

MONITOREO	SANTA ANA	SAN SALVADOR	SAN MIGUEL	SAN VICENTE	IZALCO	ILOPANGO	PARÁMETROS QUE SE MONITOREAN
SISMICO							Amplitudes sísmicas (RSAM), número y tipo de sismos
HIDROGEOQUÍMICO							T° C, Ph, Cloruros, Sulfatos, entre otros componentes
TERMOGRAFICO							Temperatura en cráteres
VISUAL							Ruidos, derrumbes, grietas, subsidencia, niveles de la laguna, etc.

Tabla 1: Técnicas utilizadas para el monitoreo de los volcanes

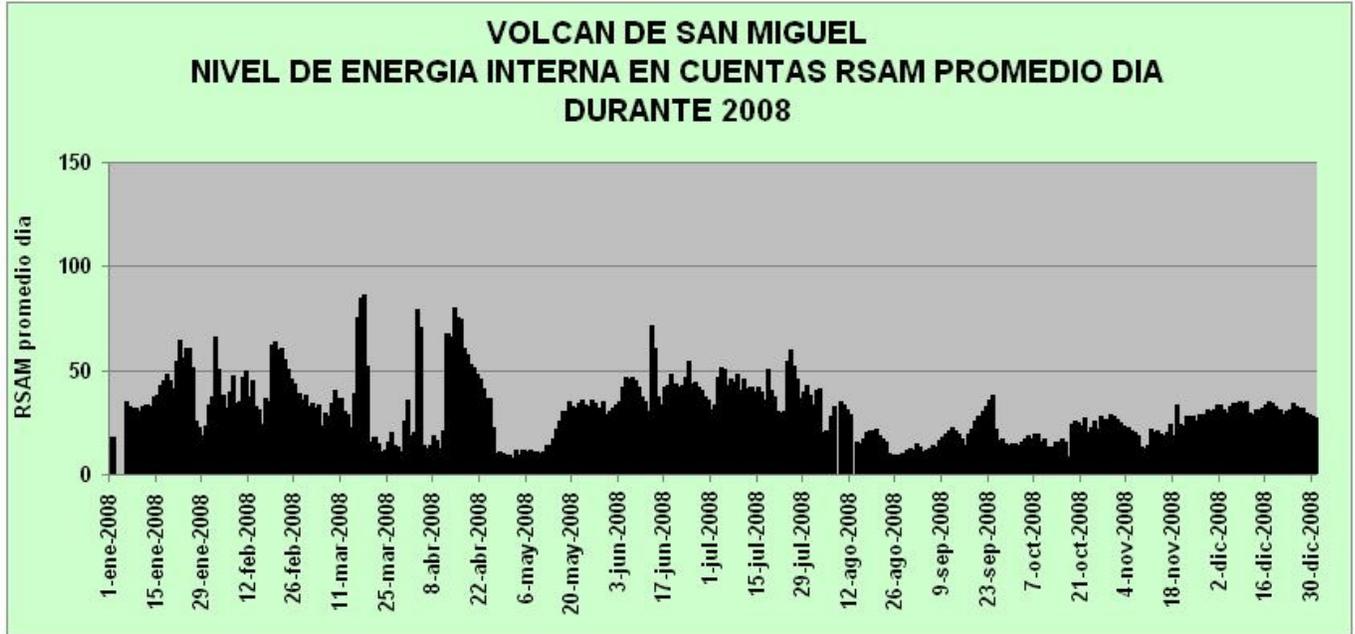
COMPORTEAMIENTO DEL VOLCAN DE SAN MIGUEL

El rasgo más característico de la actividad del Volcán de San Miguel que lo hace diferente a otros, además de su geometría, perfecta forma cónica y actividad fumarolita es la intensa microsismicidad que posee. La actividad sísmica de este volcán es medida con cuatro estaciones sísmicas ubicadas en sitios estratégicos, la más cercana (VSM) se ubica a 1.1 Km. al norte del cráter.

Sismicidad

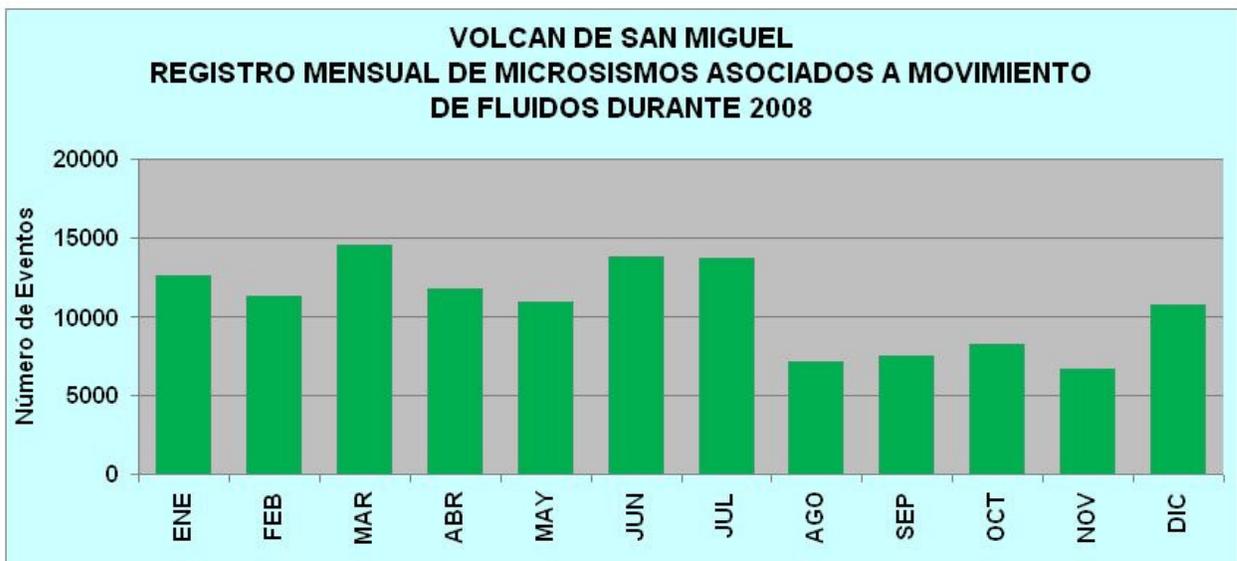
En los primeros meses del año 2008, la energía sísmica del volcán medida en unidades RSAM, experimentó pequeños cambios. Superando el nivel normal en repetidas ocasiones. Se ha establecido que la línea base de RSAM para este volcán fluctúa entre 15 y 50 unidades. Valores de energía superiores a lo normal se registraron en los primeros siete meses del año, alcanzando valores de hasta 85 unidades RSAM. A partir de Agosto, la sismicidad del volcán regreso a niveles normales.

En la gráfica 1 se observan los meses y días en los cuales la energía del volcán superó la línea base normal de 50 cuentas RSAM.



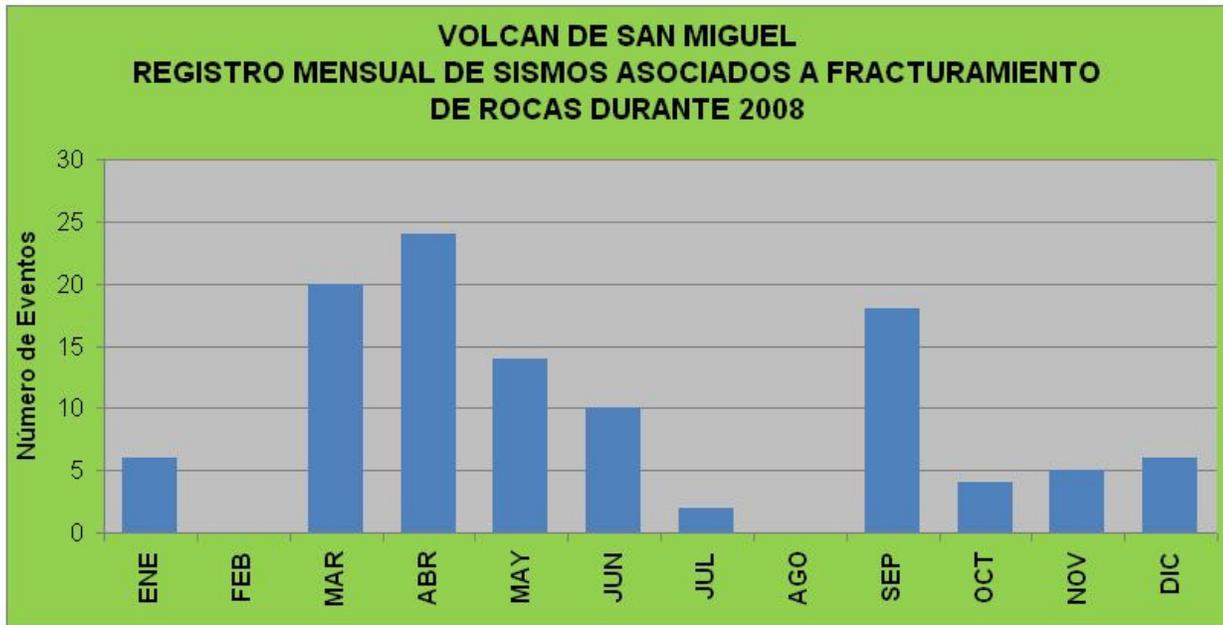
Gráfica 1. Los valores arriba de 50 unidades RSAM superan moderadamente la línea base normal de la energía sísmica del volcán. Cabe señalar que a partir de Agosto la actividad volcánica se normaliza, alcanzando valores de energía relativamente bajos.

La estación sísmica VSM registró durante el año un total de 128,682 microsismos asociados con dinámica y presión interna de gases. Promediando 357 eventos por día (Gráfica 2).



Gráfica 2. El número de microsismos asociados a movimiento de fluidos y presión interna de gases se redujo aproximadamente a la mitad, a partir de Agosto.

Relativo a sismos con características de ser originados por fractura de medios sólidos dentro del volcán (Figura 3), se registraron 109 eventos. Es decir, 9.70 % menos que los registrados en 2007.



Gráfica 3. El número de microsismos asociados a fracturamiento de rocas no supero la línea base de 25 eventos por mes. De hecho, en los meses de Marzo, Abril y Septiembre se reporto un mayor número de este tipo de sismos en comparación a otros meses. Sin embargo, la ocurrencia de este tipo de sismos se redujo en 70.70 %, con respecto a los registrados en 2007.

Fumarolas y Fracturas

Otro aspecto interesante de la actividad del volcán de San Miguel es la presencia de un cráter con rocas hidrotermalizadas y su campo fumarólico (Foto 1 y 2). Se observa emisión continua de vapor y gases azufrosos en forma de exhalaciones con ruido leve a moderado parecido a turbina de avión jet. La temperatura de las fumarolas se mantuvo relativamente estable, con valores fluctuando entre 69.3 ° C y 90.2 ° C, mediciones realizadas con termómetro FLUKE 52 II (Foto 3). Imágenes térmicas captadas con Cámara Termográfica modelo P65 reportan temperaturas máximas de 74 ° C, menores a las medidas ins -situ con termocupla (Foto 4 y 5). La fractura circular en la planicie occidental mantuvo sus dimensiones, sin experimentar mayores cambios (Foto 6 y 7).



Foto 1 y 2. Fumarolas débiles dentro del cráter y panorámica respectiva del volcán. Vista del flanco occidental desde la ciudad de San Jorge, los días 25 y 26 de noviembre de 2008.

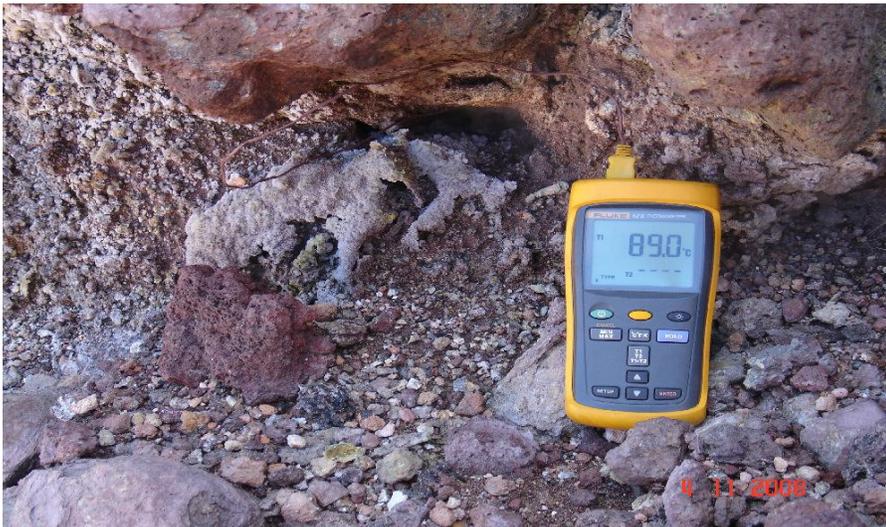


Foto 3. Temperatura de 89 ° C en la fumarola de la ladera Noroeste dentro del cráter. .



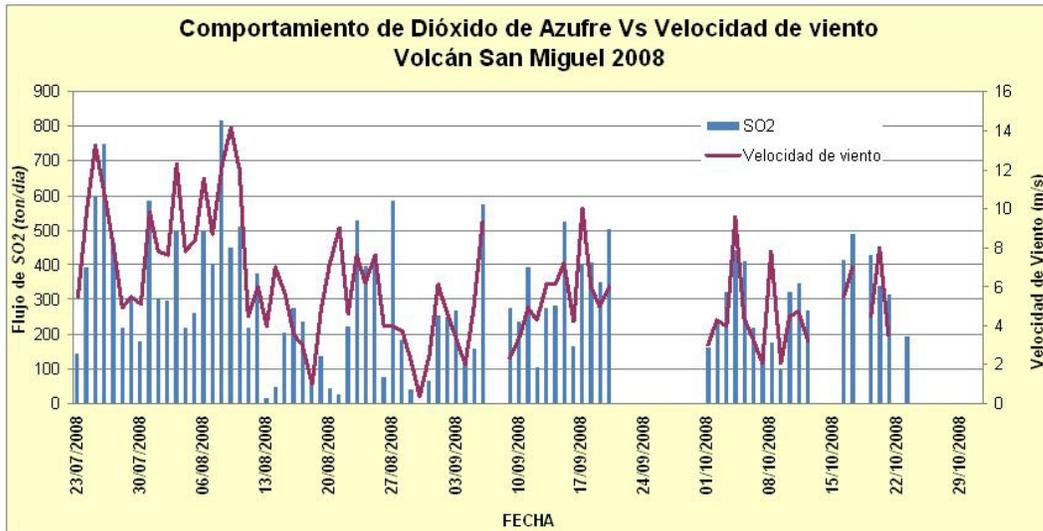
Foto 4 y 5. Imagen analógica del campo fumarolico. A la derecha imagen captada a 520 m de distancia, desde borde cratérico norte con Cámara Termográfica P65. Temperatura máxima en el área resulta de 74 ° C, menor a la medición realizada con termocupla manual en la ladera Noroeste.



Foto 6 y 7. Vista del área de la planicie occidental del cráter. Las dimensiones de la grieta circular no experimentaron cambios durante el año 2008.

Gases difusos

Con respecto al monitoreo de gases (Flujo de SO_2), las mediciones se realizaron con el instrumento DOAS instalado a 3 Km. al suroeste del volcán en el lugar llamado Piedra Azul. Los resultados obtenidos son relativamente bajos fluctuando entre 100 y 300 toneladas por día. Valores arriba de este dato son asociados a la presencia de vientos y no por actividad del volcán (Gráfica 4).



Grafica 4. Valores de emisiones de dióxido de azufre en promedio día (T/D) y el respectivo valor de velocidad de viento. Cambios en la velocidad de los vientos a menudo influyen en el cálculo del flujo de dióxido de azufre. En la mayoría de casos, valores altos de velocidad e vientos inducen aumento en el flujo de gas, lo cual no siempre obedece a actividad del volcán.

Flujos de escombros

Durante los meses lluviosos (mayo – octubre), se realiza inspección de taludes y drenajes del flanco norte del volcán. Los drenajes con registro histórico de flujos de escombros son los ubicados en el sector Norte y Norponiente. El estado erosivo de las cárcavas en este sector (Foto 8 Y 9) es intensa, ya que aporta abundante material suelto, tipo escorias y arenas hacia los cauces, en espera de intensas lluvias para formar flujos de escombros.



Foto 8 y 9. Zona sumital del volcán. Rocas y escoria depositada sobre un cauce del flanco norte. Intensas y prolongadas lluvias podrían movilizar este material aguas abajo y amenazar estructuras y personas del Cantón el Volcán.

En 2008, la cantidad total de lluvia registrada por un pluviómetro instalado en la Finca Santa Isabel a 760 msnm fue de 2056 mm. Es decir, representa un 3.2 % menos de precipitación que lo reportado en 2007. Al igual que durante los últimos seis años, no se dieron las condiciones para la generación de flujos de escombros.

Las comunidades no reportaron daños por la ocurrencia de avalanchas de escombros. Las cuatro obras físicas (muros de derivación y resumideros), construidas en la quebrada La Arenera funcionaron muy bien, sin embargo, algunas de ellas se encuentran rellenas por material suelto. Es importante coordinar acciones con la Alcaldía Municipal de San Miguel para proceder con maquinaria a realizar el respectivo desalojo y limpia de las estructuras.

Discusión

La ocurrencia de cambios periódicos en la microsismicidad del volcán de San Miguel se ha observado con mayor intensidad en los años 2006 y 2007, alcanzando en octubre de 2007, tremor con Amplitudes de hasta de 420 unidades RSAM promedio día. La ocurrencia de periódicos microsismos y tremor volcánico durante los años, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 y 2007, es indicador de un nivel alto de actividad de este volcán y candidato a erupcionar en un futuro cercano.

El derrumbe de la planicie oriental del volcán en agosto 2002, que taponó casi en 95% el cráter central indujo sismicidad asociada con subsidencia y presión interna del volcán.

Con base al monitoreo realizado, en adición a conversaciones con algunos lugareños se puede indicar, que durante 2008 el volcán se mantuvo tranquilo, con un nivel relativamente bajo y normal de actividad. Sin embargo, por los antecedentes antes expuestos y debido a lo obstruido que se encuentra el conducto del cráter, ante el derrumbe en Agosto de 2002, una actividad con estilo explosivo de moderada magnitud podría presentarse en cualquier momento.

COMPORTAMIENTO DEL VOLCAN DE SANTA ANA

El volcán de Santa Ana se caracteriza por tener en el interior del cráter una laguna de aguas ácidas sulfatadas y cloradas (pH=0.5 a 0.90, foto 1) y un área de fumarolas con emanación permanente de gases azufrosos de moderada a alta intensidad.



Foto 1. Estado de la laguna el 27 de noviembre de 2008. Presenta una moderada evaporación, temperatura de 37^a C, pH de 0.9 y color verde pistacho.

La vigilancia se ejecuto de forma sistemática, tal y como se hizo en 2007, a través de inspecciones de campo mensuales al cono y fondo del cráter para el monitoreo hidrogeoquímico de su laguna. El monitoreo sísmico se realiza con cuatro estaciones: San Blas, Eco montaña, San José y Retiro. El monitoreo termográfico con Cámara térmica y el monitoreo de gases con estaciones DOAS.

Sismicidad

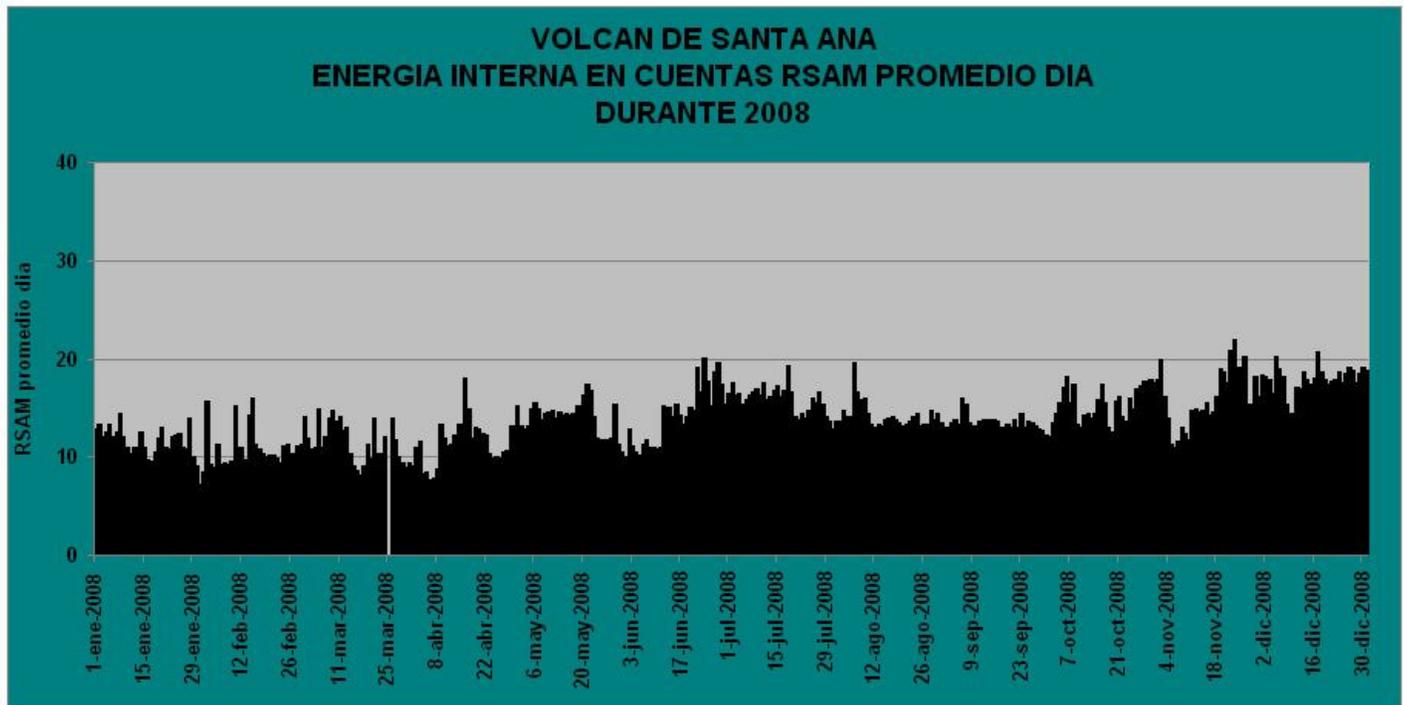
En lo que respecta a sismos relacionados con fractura de rocas (Tipo A), en 2008 el volcán de Santa Ana no alcanzó 30 eventos mensuales, lo cual es considerado normal. Tampoco hubo reporte de sismos sentidos por la población relacionados directamente con el volcán (Gráfica 1).

Los eventos tipo A son claramente identificados por sus fases bien definidas y son registrados en su mayoría por la estación sísmica San Blas instalada en la ladera Sureste del cono a un km del cráter. Por la cercanía al cráter la estación de San Blas es básicamente la que se usa para vigilar la microsismicidad del volcán. El número total de sismos volcano-tectónicos registrados por esta estación durante 2008 fue de 109, es decir 4.7 % menos a los registrados en 2007.



Gráfica 1. Registro mensual de sismos Volcano - Tectónicos asociados con fracturamiento de medios sólidos dentro del volcán.

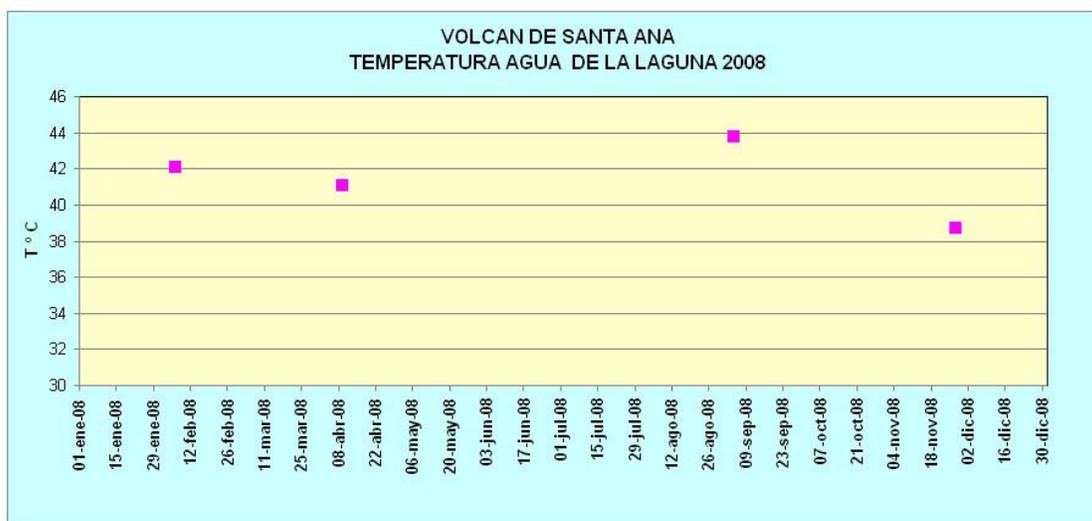
De hecho aun no existe una caracterización de la microsismicidad de este volcán, sin embargo prevalecen sismos asociados con actividad del sistema hidrotermal, es decir, sismos con fase de primer arribo emergentes típicos de ser originados por presión de vapor y movimiento de gases a través de grietas y conductos (Gráfica 2). Durante el año se registro un total de 7561 eventos de este tipo, 55.7 % menos que en 2007. La energía sísmica del volcán media en cuentas RSAM, se mantuvo fluctuando entre 10 y 20 cuentas RSAM, lo cual es considerado normal (Gráfica 3).



Grafica 3. Energía sísmica del volcán presento un comportamiento estable, fluctuando entre 10 y 20 cuentas RSAM. Lo cual es considerado normal.

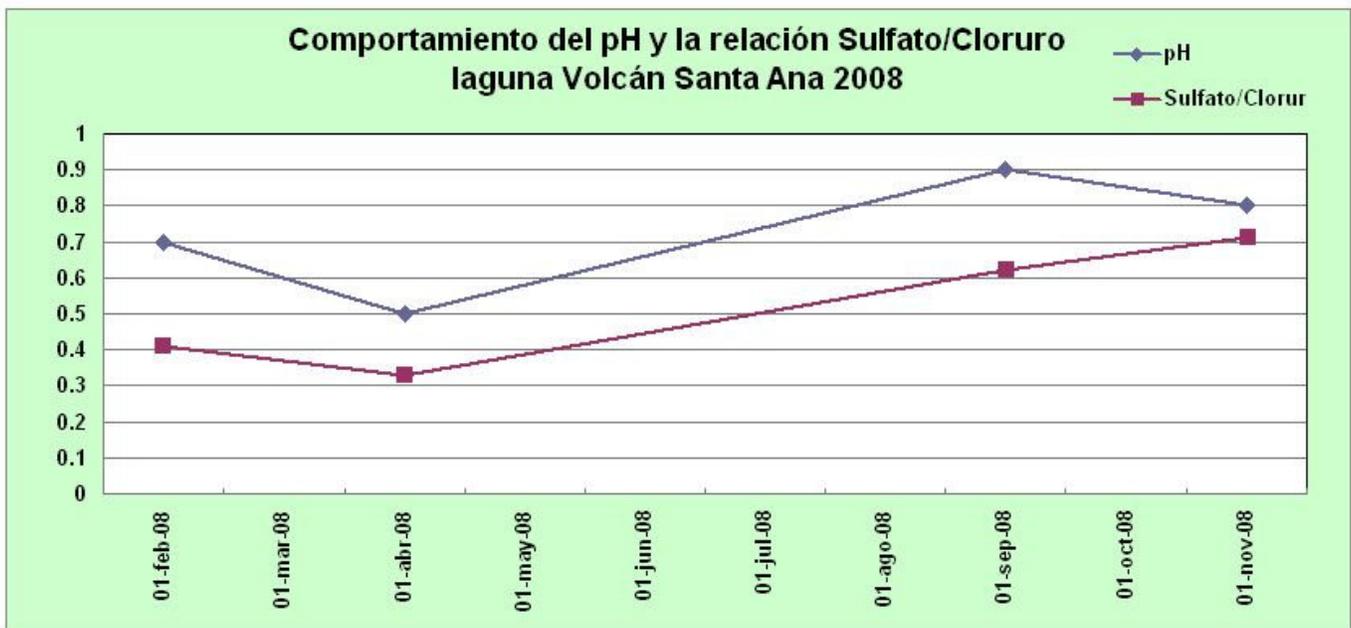
Hidrogeoquímica

La temperatura del agua de la laguna cratérica del volcán se obtuvo en forma discreta con termocupla manual. La temperaturas en el agua fluctuó entre los 38.5 y 44 ° C (Gráfica 4)..



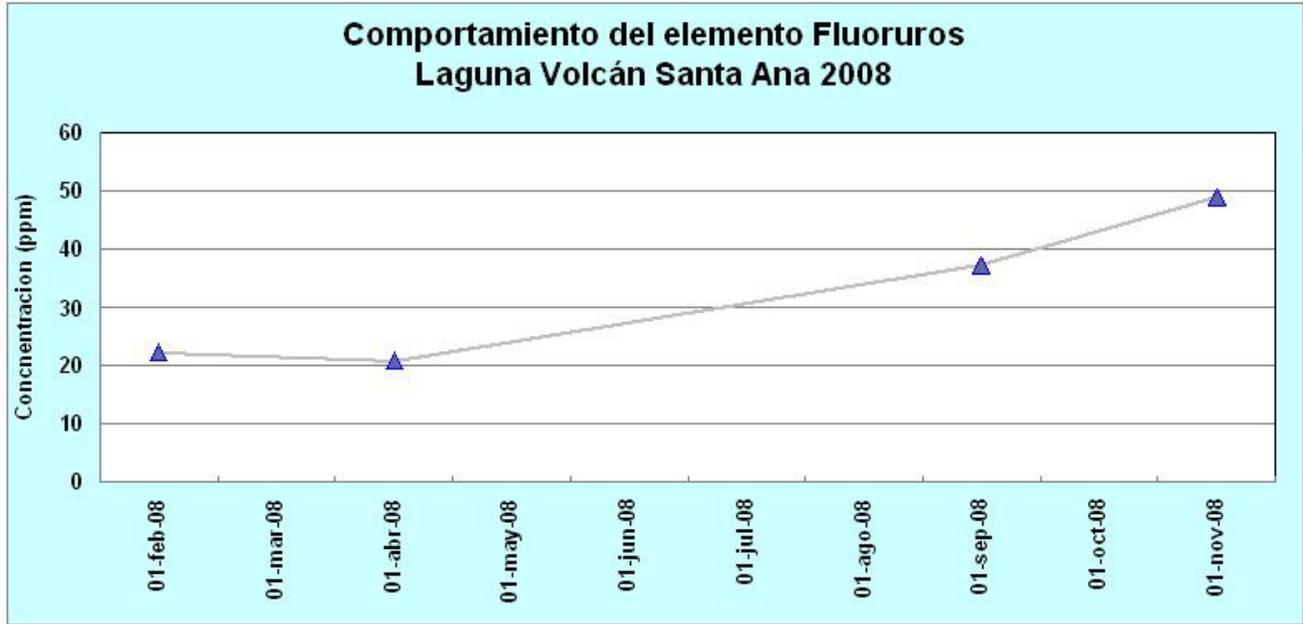
Grafica 4. Medidas realizadas In-situ revelan temperaturas relativamente estables, fluctuando entre 38.5 y 44 ° C. La fumarola en el centro de la laguna y el nivel de evaporación en el cuerpo de agua, no presentaron mayores cambios durante el año 2008.

Los niveles de acidez (pH) de la laguna fluctuaron entre 0.5 y 0.9 y la relación Sulfatos/Cloruros se mantuvo entre 0.3 y 0.7. Durante los meses de febrero y abril los niveles de concentración de los elementos químicos son más bajos por la carencia de aporte de aguas lluvias que dificulta la disolución (Gráfica 5).



Gráfica 5. Durante la época de lluvia (Mayo a Octubre), el agua de la laguna se torna menos acida (0.9) y se incrementa la relación Sulfato/Cloruro, debido al aporte de sulfatos por la escorrentía superficial.

A partir de Septiembre, la concentración de fluoruros en las muestras de agua de la laguna mostró clara tendencia a aumentar, sin experimentar mayores cambios en otros parámetros (Gráfica 6).



Grafica 6. Se observa que durante los meses de febrero y abril la concentración de fluoruros en el agua de la laguna resulto en el orden de 20 PPM, aumentando en los meses de Septiembre y Noviembre, probablemente tuvo lugar aporte de fluor al sistema.

Termografía

Mediciones realizadas con Cámara Termografica modelo P65, revelan 38.4 ° C de temperatura en el cuerpo de agua de la laguna y entre 51. 4 y 70.8 ° C en el area del campo de fumarlas ubicadas en la rivera occidental (Foto 2).

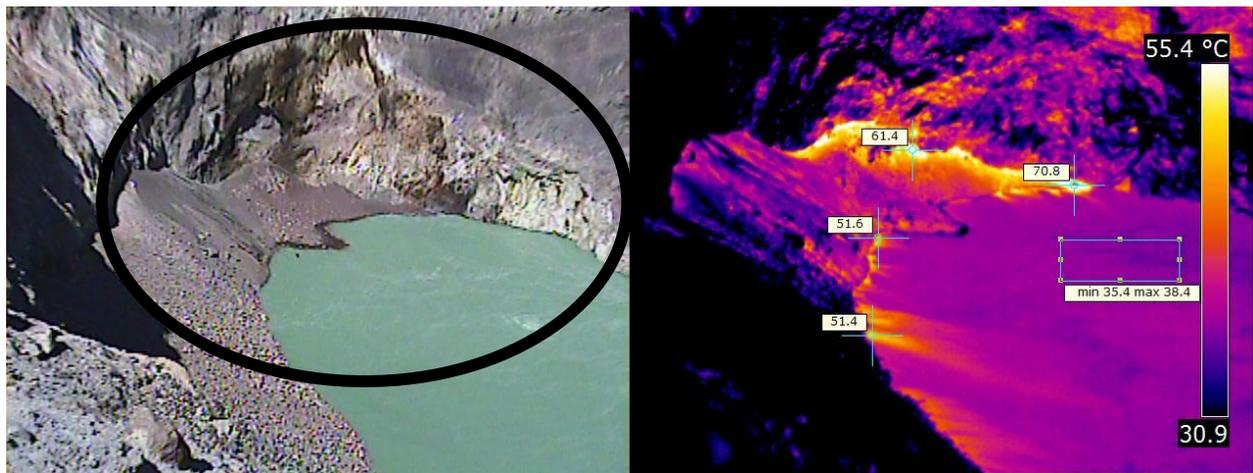
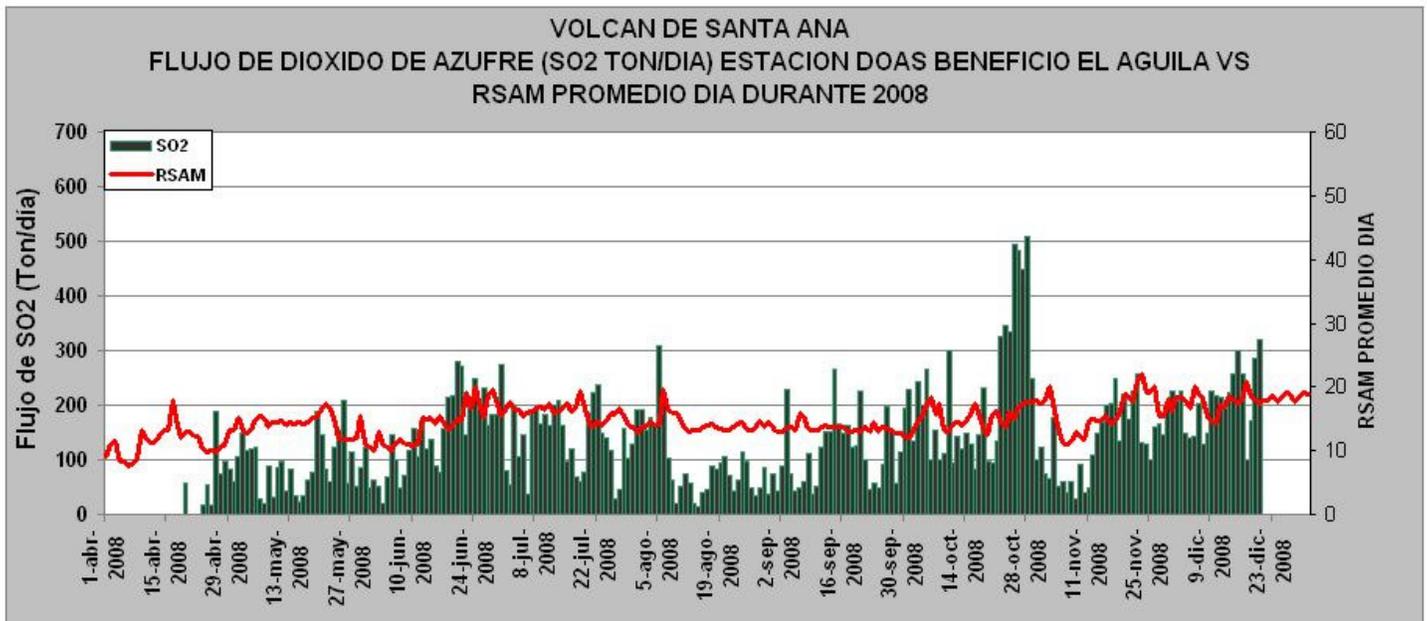


Foto 2. Área occidental de la laguna. Imagen analógica e infrarroja de su estado térmico con temperaturas entre 51.4 y 70.8 ° C (23/12/08). El círculo indica el cráter formado por la erupción de octubre 01 de 2005

Gases difusos

El monitoreo de Flujo de Dióxido de azufre en modo continuo en el volcán de Santa Ana, es realizado haciendo uso de un Espectrómetro Diferencial Óptico de Absorción (Mini DOAS) ubicado en el Beneficio el Águila a 6 Km. al Suroeste del volcán. Los resultados obtenidos se correlacionan muy bien con los datos de energía sísmica (RSAM), lo que ha permitido crear una línea base preliminar en cuanto a emisión de gases por el volcán. Se planifica mejorar la obtención de datos instalando otro DOAS en el área de San Blas, Finca Campo Bello (Gráfica 7).



Gráfica 7. En rojo se indica la energía sísmica RSAM con un valor promedio de 20 cuentas, la cual delimita el promedio de flujo de Dióxido Azufre entre 100 y 200 toneladas por día. Cabe indicar que valores arriba de 20 cuentas RSAM y valores arriba de 200 t/d de Dióxido de Azufre son asociados con interferencias causadas por vientos, entre otros factores.

Discusión

Después de la erupción de octubre 2005, la actividad del volcán de Santa Ana se caracteriza por presentar periódicos cambios en la emisión de gases, sismicidad tipo tremor y sismos volcánicos, entre otros. Se caracteriza además, por poseer una laguna con agua ácida clorada y sulfatada que a menudo evapora, cambia de nivel, color y acidez según la época del año, sea esta lluviosa o seca.

Durante las inspecciones de campo no se percibió aumento en el sonido a presión por salida de gas, no se observó aumento en el burbujeo de la laguna, tampoco se observó la ocurrencia de grandes derrumbes. La actividad sísmica del volcán fue menor que la ocurrida en 2007 y no se registraron enjambres sísmicos. Por otro lado, si bien es cierto que se identificó cierta fluctuación en los niveles del agua de la laguna, estos cambios fueron pequeños, casi imperceptibles.

En el aspecto Geoquímico – Hidrogeoquímico, es decir, parámetros de emisión de dióxido de azufre, acidez, fluoruros, sulfatos, cloros y temperatura del agua, estos no experimentaron mayores cambios indicadores de situación anómala en el volcán. Con base a lo anterior se concluye que durante 2008, la actividad del volcán se mantuvo dentro de los límites considerados normales en un volcán activo.

Comportamiento del Volcán de San Salvador

El volcán de San Salvador (Ver figura 1) se caracteriza por poseer un cráter de 1.5 Km. de diámetro y aproximadamente 500 metros de profundidad (Boquerón). Dentro del cual, por la erupción de 1917 se formó un pequeño cono llamado Boqueroncito. Se caracteriza además por ser un volcán atravesado por fracturas y fallas a lo largo de las cuales ha tenido lugar erupciones históricas y prehistorias. Evidencia de ello es la ocurrencia de flujos de lava, caída de ceniza y la formación de conos de escorias en los flancos. Durante 2008, se registró un nivel bajo de sismicidad y débil emisión de gases a través de fumarolas existentes en el Cerro La Hoya, que es un cono de escorias ubicado a unos 2 km de Santa Tecla, en la ladera sur del Volcán.

La vigilancia de este volcán se ha desarrollado de forma sistemática con dos estaciones sísmicas, mediciones termográficas, observaciones visuales y muestreo de fuentes de aguas.



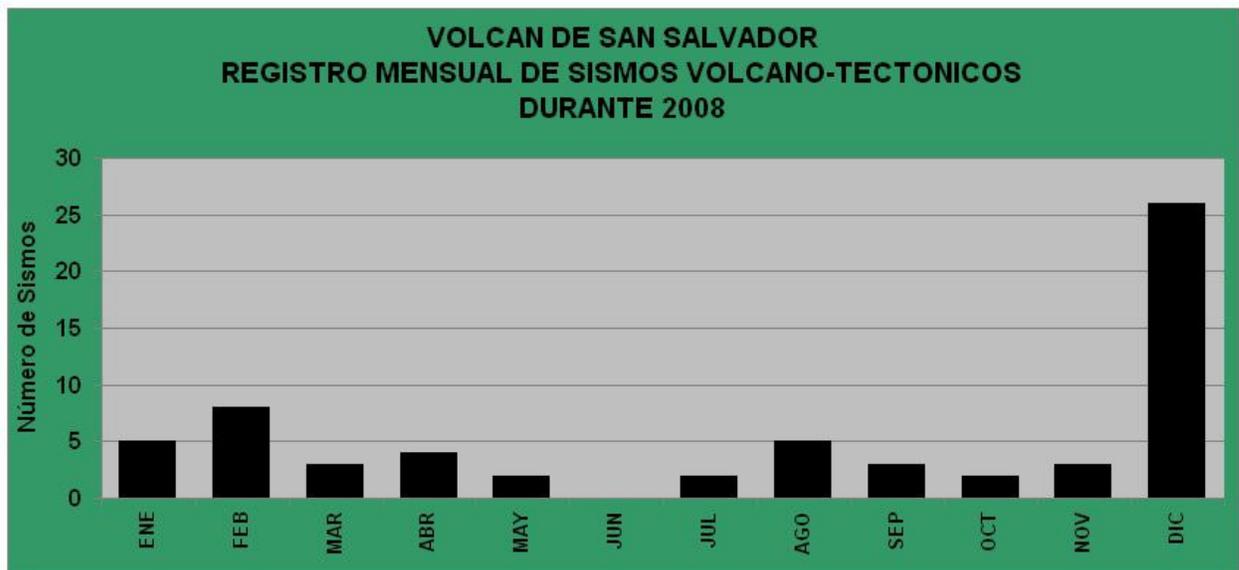
Figura 1. Mapa de la zona de influencia del Volcán de San Salvador. En morado las ciudades alrededor del Volcán, entre ellas al sur, sureste, San Salvador y Nueva San Salvador.

Sismicidad

El monitoreo de la sismicidad del Volcán de San Salvador ha permitido registrar principalmente sismos relacionados con rompimiento de fracturas y fallas que afectan al volcán.

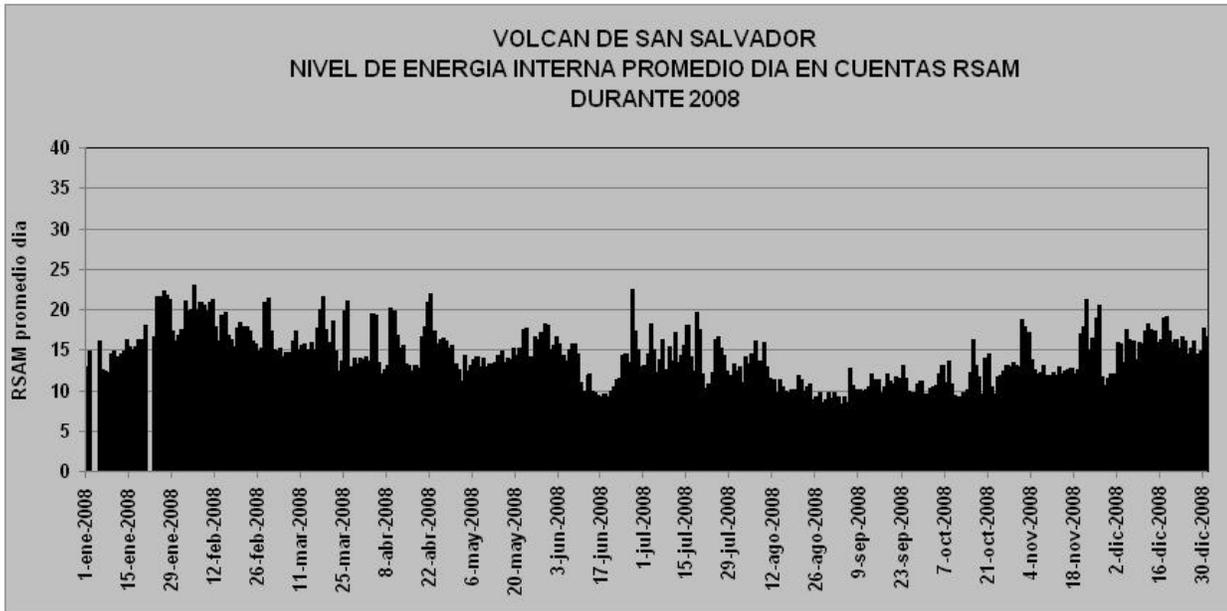
Durante 2008 se registro un total de 63 sismos, un 63 % menos que los registrados en 2007, fluctuando el número de 2 a 8 por mes. El mes con registro de mayor número de sismos fue Diciembre, con 26 eventos registrados (Gráfica 1). Aun que en Agosto de 2007 se registraron 88 eventos, la actividad del volcán ha permanecido estable.

Con bases a los registros históricos se sabe que es normal registrar hasta 15 eventos en un mes. Un número mayor de sismos es señal de intranquilidad volcánica. Desde Enero de 2002 a Diciembre 2008, los años más sísmicamente activos han sido 2004 y 2007, con un total de 159 eventos y 131 respectivamente.



Gráfica 1. Hasta Noviembre, el registro de sismos Volcano – Tectónicos presento un comportamiento normal, fluctuando el número de sismos entre 0 y 8 eventos por mes. En Diciembre la sismicidad se incremento, registrándose 26 sismos de pequeña magnitud, ninguno de ellos fue sentido por la población. Tampoco se observo cambio en otros parámetros.

Cabe mencionar que el incremento en el número de sismos VT observado en Diciembre no cambia la línea base de energía sísmica RSAM. Estos incrementos no se reflejan en la gráfica, la cual muestra el promedio día de la amplitud de la señal sísmica (Gráfica 2).



Gráfica 2. Energía sísmica liberada por el volcán medida en cuentas RSAM promedio día. Los valores fluctúan entre 10 y 20 unidades, lo cual es considerado normal. Valores arriba de 20 son asociados con vientos y otras interferencias.

Monitoreo Hidrogeoquímico.

Básicamente consiste en la toma de muestras de agua para análisis físicos químicos y medidas de temperatura y Ph in situ. Para el caso específico pozo ubicado en Ciudad Merliot y el Manantial en el Cerro el Jabalí (Figura 2).

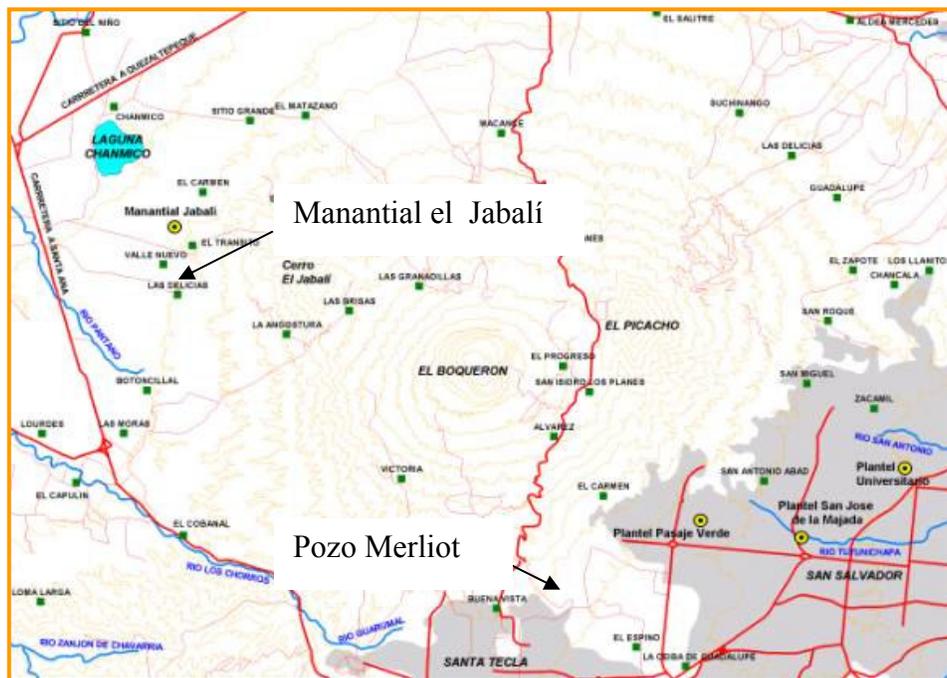
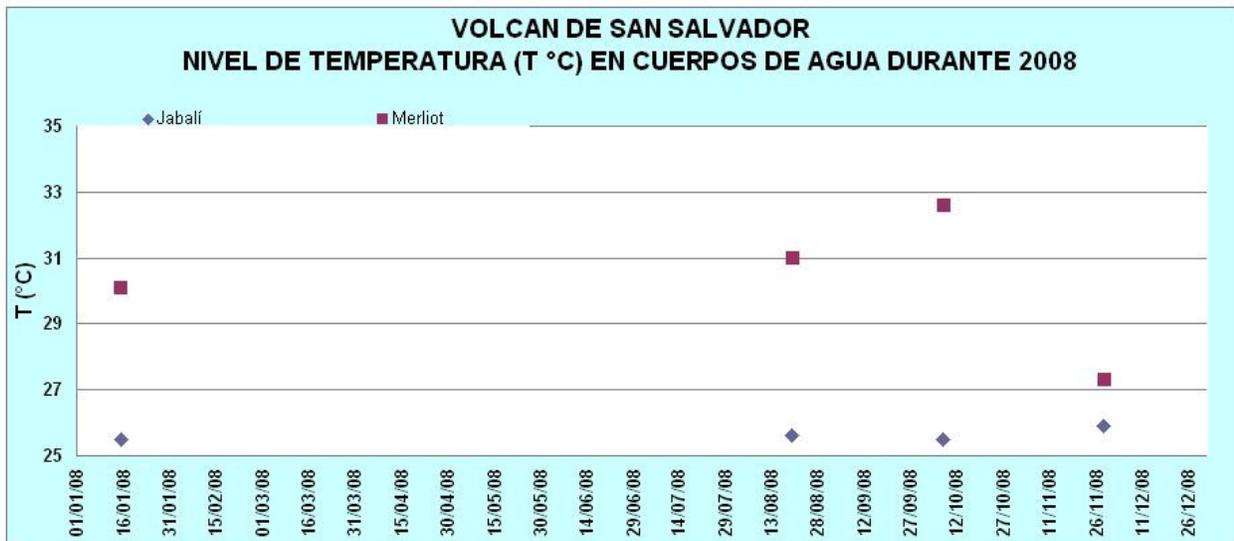


Figura 2. Mapa de ubicación de sitios de muestreo de fuentes de agua. Al Sureste, Pozo Merliot y al Noroeste, Manantial El Jabalí.

El monitoreo hidrogeoquímico se realizó con la toma de muestra en el pozo ubicado en ciudad Merliot y en el manantial El Jabalí de San Juan Opico. La temperatura y el pH se midieron “in situ” en el momento de recolección del agua. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Aguas del SNET donde se obtuvieron los parámetros de sulfatos, Cloruros, Fluor y acidez (pH), entre otros.



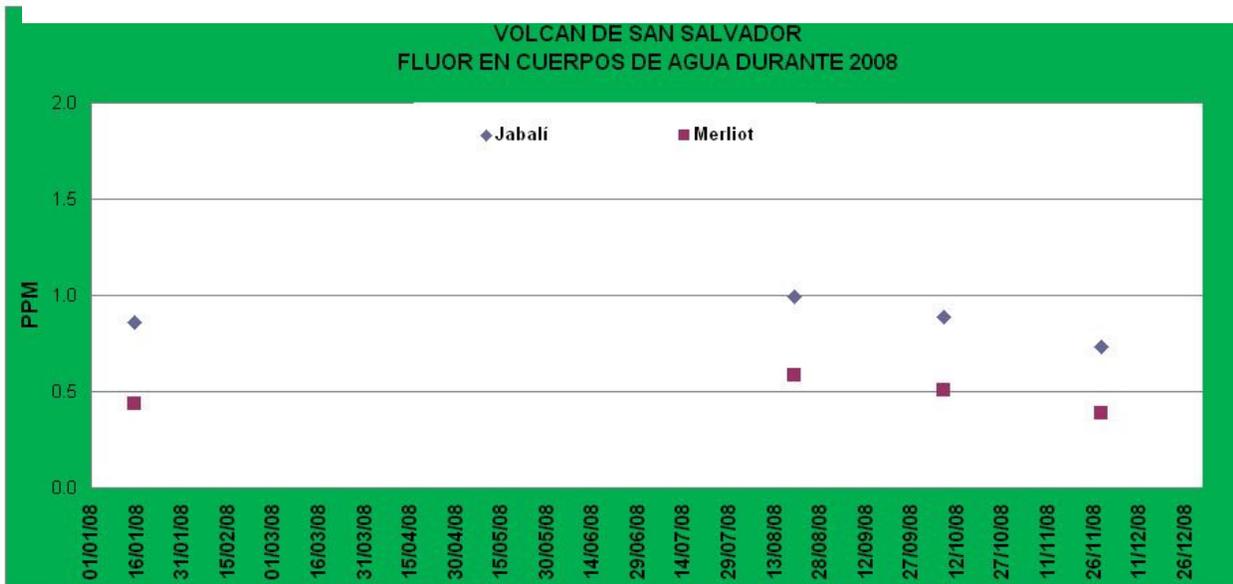
Grafica 3. Se observa que para el agua del pozo Merliot, el dato de la relación Sulfatos/Cloruros es menor a 2 PPM. Para el manantial El Jabalí, la relación fluctúa entre 22 y 24 PPM. De manera que existe mayor aporte de estos elementos en el manantial El Jabalí.



Grafica 4. La temperatura del agua en el Manantial El Jabalí fluctúa entre 25 y 27 ° C. en el Pozo Merliot la temperatura es mayor y fluctúa entre 27 y 33 ° C.



Gráfica 5. El agua del Manantial el jabalí (pH 5.8 a 6.0) presenta mayor acidez que la del Pozo Merliot (pH 6.0 a 6.5).



Gráfica 6. La concentración del elemento Fluor es ligeramente mayor (0.7 a 1.0) en Manantial El Jabalí, respecto al encontrado en Pozo Merliot (0.4 a 0.70)

Termografía

No existen fumarolas en el área del Boqueroncito, solamente existen fumarolas en el Cerro La Hoya, con un promedio de 75.9°C . La temperatura captada con la Cámara termografica se presenta en la foto 2.



Foto 1. Vista del Boqueroncito desde el borde sur del Boquerón (15/01/2008). Durante la inspección realizada no se encontró anomalía térmica en esta área.

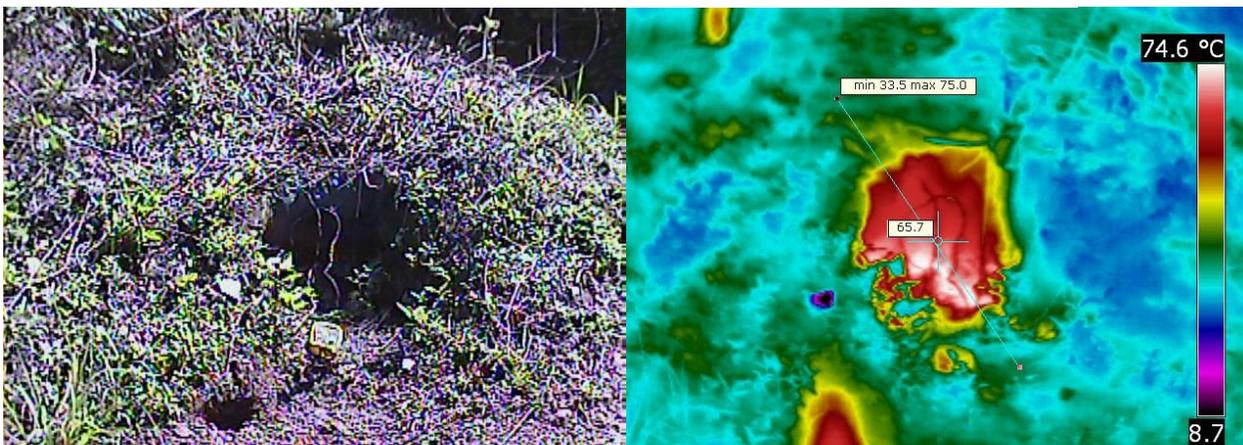


Foto 2. Toma analógica y e infrarroja del área de fumarolas en el Cerro la Hoya (17/06/08). La temperatura máxima obtenida es de 75°C , similar a la medida In- situ con termocupla manual.

Discusión

La formación del volcán de San Salvador, aún es poco conocida. Para algunos investigadores inicia con las primeras erupciones asociadas con la formación de la montaña constituida por las estructuras llamados Picacho y Jabalí.

Aunque no sabe con exactitud cuando nació, los orígenes del volcán datan desde hace unos 80,000 años aproximadamente.

En el área del Boquerón el volcán tiene una altura de 1,887 m con un cráter de aproximadamente 1,5 Km. de diámetro y 350 m de profundidad. La formación del actual Boquerón es atribuida a la más reciente erupción explosiva que data del año 1,200 d.C. (Hart, 1983). Erupción que dio origen a los depósitos de oleada piroclástica, denominados Talpetate, distribuidos con espesores mayores a un metro a distancias de hasta 10 Km. del Boquerón sobre los flancos noroeste, oeste, suroeste.

Producto de la última erupción del volcán, en 1917 se evaporó un lago existente dentro del cráter y posteriormente se formó el volcancito llamado Boqueroncito que tiene unos 30 m de alto y 120 m de diámetro. En su flanco noreste se emitieron flujos de lava basálticos - andesíticos de tipo "AA" como las de Hawaii que recorren largas distancias y pueden observarse hoy en día en el sector noroeste del edificio volcánico.

Con base al monitoreo sistemático realizado puede afirmarse que durante 2008, el volcán se mantuvo relativamente estable. Lo que significa que no presentó señales de inminente reactivación, es decir, estuvo tranquilo, dormido, presentando actividad que es usual en todo volcán activo.

Sin embargo se esta aprovechando la situación para estudiarlo y profundizar en su conocimiento. Durante el año 2008, se lograron avances significativos en lo relativo a trabajos de caracterización de depósitos eruptivos pasados y con ello construir el mapa de escenarios de amenaza. Proyecto que realiza desde 2005 en colaboración con el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México con el apoyo de la Secretaría de Relaciones Exteriores Mexicana.

