo, que se presentaron en los meses de Septiembre y Octubre en el VCM, pueden atribuirse a la actividad volcánica, la cual posteriormente mostró cambios igualmente en la sismicidad. Por otra parte, el VCB presentó un cambio importante en las emisiones de CO<sub>2</sub> en suelo durante el II semestre de 2008, coincidente con un incremento notorio posterior en la actividad sísmica relacionada con el movimiento de fluidos.

En cuanto a la deformación CVCMCB se puede decir que la mayoría de las estaciones del VCM muestran estabilidad a excepción de algunas estaciones que muestran cambios importantes. Los inclinómetros electrónicos registraron una deformación cosísmica como consecuencia del enjambre del 9 de Noviembre de 2008. En cuanto a los inclinómetros electrónicos del VNR muestran un posible proceso inflacionario del sector Norte del volcán.

Es importante resaltar que durante el II semestre de 2008 se continuó con el proceso de implementación de la red EDM de los volcanes del CVCMCB.