

El monitoreo de temperatura de aguas y fumarolas asociadas a cada volcán, el monitoreo visual de la geomorfología de conos y cráteres y la toma de muestras de agua se hizo a través de visitas mensuales para el caso de los volcanes de **San Miguel, Santa Ana, y San Salvador** y cuatrimestrales para los volcanes de Izalco y San Vicente.

Los análisis mensuales de muestras de agua para el monitoreo hidrogeoquímico se realizaron en el laboratorio de aguas del SNET.

El monitoreo de deformaciones en el caso del volcán de San Salvador se desarrolló con el apoyo voluntario de un estudiante de ingeniería de la Universidad Albert Einstein para la elaboración de su tesis de grado en este tema.

MONITOREO		SANTA ANA	SAN SALVADOR	SAN MIGUEL	SAN VICENTE	IZALCO	ILOPANGO	PARÁMETROS QUE SE MONITOREAN
INSTRUMENTAL	SISMICO							Número y tipo de microsismos y sismos
	GEOQUÍMICO DE GASES (Desgasificación difusa)*	CO <sub>2</sub>						Volumen de gas a través del suelo
		RADON						Volumen de gas en el agua
	HIDROGEOQUÍMICO							T°C, Ph, Cloruros, Sulfatos, entre otros componentes
	TEMPERATURA FUMAROLAS							Temperatura
	DEFORMACIONES							Elevaciones
VISUAL	GEOMORFOLOGICO							Abertura de grietas, ensanchamiento de cárcavas, niveles de la laguna, etc.
	FOTOGRAFICO							Imágenes desde puntos de referencia
	OBSERVADORES LOCALES							Ruidos, Retumbos, Fumarolas, Nubes de ceniza u otros cambios perceptibles

**Tabla 1: Técnicas utilizadas para el monitoreo de los volcanes. (\* Realizado por el GIV-UES)**

El monitoreo de la degasificación difusa (flujo de CO<sub>2</sub>) en modo continuo en los volcanes del Complejo Santa Ana-Coatepeque, El Boquerón, San Vicente y San Miguel, se realiza a través de estaciones Geoquímicas (Stationflux) operadas por el Grupo de Investigación Vulcanológica de la Universidad de El Salvador.

### **Comportamiento del Volcán de San Miguel**

El rasgo más característico de la actividad del Volcán de San Miguel, además de la actividad erosiva y fumarolica es la complicada microsismicidad que lo caracteriza. La actividad sísmica de este volcán es registrada por tres estaciones sísmicas ubicadas en sitios estratégicos: una ubicada en la Finca Santa Isabel, la más cercana al cráter, a una cota de 1.675 msnm, otra estación en la Finca Bella mira, en la ladera oriental del volcán a una cota de 650 msnm y otra en la Finca Lacayo en el flanco occidental, a 900 m de altitud.

## Sismicidad

Las diferentes señales registradas por las estaciones del Volcán son clasificadas por su forma y apariencia como:

- Señales asociadas a dinámica de fluidos, son de periodo largo -LP- (conocidos como Tipo B)
  - Avalanchas de rocas
- Pequeñas explosiones (Fig. 1) y
- Tremor espasmódico con paquete de eventos "LP" (Fig. 2)

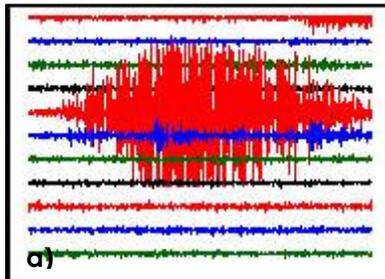


Figura 1. Señal típica de una pequeña explosión, registrada el 6 de junio de 2003.

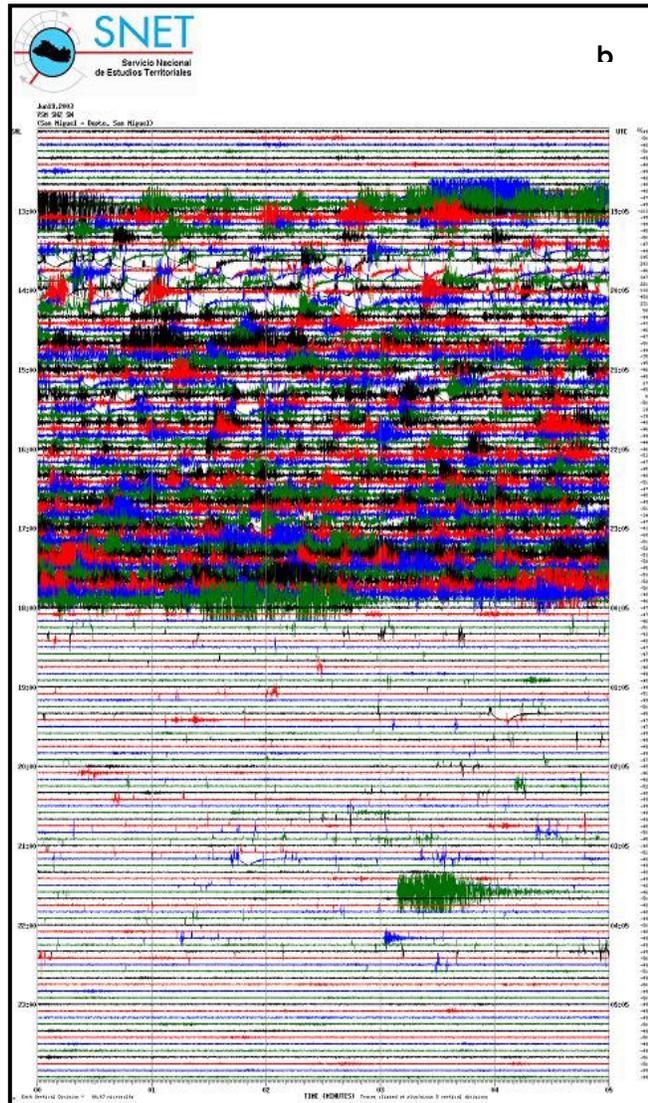


Figura 2. Típico tremor espasmódico, con paquete de eventos volcánicos "Tipo B", registrados el 19 de Junio de 2003 por estación VSM.

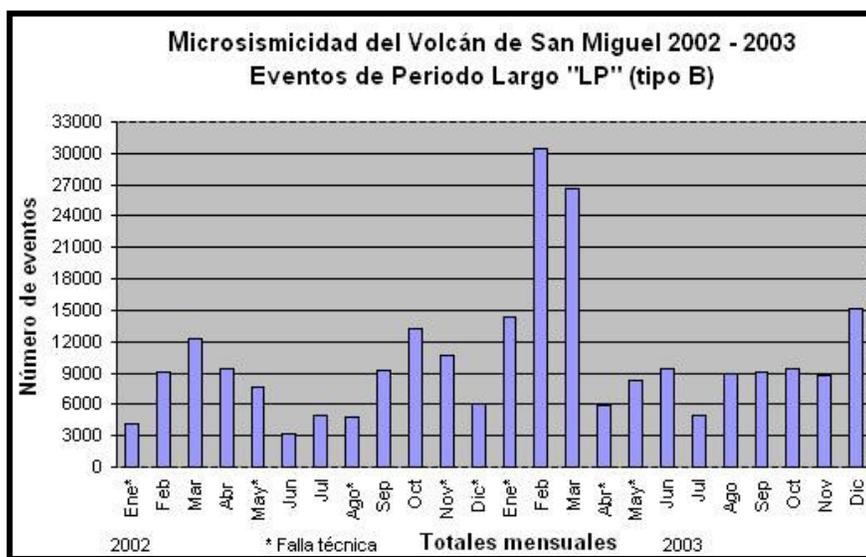
El monitoreo de la actividad sísmica volcánica se basa en el conteo y observación sistemática de estos tipos de señales y en el análisis de amplitudes de las mismas (RSAM). Lo anterior es importante para identificar cambios que puedan indicar algún tipo de intranquilidad volcánica. Por otra parte, se hace esfuerzo para interpretar las diferentes señales a los procesos físicos que las generan, a través de la correlación con observaciones visuales de campo o reportes de observadores locales.

La estación ubicada en la Finca Santa Isabel registró durante el año 2003, 151,445 microsismos, con un promedio de más de 420 eventos diarios, cifra que en ocasiones se incrementó hasta alcanzar los 1000 eventos por día, lo que significa más de 30.000 registros por mes (Ver figura 3).

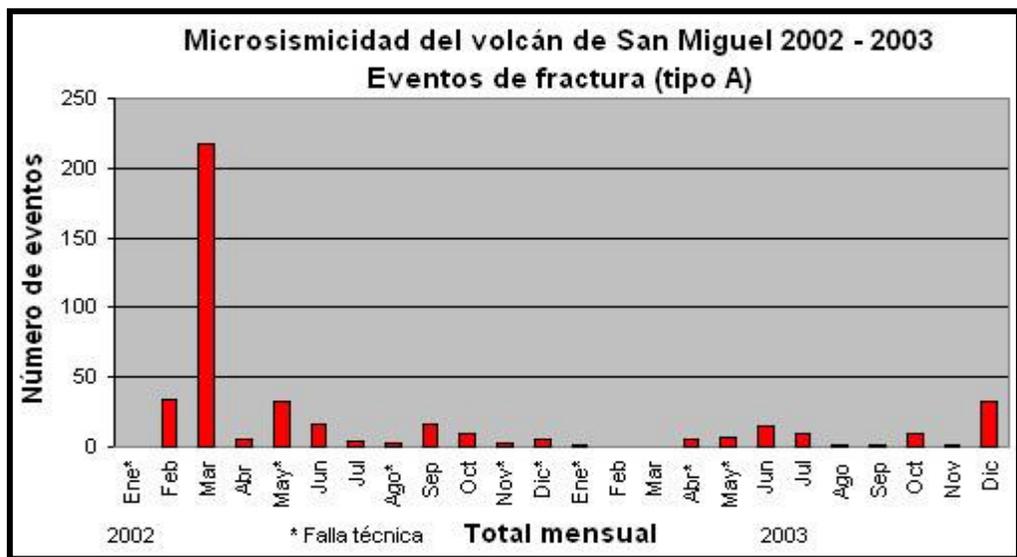
Durante los primeros 5 meses del año 2003, fue relevante el hecho de que el volcán presentara 30,440 microsismos tipo B en febrero y 26,609 en marzo, cantidad que triplica los eventos de febrero y duplica los de Marzo del año 2002.

En junio de 2003, la microsismicidad se triplica respecto a Junio de 2002, debido a un evento de tremor que provoca anomalías en el comportamiento sísmico. En los meses de julio a noviembre la microsismicidad vuelve a los niveles normales, aunque se registra otro incremento microsísmico entre el 19 y 20 de octubre. Posteriormente, del 10 al 31 de diciembre el número de microsismos alcanza niveles considerados altos, con más de 470 eventos por día.

Con respecto a los eventos con características de ser de fractura (figura 4), el año 2002, supera a 2003, ya que sólo en Marzo de 2002 se registran 217 y en Abril 50. mientras que durante 2003, solamente en diciembre se registra un mayor número de eventos de este tipo, es decir, 32 eventos.

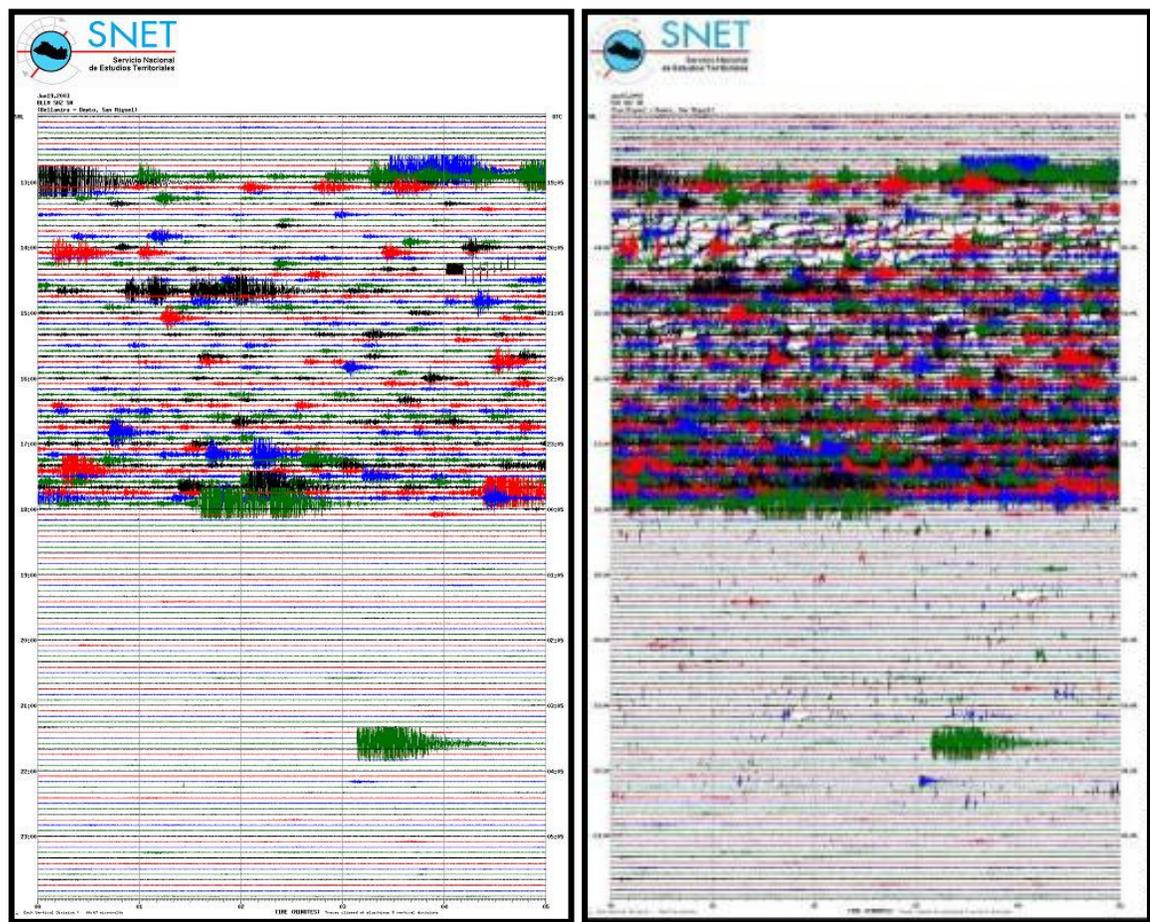


**Figura 3: Microsismicidad de eventos tipo B (LP-Periodo Largo) registrados en la estación de Finca Santa Isabel en el volcán de San Miguel, durante 2002 - 2003**



**Figura 4: Microsismicidad de eventos de fractura (Tipo A) del volcán de San Miguel durante 2002 – 2003.**

El 19 de junio se presentó un temblor espasmódico durante 5 horas continuas (figura 5), con paquetes de eventos tipo B y de explosión. Al día siguiente 20 de Junio de 2003 se realizó una inspección al cráter, lo que permitió observar un ligero aumento en la emisión de gases y el inicio de un proceso de subsidencia en el conducto (Ver foto 7).



**Figura 5: Registro analógico del tremor espasmódico del 19 de junio de 2003 en Estación Bella Mira (BLM) y Estación San Miguel (VSM). Izquierda y derecha respectivamente**

La ocurrencia de cambios en la microsismicidad de este volcán es frecuente. La presencia de tremor espasmódico con paquete de eventos tipo B, ya se había observado a principios y en los últimos meses del 2002, así como un aumento drástico del número de eventos de periodo largo (Tipo B) y de los eventos de fractura (Tipo A). Como se observa en la figura 5, existe saturación de señales en la estación VSM, ello

sugiere que la fuente de origen de la microsismicidad esta localizada a una profundidad somera y cerca de la estación VSM.

## **Fumarolas y temperatura**

Otro rasgo de actividad del volcán de San Miguel es la emanación continua de pulsos de gases, que durante el 2003 fue de baja a moderada intensidad a través de fumarolas en el cráter. En ocasiones, la emanación fue muy débil, hasta casi desaparecer, pero luego aumentaba en pulsos y se dispersaba en el interior del cráter.

Debido a un derrumbe de rocas ocurrido en agosto de 2002, se pierde la fumarola de la planicie oriental y la emisión de gases por el conducto se reduce por completo. En los últimos meses de 2002 se recuperó paulatinamente la presencia de fumarolas y fueron surgiendo nuevas emisiones. La aparición de las cuales se asoció con incrementos anómalos de microsismicidad. Durante el año 2003 la emisión de gases predominó por la pared occidental del conducto y en menor medida en la pared norte. También aparecieron nuevas fumarolas en el centro del abanico de derrumbes y en las paredes orientales (Foto 1).



Fumarolas

**Foto 1: Situación general del conducto central del volcán de San Miguel, durante todo el año 2003.**

No se ha tomado temperatura en las fumarolas del volcán de San Miguel, ya que al estar obstruido el conducto se teme ocurra una pequeña explosión tipo freática, además de lo difícil del acceso. Tampoco se logro hacer durante el 2003 medición de gas con COSPEC. En general, a pesar de la microsismicidad anómala, registrada durante finales de 2002, Junio y octubre de 2003, la actividad fumaròlica con olores a azufre, incluyendo otros factores como avalanchas de rocas y ruidos subterráneos, resulta ser muy débil comparada con años anteriores (Fotos 2-5).

## **Geomorfología**

Durante el año 2003 no se produjeron derrumbes de consideración en el interior del cráter, solo caídas de rocas de poco volumen en las paredes sur y sur oriente. Tampoco se observaron cambios significativos en las planicies oriental y occidental, aunque en ambas existen grietas semicirculares que muestran las zonas de debilidad por donde podrían caer partes del cráter. Mensualmente se realizaron mediciones de abertura en las grietas de la planicie occidental (por ser de más fácil acceso), las cuales no presentaron variaciones con respecto a medidas hechas mes y años antes (Foto 6), esto es debido a que por ser material rocoso muy fracturado y diaclasado, la dinámica es más bien de caída vertical repentina y no de deslizamiento lateral.



Foto 2: Actividad fumarólica del Volcán de San Miguel en diciembre de 1999



Foto 3: Aspecto general del cráter en julio de 2002, antes del derrumbe de la pared oriental



Foto 4: Conducto obstruido y fumarolas muy débiles después del colapso en agosto de 2002



Foto 5: Situación del cráter del Volcán de San Miguel en diciembre de 2003. Durante este año no se han producido grandes cambios, ni en la emisión de gases, ni en la ocurrencia de derrumbes.

Por otra parte, el monitoreo geomorfológico con visitas al cráter, permitió detectar durante la visita del 20 de junio, el inicio de un proceso de reacomodamiento

de rocas en el interior del cráter. La subsidencia generó una morfología en forma de embudo que poco a poco se agranda (Foto 6). La generación de este embudo fue asociada al registro de actividad sísmica anómala (tremor del 19 de junio durante 5 horas), que generó también un incremento puntual de la emisión de gases en las fumarolas.

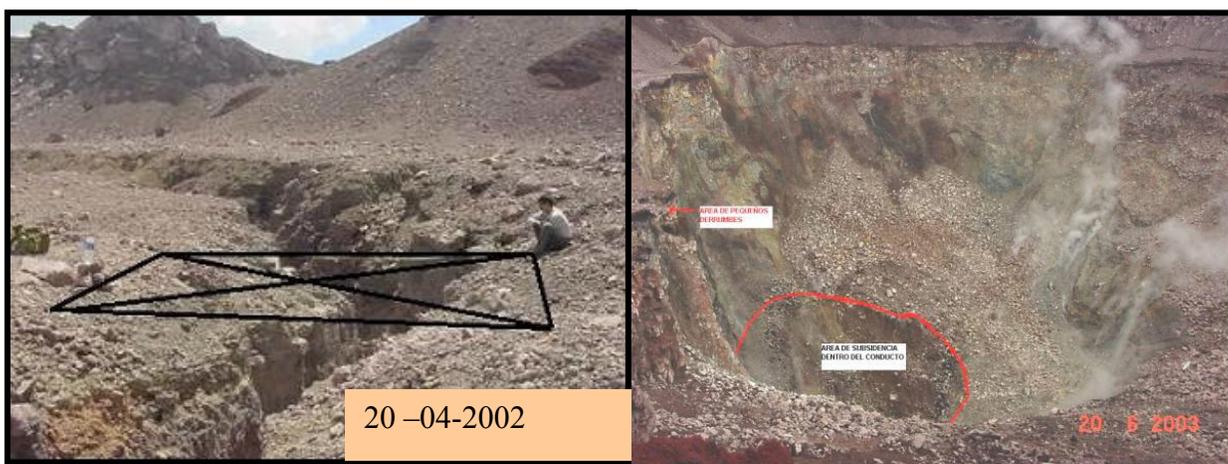


Foto 6. Grieta de la planicie occidental que se vigila mensualmente. Se miden las distancias longitudinales y diagonales entre cuatro estacas colocadas de forma rectangular.

Foto 7. En rojo se señala la zona del interior del conducto afectada por subsidencia. Compárese con la fotografía 1 de esta memoria. Se puede observar como la emisión de gases se intensificó puntualmente hasta lograr salir a la parte más alta del cráter.

## Lahares

Durante los meses lluviosos (mayo–octubre), el monitoreo geomorfológico se complementa con la inspección de las cárcavas del flanco norte y las quebradas con registro histórico de lahares, específicamente en el sector Norte y Norponiente del volcán. La situación erosiva de las cárcavas en este sector (Foto 8 y 8bis) es intensa y aporta material es coriáceo suelto hacia los cauces formando lahares ante las lluvias intensas y duraderas del invierno.



**Fotos 8 y 8bis. Zonas de erosión y formación de cárcavas en las partes altas y externas del sector norte del cono volcánico. El material suelto y acumulado en la base de los taludes puede ser transportado hacia las partes bajas del volcán a través de los cauces de quebradas en caso de lluvias muy intensas.**

La cantidad total de lluvia registrada en 2003 por un pluviómetro instalado en el casco de la Finca Santa Isabel a 760 msnm fue de 1.900 mm (Dato proporcionado por el mandador de la Finca). La cantidad e intensidad de lluvia es el factor que dispara avalanchas de escombros. Por ello también, se mide cantidad de lluvia que cae a través de una estación pluviométrica instalada en el lugar de la estación sísmica VSM a 1.675msnm. Debido a problemas técnicos, este pluviómetro no registró durante algunos meses. El total de lluvia registrado fue de 843 mm. El Sistema de alerta que acompaña al pluviómetro no se disparó en ninguna ocasión durante el invierno de 2003, lo que indica que no se superaron los 40 mm/hora del umbral de lluvia. Sin embargo, sí se registraron 39.6 mm/h el día 23 de mayo de 2003.

El pluviómetro antes mencionado forma parte del Sistema de Alerta Temprana por flujo de escombros. Después de estar dañado y en reparación se reinstaló el 14 de mayo de 2003 y se aprovechó para hacer una capacitación de alertas a los líderes de las comunidades vecinas.

La comunidad no reportó la ocurrencia de avalanchas de escombros que afectaran las partes bajas del volcán y a las viviendas ubicadas en la zona de peligro. Sin embargo, las obras físicas (muros de derivación y resumideros) de mitigación construidas en la quebrada La Arenera se rellenaron por el efecto de transporte de material suelto del interior de la quebrada hasta estos puntos.

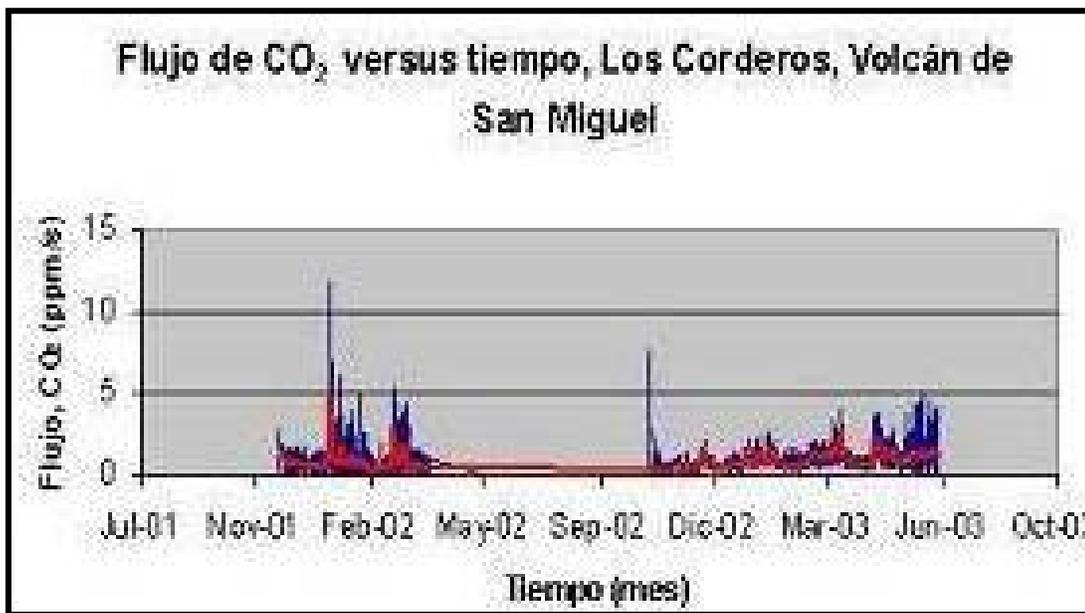
De las cuatro obras construidas, tres se mantuvieron llenas ya que no recibieron mantenimiento a finales de periodo de lluvias del año 2002. Tan solo una (estructura 2) fue vaciada por maquinaria de la Alcaldía Municipal de San Miguel. Sin embargo, a final del invierno esta obra volvía a estar parcialmente colmatada.

En el 2003 no se reportaron situaciones anómalas por parte de los observadores locales a los que se consulta en el sector Norte y Norponiente del volcán. En algunos de sus reportes, se detallan retumbos o temblores, la mayor parte asociados a sismos de escala nacional perceptibles alrededor del volcán de San Miguel. En otras ocasiones,

contrastando la opinión de diversas personas del lugar, el viento o la lluvia pueden provocar sonidos similares a los de retumbos.

## Gases difusos

Con respecto al monitoreo de la degasificación difusa (flujo de  $\text{CO}_2$ ) en modo continuo en el volcán de San Miguel por parte del grupo Investigación Vulcanológica de la UES. Los resultados han permitido tener una línea base preliminar en cuanto a emisión de gases difusos a través del cono volcánico (Ver figura 6). Se prevé mejorar la relación con el equipo UES durante el año 2004 para el intercambio de datos.



**Figura 6. Línea base preliminar de emisión de  $\text{CO}_2$  del volcán de San Miguel, durante el periodo de estudio 2001 – 2003.**

## Discusión

En términos generales los eventos asociados a fractura de roca (Tipo A), aun son motivo de investigación. Sin embargo ocurrieron eventos con dichas características en 2003, aunque fueron más abundantes en 2002. Este incremento no tiene relación con el conducto obstruido, ya que en marzo y abril de 2002 (regresar a ver figura 4), antes del colapso los eventos fueron numerosos.

Después del colapso de la pared rocosa en agosto 2002 que obstruye casi en 95% el conducto, se incrementó la presión interna en el volcán. En los últimos meses de ese año se registraron periodos de actividad microsísmica anómala (con tremor y eventos de fractura), sin embargo no se observaban cambios significativos en el

volcán, pero sí la aparición de nuevas fumarolas por donde se liberaba una parte de la presión total acumulada. Después de cada uno de estos periodos anómalo de microsismicidad tipo B, (eventos con frecuencias entre 6 y 6.8 hz), la actividad se reduce significativamente.

El aumento de la microsismicidad durante 2003 (56,565 eventos tipo B más que el año 2002) puede indicar que el incipiente sistema hidrotermal está evolucionando y que es la presión de gas la que hace vibrar al edificio volcánico, lo que podría ser la causa del tremor, incluyendo el del 19 de junio.

El evento de tremor espasmódico registrado a mediados de junio tiene su respuesta en una mayor intensidad de emisión de gases y en la subsidencia de los materiales acumulados en el conducto.

Igual que en los periodos de sismicidad anómala de octubre, noviembre y diciembre de 2002, el tremor del 19 de junio produce una fuerte caída de la microsismicidad que se prolonga hasta noviembre, tiempo que probablemente tarda el sistema hidrotermal en acumular nuevamente presión

El comportamiento antes descrito del volcán, ha venido produciéndose desde inicios de 1995, y parece haber aumentado durante los últimos años, especialmente en 2002 y 2003, a causa del colapso de la pared oriental. No obstante, los niveles de microsismicidad usualmente son fluctuantes y cambiantes en el tiempo.

El monitoreo visual y sísmico realizado periódicamente a este volcán y las conversaciones con los pobladores permitieron comprobar que el volcán se mantuvo tranquilo, con emanación continua pero débil de gas fluctuando de baja a muy baja intensidad. Las fumarolas de la planicie oriental desaparecieron en agosto de 2002 y las grietas de la planicie occidental no experimentaron cambio en sus dimensiones.

Por todo lo anterior se concluye que no existe evidencia que sugiera intrusión magmática, aunque ante las circunstancias actuales, una pequeña actividad freática podría presentarse y causar pánico a los pobladores alrededor del volcán. Por lo que es muy importante continuar con el monitoreo permanente del volcán para vigilar cualquier nuevo cambio que se pudiera producir a raíz de la obstrucción del conducto.

## **Comportamiento del Volcán de Santa Ana**

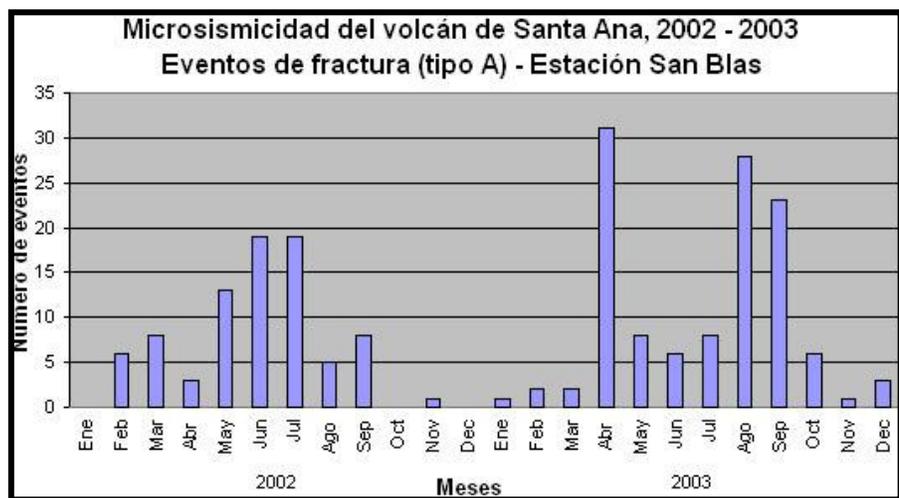
El volcán de Santa Ana se caracteriza por tener en el interior del cráter un campo fumarólico extenso con emanación permanente de gases azufrosos de moderada a alta intensidad. En el interior del cráter se encuentra también una laguna de aguas ácidas (Ph=1.8 – 0.9). Los gases asufrosos y las precipitaciones ácidas causan en ocasiones, problemas de quema en los cultivos y masas forestales de las laderas del edificio volcánico y problemas respiratorios en las personas adultas y niños, tal y como reportaron pobladores del caserío San Blas al sur del volcán durante los últimos meses del año 2003. Al respecto, se ha considerando desarrollar investigaciones y monitoreo de procesos asociados a la lluvia ácida.

La vigilancia del volcán de Santa Ana se ejecuto de forma sistemática tal y como se hizo en 2002, a través de visitas mensuales al cono y fondo del cráter y a través del monitoreo instrumental con tres estaciones sísmicas: San Blas, San José y Retiro, toma de muestras de agua para análisis químico y toma de gases difusos de CO<sub>2</sub>.

## Sismicidad

En lo que respecta a eventos de fractura (tipo A), la sismicidad del volcán de Santa Ana, en 2003 no supero los 31 eventos mensuales. Tampico hubo reporte de evento sentido por la población cercana .

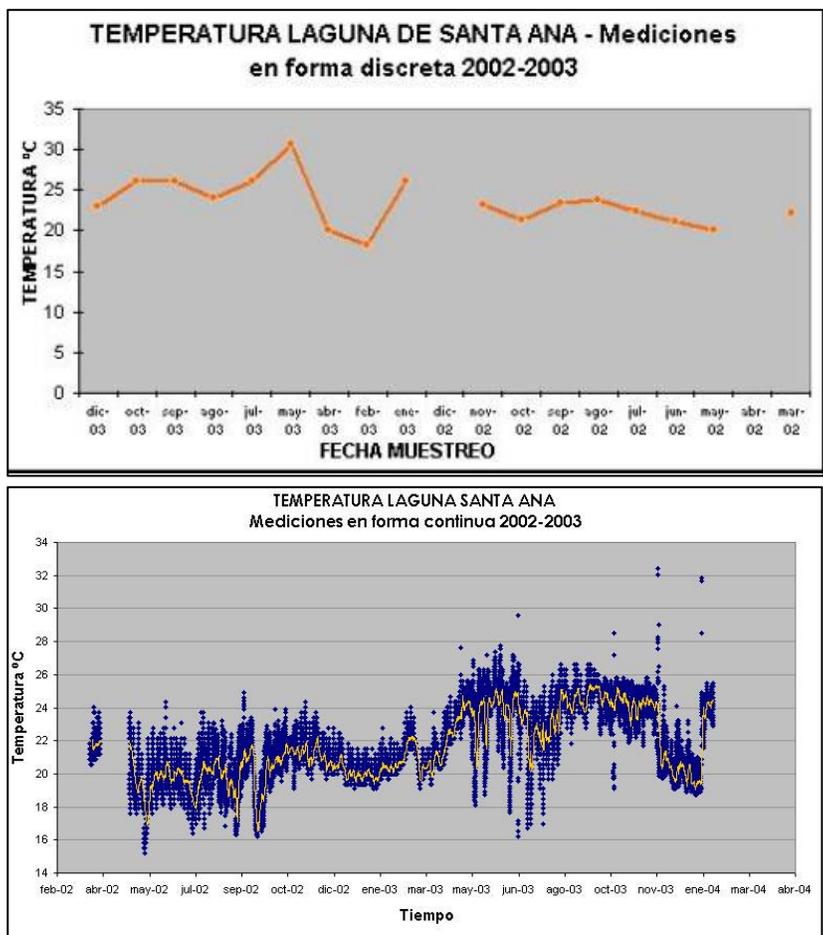
De hecho aun no se tiene caracterizada la microsismicidad de este volcán, ya que por el corto tiempo de instrumentación no se ha realizado investigaciones sísmicas detalladas. En tal sentido, resulta complicado identificar con precisión eventos de Periodo Largo (LP - Tipo B). Los eventos tipo A son claramente identificados por sus fases bien definidas y son registrados en su mayoría por la estación sísmicas San Blas instalada en la ladera Sureste del cono a unos 2 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 de sismos volcano-tectónicos registrados por esta estación durante 2003 fue de 119, dato que supera en 81 eventos a los registrados en 2002 (Ver figura 7).



**Figura 7: Sismos tipo A registrados en la estación de San Blas (Volcán de Santa Ana) en 2002 y 2003**

## Hidrogeoquímica

La temperatura del agua del volcán se ha medido de forma continua y sistemática a través de un sensor de temperatura instalado en el centro de la laguna y en forma discreta cada mes con termómetro manual y termocupla. Las temperaturas en el agua han oscilado entre los 16° C y los 26° C (Ver figura 8).



**Figura 8 : Temperatura de la Laguna del Volcán de Santa Ana en 2002 y 2003. Mediciones mensuales en forma discreta y en modo continuo.**

Los niveles de acidez de la laguna durante todo el año 2003, fluctuaron entre valores de 0.9 en los meses de marzo y abril cuando los niveles de concentración son más alto por la carencia de lluvias que permiten la disolución y valores de 1.8 al final del período húmedo (Ver figura 9).

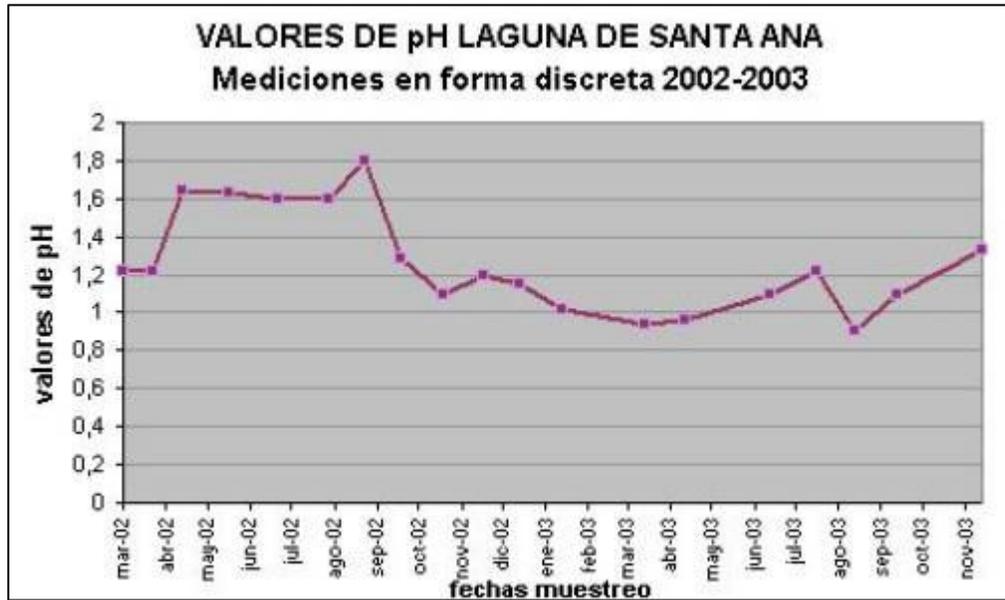


Figura 9: Medición del Ph de la Laguna del Volcán de Santa Ana en 2002 y 2003.

La relación Ph, Sulfatos y Cloro obtenidos de los resultados químicos de las muestras de agua de la laguna son mostrados en la figura 10.

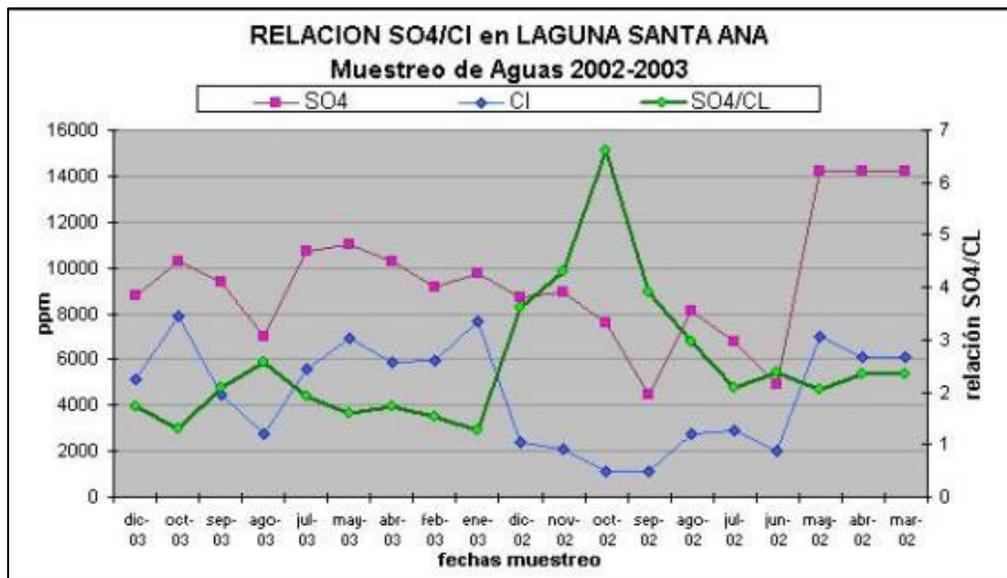


Figura 10. Gráfico que muestran la acidez (Ph) y la relación de sulfatos y cloruros

La medición de temperatura en el campo fumarólico se dificulta por el estado de fracturación y alteración de sus paredes rocosas, en las que se producen periódicamente derrumbes de pequeñas dimensiones pero que son una amenaza para los técnicos que realizan las medidas.

Las medidas se realizaron principalmente en las fumarolas del extremo sur del campo. Las temperaturas medidas oscilan entre 93 y 137°C en la parte más externa y entre 226 a 322° C a medida que nos acercamos al centro del campo (Ver tabla 2).

<b>TEMPERATURAS CAMPO FUMAROLICO SANTA ANA</b>			
<b>Fecha</b>	<b>T °C - Zona Externa del Campo Fumarólico</b>	<b>T °C - Zona central del Campo Fumarólico</b>	<b>Variación (°C)</b>
2003-01-21		322	93,4 - 22
2003-02-19		294	
2003-04-04		300	22
2003-05-02	123		
2003-08-04	93		
2003-09-10	103		5
2003-10-15	137	226	97 - 137
2003-12-03	103	264	

**Tabla 2: Resumen de datos obtenidos del monitoreo de temperaturas de fumarolas del Volcán de Santa Ana durante 2003**

## **Gases difusos**

El monitoreo de la degasificación difusa (flujo de CO<sub>2</sub>) en modo continuo en el Complejo Santa Ana-Coatepeque, es realizado por el Grupo de Investigación Vulcanológica de la UES. Los resultados de este monitoreo han permitido tener una línea base preliminar en cuanto a emisión de gases difusos a través del cono volcánico (Ver figura 11). Se prevé mejorar la relación de intercambio de datos con el equipo UES durante el año 2004.

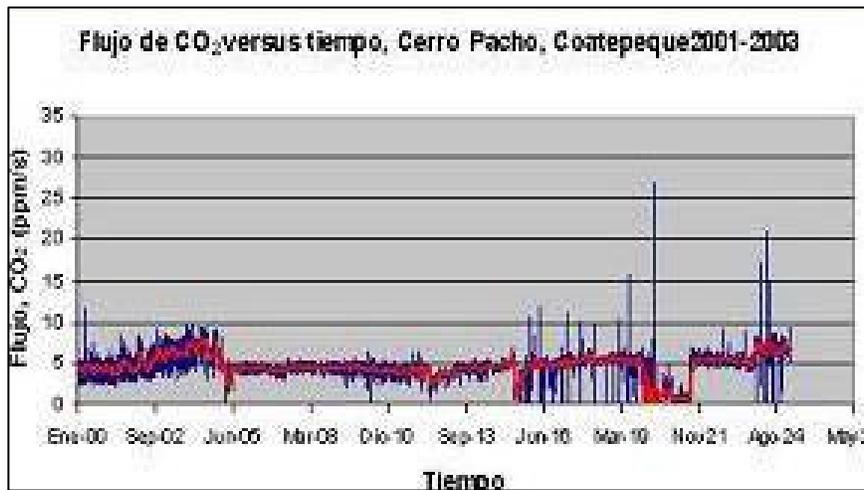


Figura 11. Línea base de emisión de CO<sub>2</sub> del volcán de Santa Ana, durante el periodo de estudio 2001 - 2003

### Monitoreo visual

MONITOREO VISUAL VOLCÁN DE SANTA ANA – NIVELES DE LA LAGUNA – Fotografías Punto núm. 1: Borde sur del cráter



Figura 12: Comparación de la coloración y niveles de la laguna durante el año 2003 a través de

fotografías desde un punto fijo (borde sur del cráter).

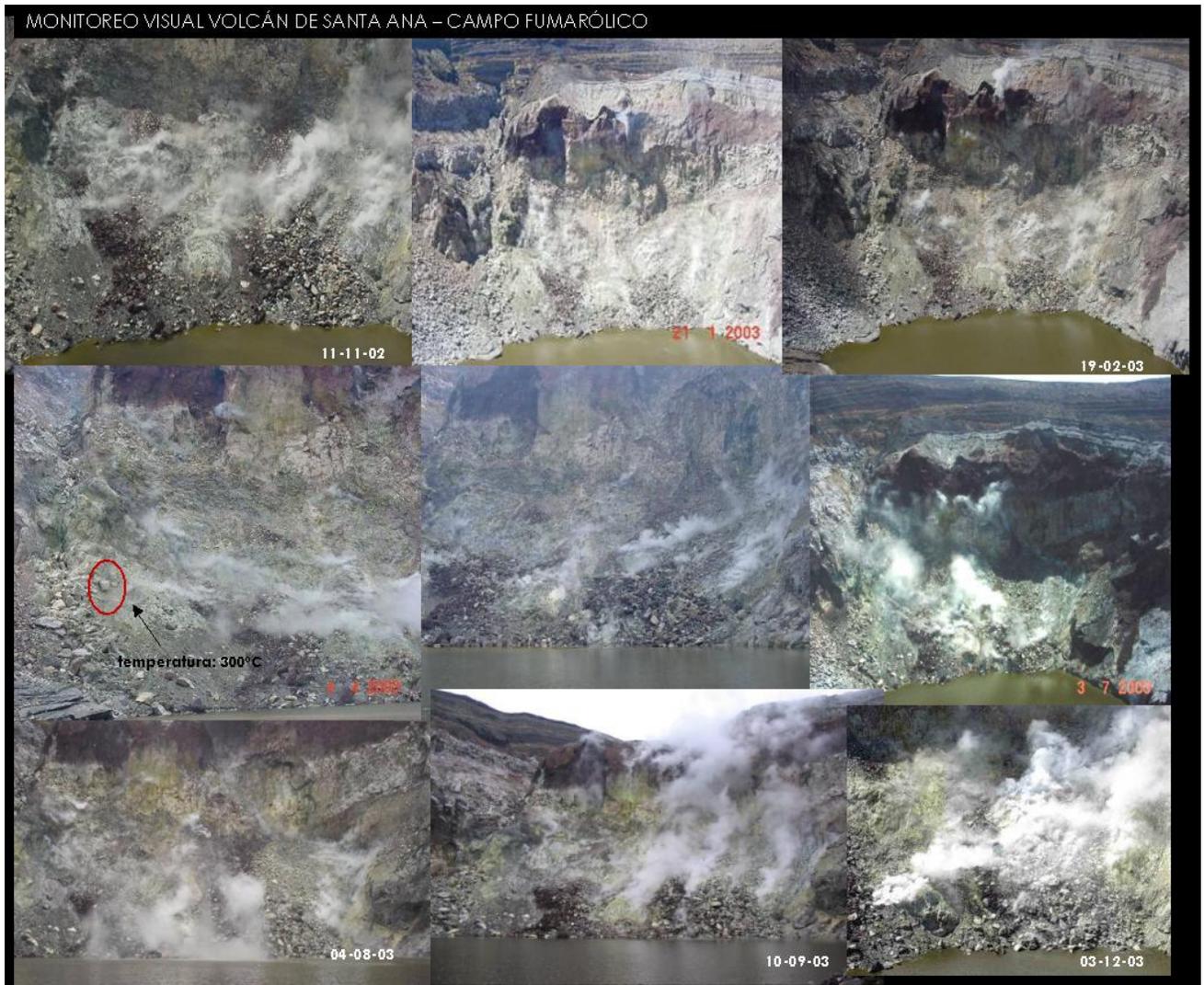


Figura 13: Comparación de la degasificación en el campo fumarólico del sector occidental del interior del cráter en volcán de Santa Ana. Solamente en septiembre y octubre la intensidad fue suficiente para generar plumas visibles en el exterior del cráter.

## Discusión

El comportamiento del volcán de Santa Ana se caracteriza por la fuerte emisión de gas que por el olor azufroso se trata de dióxido de azufre proveniente de las fumarolas ubicadas en el fondo del cráter. Se caracteriza además, por poseer una laguna con agua ácida que cambia de nivel, color y Ph, de acuerdo a la época del año, sea esta lluviosa o seca.

Con base al monitoreo realizado durante 2003, se concluye que la actividad del volcán se mantuvo dentro de los límites considerados normales en un volcán con altos índices de actividad. Evidencia de ello es que durante las inspecciones mensuales no se escuchó sonido a presión por salida de gas, no se observó burbujeo en la laguna, tampoco se observó la ocurrencia de grandes derrumbes. Instrumentalmente no se reportó enjambre sísmico sentido por la población, aunque el número de eventos registrados por la estación sísmica de San Blas fue superior en 81 eventos con respecto a los registrados en 2002. Por otro lado, si bien es cierto que se identificó cierta fluctuación en los niveles del agua de la laguna, estos cambios fueron insignificantes, casi imperceptibles.

En el aspecto Geoquímico – Hidrogeoquímico, es decir, parámetros de emisión de dióxido de carbono, acidez, sulfatos, cloros y temperatura del agua, estos no experimentaron mayores cambios indicadores de situación anómala en la conducta del volcán..

## Comportamiento del Volcán de San Salvador

El volcán de San Salvador (Ver figura 14) se caracteriza por sus niveles estables de actividad. En la actualidad, solo se conoce una débil emisión de gases a través de fumarolas existentes en el Cerro La Hoya, cono adventicio ubicado a unos 2 km de Santa Tecla, en la ladera sur del Volcán.

La vigilancia del volcán de San Salvador se ha desarrollado de forma sistemática, en colaboración con el grupo de investigación vulcanológica de la Universidad Nacional de El Salvador. Se trata básicamente de avanzar en el conocimiento y determinación de sus líneas bases de comportamiento.



**Figura 14. Modelo de Elevación Digital y Mapa del Volcán de San Salvador. En**

**alrededor del Volcán, entre ellas al sur, sureste, San Salvador y Nueva San Salvador.**

El volcán está vigilado con tres estaciones sísmicas llamadas : Picacho, Boquerón y Granadillas y con una estación geoquímica que mide el flujo de CO<sub>2</sub> (Foto 9) y la evolución de temperatura en el suelo. También se realizaron las respectivas inspecciones visuales al cráter del Boquerón y el monitoreo hidrogeoquímico con la toma de muestras de agua para análisis químicos y medidas de temperatura y Ph in situ en los pozos ubicados en Pasaje Verde, Plantel Universitario y el manantial El Jabalí (Ver figura 15).

### **Sismicidad**

El monitoreo de la microsismicidad en el Volcán de San Salvador ha permitido registrar principalmente eventos sísmicos de fractura, que se clasifican como de tipo A y están relacionados a pequeños movimientos en las fallas que cruzan el edificio volcánico. (Ver figura 15) Durante el 2003 se registraron una media entre 4 y 6 eventos mensuales similar al año 2002. Cabe destacar sin embargo los registros de los meses de marzo y diciembre que superaron los diez microsismos (ver figura 15). Estos incrementos son los picos que se reflejan en la gráfica del RSAM, la cual muestra el promedio de la amplitud de la señal sísmica calculada cada 10 minutos (Ver figura 16).

Foto 9: Estación geoquímica para medición de flujo de CO<sub>2</sub> en Cerro La Hoya del Volcán de San Salvador. Puede observarse la emisión de una pequeña pluma de gases.



El monitoreo hidrogeoquímico se realizó con la toma de muestra mensual en los pozos Pasaje Verde y Plantel Universitario de ANDA en la ciudad de San Salvador 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 pH, Calcio, Magnesio, cloro y sulfatos, además de la dureza (Ver figura 18).

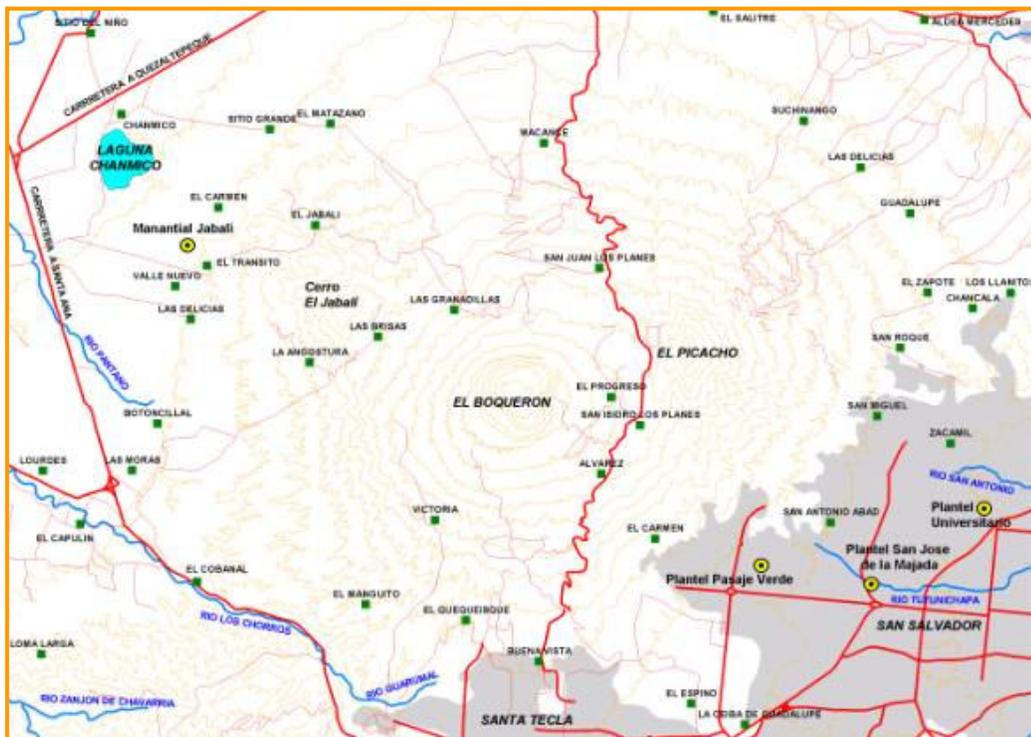


Figura 15: Mapa de ubicación de pozos alrededor de San Salvador. En amarillo se indica los que se muestrean mensualmente desde el SNET.

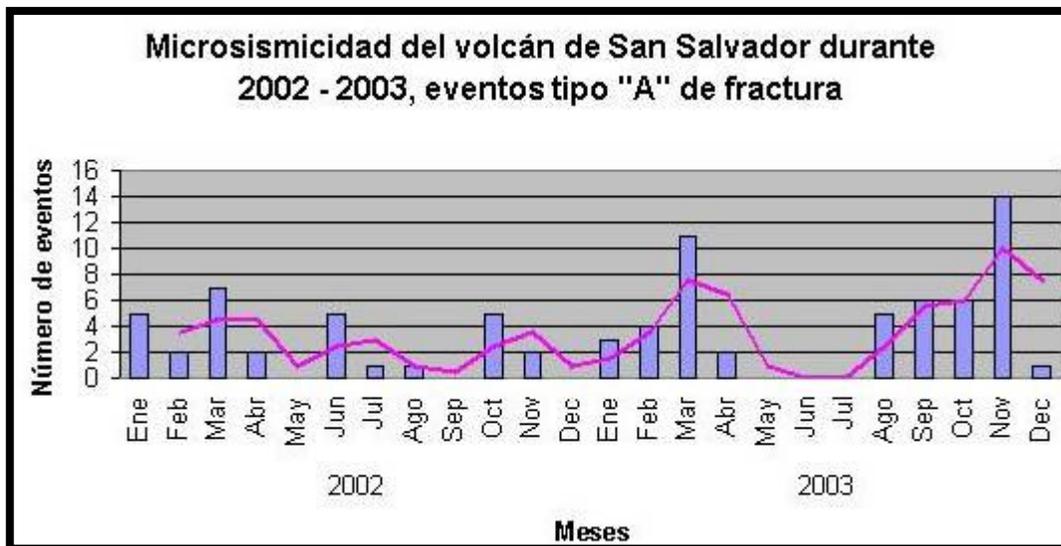


Figura 16: Eventos de fractura tipo A, registrados por la Estación Boquerón asociados al Sistema de fallas del volcán de San Salvador durante el período 2002-2003.

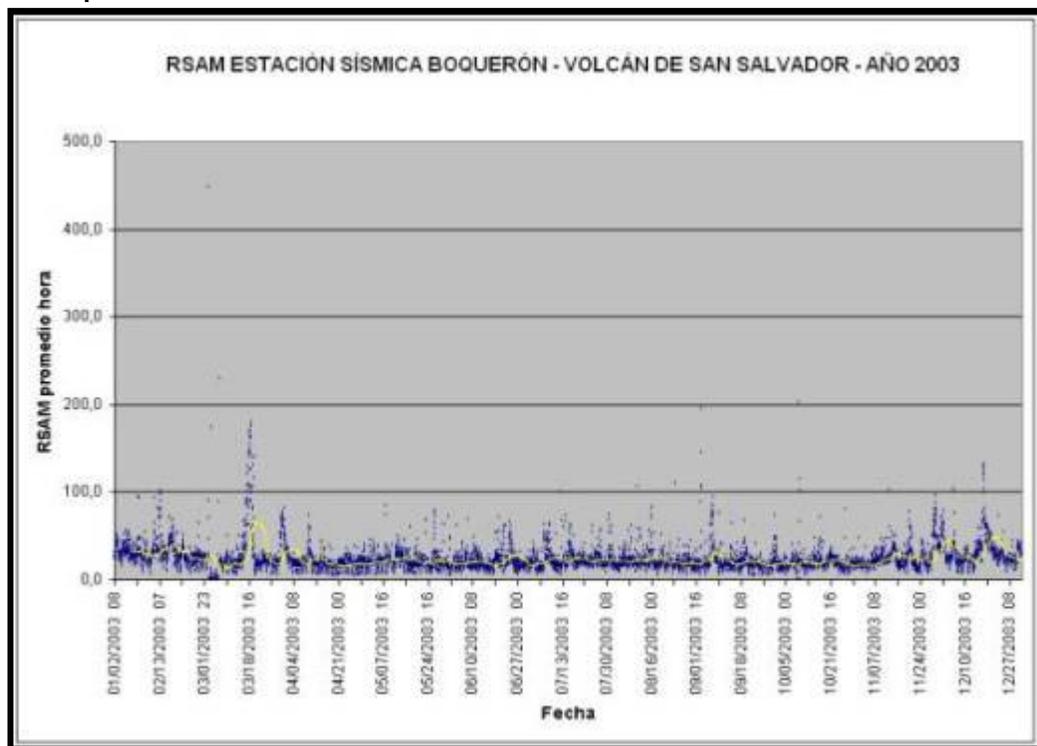
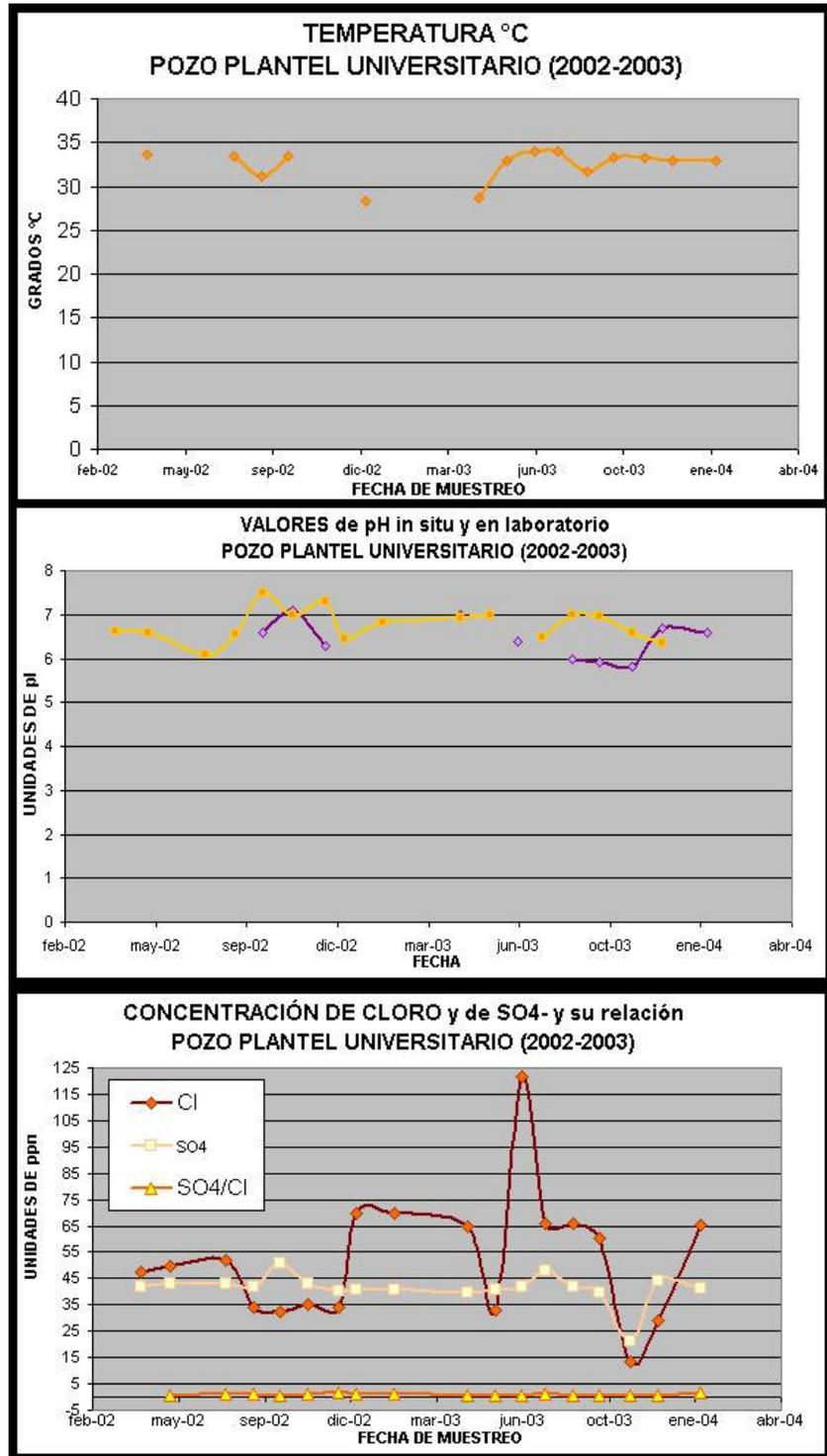


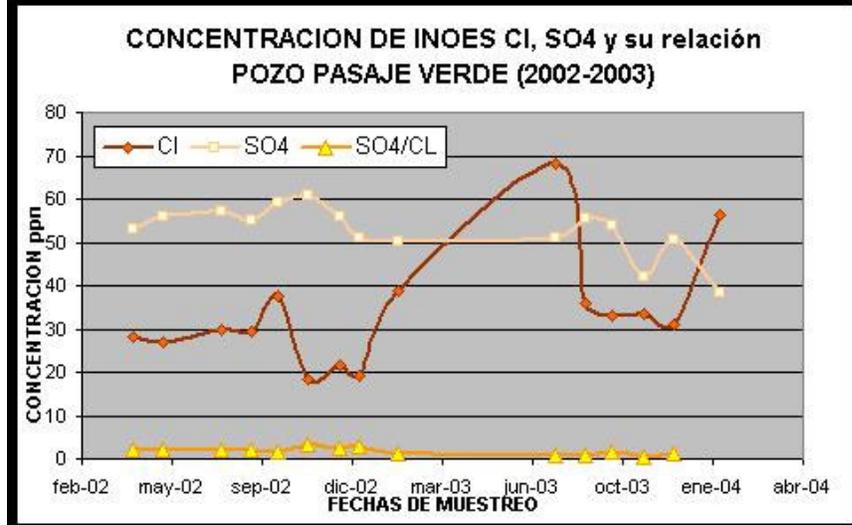
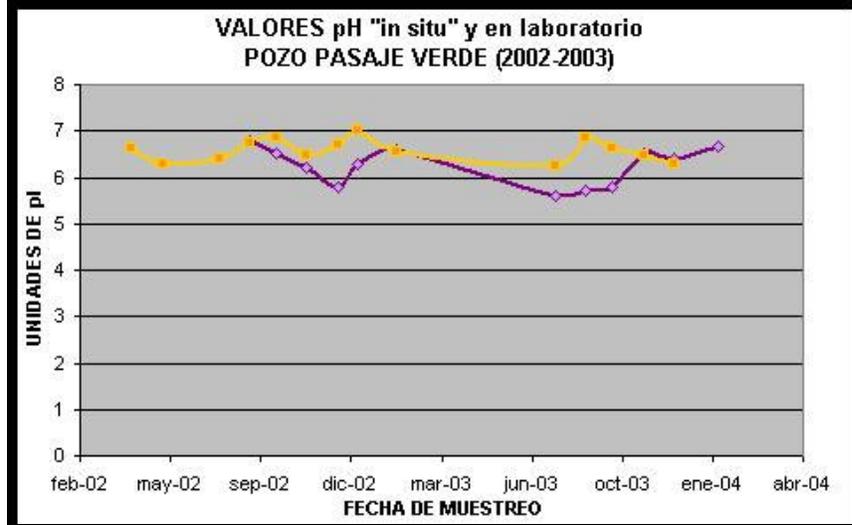
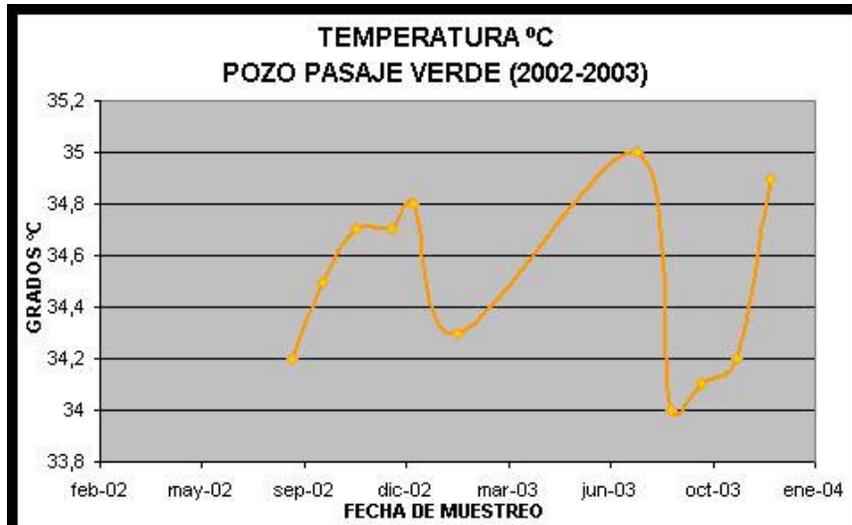
Figura 17: RSAM de la Estación Boquerón en el Volcán de San Salvador durante el año 2003

## Resultados Hidrogeoquímicos

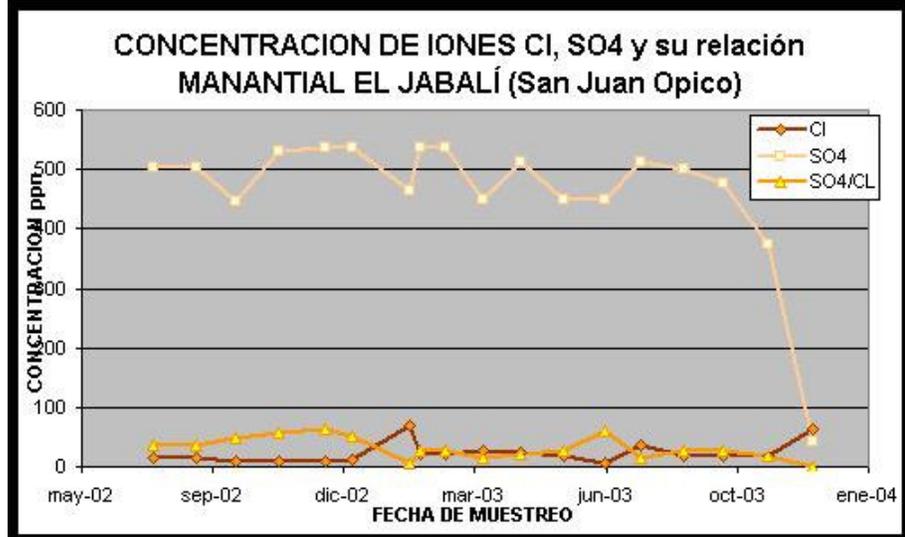
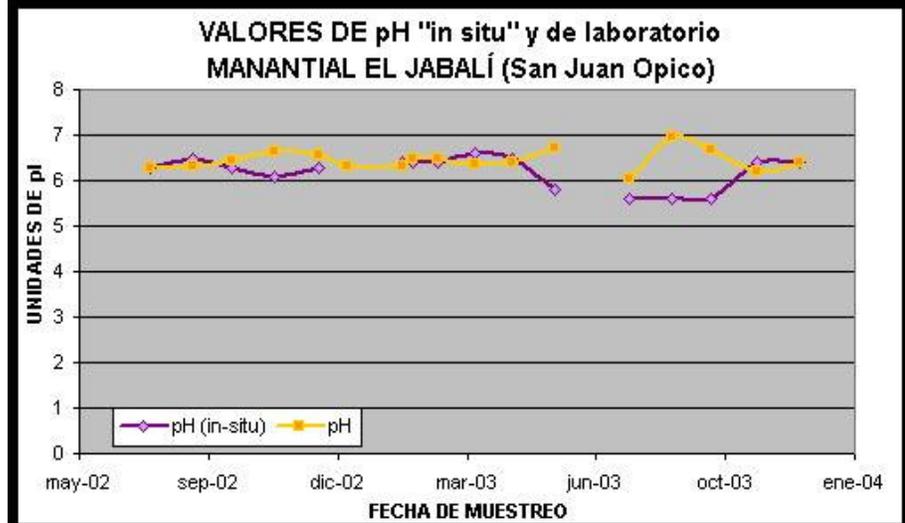
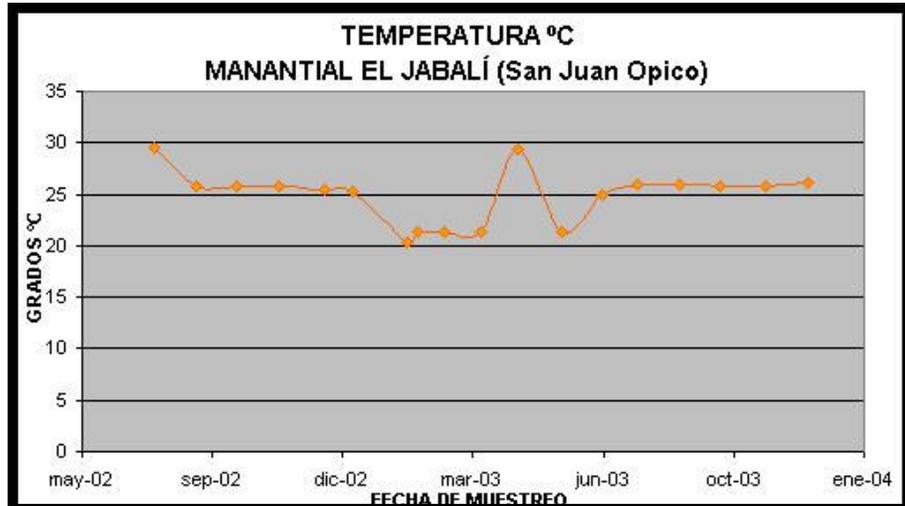
### Pozo Plantel Universitario



## Pozo Pasaje Verde



## Manantial EL Jabalí



### **Figura 18. Línea base del comportamiento Hidrogeoquímico del volcán de San Salvador**

La temperatura en las fumarolas del Cerro La Hoya se midió con termocupla manual y reportó un promedio de 75.9 ° C durante las cuatro veces que se realizó la medición en 2003. La temperatura del suelo es medida en forma continua por la estación de monitoreo geoquímico operada por la Universidad Nacional de El Salvador y reporta una media entre los 68 y 69 ° C.

### **Deformación volcánica**

También con la colaboración de Eduardo Gutiérrez como voluntario y el apoyo de Julio Espinosa, quien es un estudiante graduado de la Universidad Albert Einstein se monumentó con bancos de marca la corona de la fractura eruptiva del flanco norte del Boquerón. Para realizar el monitoreo de cambios en elevación asociados a intrusión magmática. Las mediciones se realizan con una estación total SOKIA (Foto 10). La metodología utilizada va a ser mejorada a través de la tesis de grado del estudiante durante el 2004.

**Foto 10: Nivelación de Bancos de Marca para el control de deformaciones en flanco Norte del volcán de San Salvador.**



También se realizó monitoreo visual del cráter del Boquerón en cuatro ocasiones. No se observaron cambios significativos en su interior, ni la ocurrencia de derrumbes de importancia. El monitoreo visual se complementa con la información proporcionada por observadores locales, concretamente los cuidadores de los jardines del Canal 12 contiguos al cráter.

## Gases difusos

El monitoreo de la degasificación difusa (flujo de CO<sub>2</sub>) en modo continuo en el volcán de San Salvador se realiza a través de una Geoquímicas (Stationflux) operadas por el Grupo de Investigación Vulcanológica de la UES. Los resultados de este monitoreo, iniciado hace dos años, ha permitido tener una línea base preliminar en cuanto a emisión de gases difusos a través del cono volcánico (Ver figura 19). La integración de los resultados de esta técnica de vigilancia con los datos de monitoreo sísmico y/o geomorfológico no se realizó de forma sistemática durante este año debido a problemas para obtener los datos. Se prevé mejorar la relación con el equipo UES durante el año 2004.

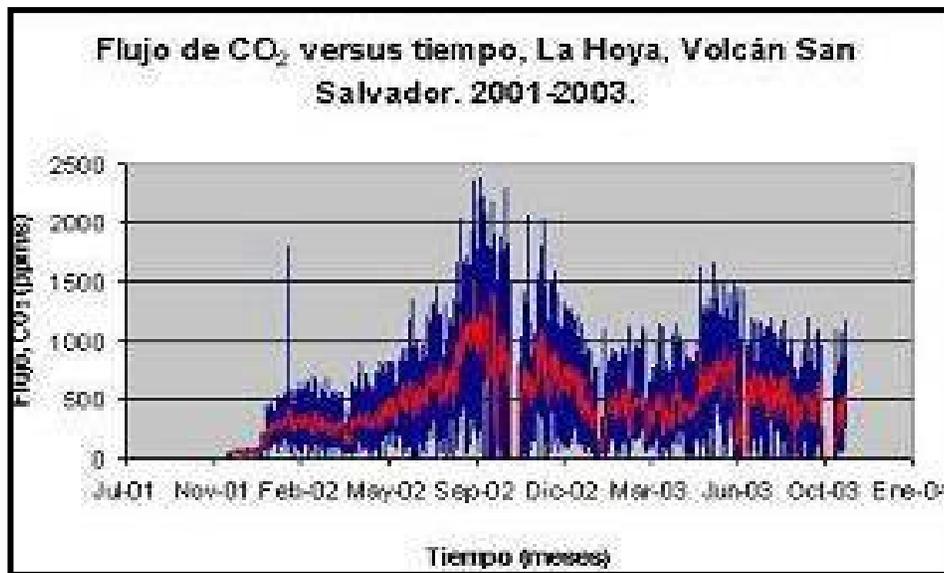


Figura 19. Línea base preliminar de flujo de CO<sub>2</sub> en volcán de San Salvador

## Discusión

La última erupción del volcán de San Salvador en 1917 dio lugar a un flujo de lava que emergió a lo largo de una grieta con rumbo N35° W, y varias bocas eruptivas. También se reportó actividad explosiva en el cráter que evaporó su lago y formó el cono denominado Boqueroncito. De acuerdo a la información verbal que se ha recopilado por el momento, la actividad de 1917 inició con pequeños eventos sísmicos el día 7 de junio, que poco a poco se hacían más fuerte, hasta que por la noche del mismo día comenzó la erupción por el flanco norte.

Después del monitoreo sistemático realizado durante 2002 y 2003 puede afirmarse que por el momento el volcán no presenta signo de inminente reactivación, es decir, se encuentra tranquilo, dormido, presentando la microsismicidad y actividad que es usual como todo volcán activo

Sin embargo se aprovecha su adormecimiento para estudiarlo y profundizar en su conocimiento. Durante el año 2003, se han iniciado los trabajos de caracterización de depósitos eruptivos para evaluar la amenaza volcánica y construir con ello el mapa de escenarios de procesos volcánicos. Proyecto se realiza durante 2004 en colaboración con el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México con el apoyo de la Secretaría de Relaciones Exteriores mexicana.

### Comportamiento del Volcán de Izalco

Desde la última erupción en 1966, el Volcán de Izalco ha permanecido con una actividad muy baja. Siendo el volcán más joven del país, presenta fumarolas débiles en el área del cráter, algunas localizadas en los flancos y otras en el área del cráter.

Por su baja actividad las visitas al volcán se realizan cada tres o cuatro meses, con apoyo de la PNC de turismo.

Durante el 2003 se hicieron tres visitas, durante las cuales se realizaron observaciones visuales al cono y cráter y se tomaron temperaturas de las fumarolas (Ver tabla 3).

No se percibe olor a azufre en el área cratérica, las fuertes pendientes de sus laderas facilitan avalanchas y desprendimientos de rocas que amenazan a las personas que visitan al volcán. Los datos de temperatura sugieren que el volcán se encuentra en proceso de desarrollo de un pequeño sistema hidrotermal.

<b>Datos de inspecciones al volcán de Izalco</b>		
<b>Fecha</b>	<b>Temperatura fumarolas</b>	<b>Comentarios</b>
Febrero 2003	80 ° C	Termómetro manual
Marzo 2003	76.1 °C. Grieta borde Norte	Termómetro manual
Agosto 2003	82.0°C Grieta NW	Termómetro manual
Diciembre 2003	81.0 °C Ladera borde Norte	Termómetro manual

**Tabla 3: Datos de temperatura de fumarolas en el cráter del volcán de Izalco**

También se realiza monitoreo instrumental a través de una estación sísmica ubicada en la Cooperativa de San Blas.

### Discusión

En el volcán de Izalco la temperatura de las fumarolas es baja y no emiten olor a azufre, por su olor característico se trata de vapor de agua, lo cual indica que el volcán esta en un proceso de reposo eruptivo.

## Comportamiento del Volcán de San Vicente

El volcán de San Vicente es un estrato - volcán andesítico, del cual no se tiene registro de erupciones ocurridas durante los últimos 500 años. Aún así, por su envergadura, por la presencia de enjambres sísmicos que presenta el área paracentral del país y por presentar un campo fumarólico en su sector norte, es necesario ejercer cierta vigilancia de su comportamiento. En función de ello se realizan mediciones y observaciones periódicas en conjunto con el grupo de investigación de la Universidad Nacional de El Salvador.

La vigilancia a este volcán se realiza a través de 1 estación sísmica y con una estación de monitoreo de gas CO<sub>2</sub>. La inspección visual al campo fumarólico de Los Infiernillos se realiza trimestral o cuatrimestralmente.

El monitoreo de la degasificación difusa (flujo de CO<sub>2</sub>), ha permitido tener una línea base preliminar en cuanto a emisión de gases difusos a través del cono volcánico (Ver figura 20). Se prevé mejorar la relación con el equipo UES durante el año 2004.

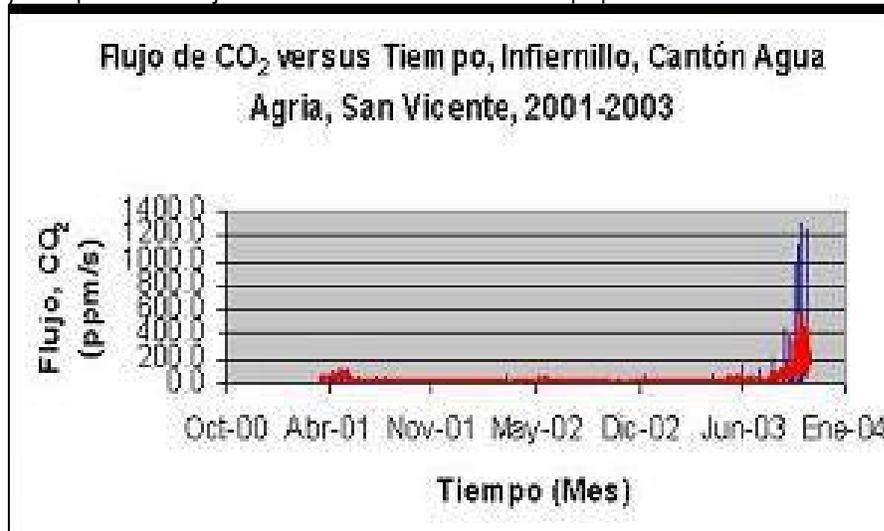


Figura 20. Línea base preliminar de flujo de CO<sub>2</sub> en el volcán de San Vicente

## Discusión

La estación sísmica registra un promedio mensual aproximado de 3 de eventos sísmicos, ello se asocia a la **relación tectónica local/regional** de la zona y no a la actividad propia del volcán. La temperaturas de los Infiernillos de Aguas Agrias son bajas, es decir oscilan entre los 95 y 99 ° C y no existe registro de variaciones durante el año 2003. Tampoco se tiene reporte por parte de la UES de cambio en la emisión de gases difusos. Sin embargo es importante mencionar que la zona vecina al volcán, como Apastepeque y la ciudad de San Vicente se caracterizan por sus antecedentes de actividad sísmica, la cual al momento no se sabe su relación con el volcán. Por lo anterior se concluye que el volcán se encuentra en proceso de reposo eruptivo.

## **Comportamiento del Volcán de Ilopango**

El Lago de Ilopango es un tipo de volcán que se caracteriza por erupciones muy explosivas que ocurren aproximadamente cada 10,000 años. La caldera actual tiene una superficie de 72 Km<sup>2</sup> y una profundidad de 250 m. El volcán se localiza a 14 Km. de la capital San Salvador. Su última actividad ocurrió en 1880, dando lugar a la formación de las Islas Quemadas dentro del lago.

### **Monitoreo sísmico**

La caldera de Ilopango se vigila con tres estaciones sísmicas: La Ceiba, El Faro y Las Brisas, las cuales registran un promedio mensual de 5 eventos clasificados como Volcano-Tectónicos, asociados al sistema de fallas que cruzan la caldera.

El comportamiento del volcán de Ilopango se mantiene dentro de los límites estables.