

***Volcán Poás: Actividad freática en el 2014***  
***Erupciones freáticas de junio y octubre: las más energéticas del año***



Dr. Maarten de Moor del OVSICORI-UNA instalando equipo de monitoreo en tiempo real para la composición de los gases magmáticos emitidos a través del lago caliente ultra-ácido del volcán Poás. (Foto: G. Avard, 15 oct 2014)

*Elaborado por:*

Dr. Geoffroy Avard, Dr. Maarten de Moor, Dra. María Martínez,  
Dra. Dulce Bracamontes, Ing. Cyril Müller, Dr. Javier Pacheco,  
MSc. Enrique Hernández, Dr. Jorge Herrera Murillo

*Con contribuciones de:*

Lic. Jorge Brenes, Bach. David Osorno, Frida Cordon, Mariela Saborío

**Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica**  
**Universidad Nacional**  
**OVSICORI-UNA**

## ***Erupciones freáticas de junio y octubre: las más energéticas del año***

### **Resumen**

El volcán Poás se encuentra actualmente en un ciclo de erupciones freáticas que comenzó en marzo del 2006 y fue precedido por cambios geofísicos y geoquímicos drásticos desde marzo del 2005. Las erupciones freáticas se han venido presentando en forma esporádica, la mayoría de ellas generan columnas de materiales eyectados que no superan los 10-50 metros. En algunos períodos las erupciones freáticas son más frecuentes y vigorosas, como las observadas en los años 2011, 2012, y 2014 que produjeron columnas de varios cientos de metros de altura (100 - >300 m). Las erupciones más energéticas del 2014 ocurrieron el 2 de junio y el 8 y 13 de octubre. La erupción del 13 de octubre generó caída de partículas finas sólidas y líquidas en el sector al sur del cráter activo abarcando El Mirador, el Centro de Visitantes, el parqueo del Parque Nacional Volcán Poás e inclusive Fraijanes lo que motivó a los administradores del parque nacional a activar el protocolo de control de visitantes. La distribución y caída de partículas finas hacia el sur fue claramente influenciada por la dirección predominante de los vientos al momento de la ocurrencia del evento freático. Por otra parte, las fluctuaciones significativas de los indicadores del monitoreo geofísico y geoquímico indican que el régimen del sistema magmático-hidrotermal que alimenta las fumarolas y el lago ácido del Poás es inestable, con expansión del edificio, cambios significativos en las variables geoquímicas y flujos altos de gases. Se espera que el Poás continúe con actividad freática explosiva. El mayor riesgo para los visitantes del parque es la exposición a los gases y partículas finas que pueden llegar hasta el mirador y depende principalmente de la dirección del viento en el momento de la explosión. Al final de este documento, se presentan los posibles escenarios de actividad futura del volcán Poás, así como del alcance de los materiales eyectados por las erupciones.

### ***I\_ Introducción***

Poás es un estratovolcán calc-alkalino basáltico y andesítico (Prosser & Carr, 1987) ubicado en la Cordillera Central de Costa Rica. Su última actividad freatomagmática ocurrió entre 1953 y 1955. Dos bocas separadas por 150 m estuvieron activas durante este ciclo eruptivo: la boca localizada al sur formó un pequeño cono de piroclastos de ~40 m de altura en 1955, frecuentemente llamado el “domo” (Fig. 1); la boca localizada al norte colapsó y se llenó con agua de lluvia para formar de nuevo un lago ácido caliente en 1961 (Martínez et al., 2000).



Figura 1. Vista de Google Earth sobre el cráter activo y la infraestructura turística del volcán Poás

Desde 1977, se han observado y documentado varios períodos de erupciones freáticas intermitentes en el lago, generando explosiones de vapor-gases-agua con columnas de materiales de algunos metros hasta algunos cientos de metros de altura (Bennett and Raccichini, 1978a,b; Bennett 1979; Francis et al., 1980; Rowe 1992a,b; Rymer et al., 2005). El ciclo actual de erupciones freáticas fue precedido por cambios geofísicos y geoquímicos así como fuerte actividad convectiva en marzo del 2005 seguido por el inicio de un nuevo ciclo de actividad freática en marzo del 2006 (Martínez, 2008), el cual persiste hasta el presente con algunos períodos más activos que otros.

## II\_ Observaciones

### II.1 Erupciones freáticas

Desde la instalación de una Cámara Web en el borde norte del cráter activo del Poás en diciembre del 2013 (donada por USAID/OFDA/LAC de Estados Unidos), el OVSICORI-UNA ha observado numerosas erupciones freáticas, algunas sobrepasando los 300 m de altura (25 febrero, 30 de marzo, 2 de junio, 27 de agosto, 8 de octubre y 13 de octubre, Fig. 2). Generalmente, estas erupciones presentan una fuerte emisión de vapor y gas, además de material sólido de apariencia oscura y del agua ácida expulsada del lago. En todas las erupciones grandes se observa un jet de material denso en el centro de la columna que cae sobre el lago en cuestión de menos de 10-15 segundos, acompañado con una nube más diluida y ligera de vapor de agua y sedimentos finos. Se observa que el material denso emitido por las erupciones cae rápido y queda restringido al lago o dentro de un rango de 100 m del borde del lago. La nube ligera es la parte de la columna eruptiva que en ocasiones llega a la cámara web, dependiendo fuertemente de la dirección del viento. A veces, las explosiones freáticas están compuestas de una serie de erupciones que ocurren en menos de 2 minutos, frecuentemente el jet tiene una componente dirigida hacia el este.

La erupción del 13 de octubre generó caída de materiales en el Centro de Visitantes y el parqueo público lo que activó el protocolo de control de visitantes en el Parque Nacional. Las observaciones de la cámara web indican que esta erupción tuvo 3 ó 4 pulsos menores antes de la erupción principal y que generó un jet de material denso con una altura que rebasó los 250 metros (fuera del límite del campo de vista de la cámara web). Los sedimentos muy finos que llegaron al centro de visitantes fueron transportados por la nube ligera como consecuencia de la dirección del viento que predominaba hacia el sur en el momento de la explosión del 13 octubre.

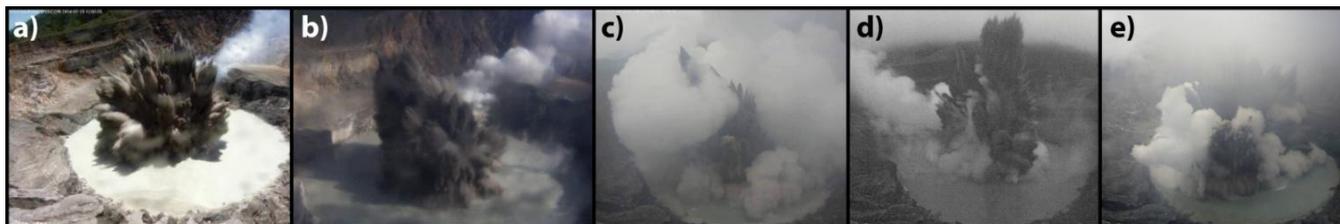


Figura 2. Erupciones freáticas observadas en el 2014 con la cámara web del OVSICORI-UNA donada por el USAID/OFDA: a) 25 de febrero, b) 30 de marzo, c) 27 de agosto, d) 8 de octubre y e) 13 de octubre.

### II.2 Partículas finas emitidas por las erupciones freáticas del volcán Poás

Las erupciones freáticas energéticas del volcán Poás producen la expulsión de materiales del lago y del sistema hidrotermal subyacente. Los materiales expulsados consisten principalmente en: vapor, gases, agua, sedimentos, fragmentos de roca, arcillas, azufre nativo, y una variedad de fases minerales como yeso, anhidrita, cristobalita y sílica. Parte de los materiales más finos son expulsados en forma de una

nube de aerosoles líquidos y sólidos muy livianos que son transportados a distancias considerables, cuya distribución depende principalmente de la dirección del viento. El “spray” depositado se aprecia en forma de manchitas blancas diminutas o como una capa delgada de material blanquecino sobre la superficie de la vegetación, suelo, infraestructura y automóviles en las inmediaciones del cráter activo del Poás. En ocasiones, el “spray” depositado alcanza los poblados aledaños al Parque Nacional Volcán Poás como se aprecia en la siguiente figura:



*Figura 3. Depósito de material muy fino (“spray” de aerosoles) expulsado del lago ultra-ácido del Poás por la erupción freática del 18 de octubre del 2012 sobre la baranda del mirador para visitantes y sobre una bromelia. Fotos: María Martínez OVSICORI-UNA.*

Tres horas después de la erupción del 13 de octubre del 2014, los funcionarios del OVSICORI recolectaron muestras del material emitido (Fig. 4), encontrando fragmentos con un tamaño de hasta ~1 cm sobre el domo y partículas finas (inferiores a 0.5 mm) alrededor. Las observaciones del material eyectado por la erupción freática, realizadas en el Laboratorio de Petrología del OVSICORI, mediante microscopios binoculares y trinoculares, muestran que el material se compone principalmente de yeso y arcillas (Fig. 4b). Los fragmentos presentan minerales de yeso, depósitos de azufre (Fig. 4d) y una alteración del vidrio y de los feldespatos (Fig. 4c). Se encontraron también minerales de magnetita oxidada. Este material corresponde principalmente a los sedimentos que se depositan en el fondo del lago y a algunos fragmentos ígneos alterados (más oscuros) arrancados del conducto por la erupción. No se encontró material magmático fresco, ni material del orden de varios centímetros de tamaño, lo cual prueba el carácter freático de la explosión con energía moderada.

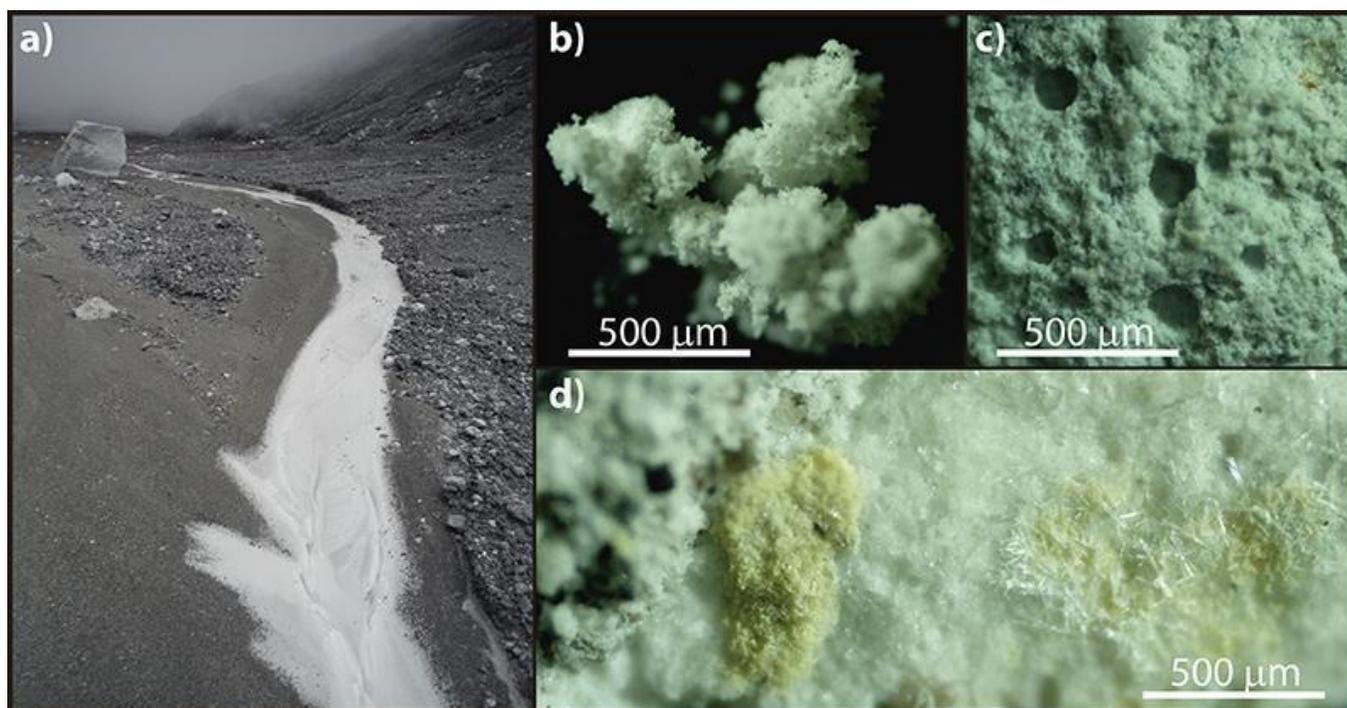


Figura 4. a) Depósito de sedimentos emitidos por la erupción del 13 de octubre del 2014. b) Arcilla fina que constituye la parte más importante del depósito. c) Alteración de los minerales por la acidez de los gases y del lago. d) Depósito de yeso y azufre sobre un fragmento (Fotos: G. Avaró, realizadas con un microscopio trinocular de petrografía, Laboratorio de Petrología, OVSICORI-UNA).

Entre los años 2011 y 2013 el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, OVSICORI-UNA, y el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales, LAA, ambas entidades de la Universidad Nacional, realizaron una investigación para caracterizar el tamaño y la composición química de partículas suspendidas en el aire atmosférico generadas por las emisiones volcánicas del Poás y por actividad antropogénicas en zonas urbanas en las inmediaciones del Valle Central del país. Los resultados preliminares de esta investigación permitieron categorizar los aerosoles emitidos por el volcán Poás en dos grupos principales: 1) Tamaño de partícula menor a  $2,5 \mu\text{m}$  [PM<sub>2,5</sub>], y 2) Tamaño de partícula menor a  $10 \mu\text{m}$  [PM<sub>10</sub>]. Ambos tipos de partículas son muy ácidas, solubles en agua, y ricas en haluros y sulfatos de diversos cationes, así como especies metálicas. Además, este estudio permitió establecer que durante condiciones normales de desgasificación fumarólica persistente en el Poás, dominan en el aire atmosférico las partículas PM<sub>10</sub>. Sin embargo, cuando ocurren erupciones freáticas a través del lago ultra-ácido del Poás las partículas mucho más finas del tipo PM<sub>2,5</sub> son las que predominan en la atmósfera y están presentes en forma de un “spray”. Las partículas más finas ( $<2,5 \mu\text{m}$  o PM<sub>2,5</sub>) son las que pueden actuar como núcleos de condensación y tener un efecto en la visibilidad atmosférica y sobre el clima. Además, pueden penetrar estructuras internas de los sistemas respiratorios de organismos vivos como plantas y animales, especialmente si son solubles en agua. Otro de los hallazgos de esta investigación es que en el ambiente volcánico en la cima del volcán Poás hay en promedio menor cantidad de partículas finas por volumen de aire atmosférico en comparación con el ambiente urbano del Valle Central. Sin embargo, a pesar de esta diferencia, las partículas de origen volcánico resultaron ser más ácidas, ricas en especies metálicas y por tanto agresivas y nocivas para los ecosistemas.

El mismo día de la ocurrencia de la erupción freática del 13 de octubre 2014, vulcanólogos del OVSICORI-UNA recolectaron muestras del material expulsado del lago que se encontró al pie del “domo”, el cual es una estructura ubicada al sur del lago ultra-ácido donde por décadas se ha venido presentando desgasificación fumarólica. Este material es una mezcla de agua y sólidos muy finos (previamente

descritos) de carácter mucho más ácido ( $\text{pH} = -0,29$ ) que el agua del lago ultra-ácido ( $\text{pH}_{\text{Lago}} = -0,14$  el 12 de octubre del 2014).

### II.3 Modelado de la dispersión de partículas finas emitidas por las erupciones freáticas del volcán Poás.

Un modelo numérico con conservación de masa y de volumen finito 3D (*Ash3D*) fue desarrollado por *Schwaiger et al., 2012*, para predecir la distribución y depositación de cenizas volcánicas incorporadas en la atmósfera. El modelo considera la altura de la pluma, el volumen del material eyectado y la duración de la erupción. Aunque el modelo se desarrolló para erupciones magmáticas, aquí lo empleamos para

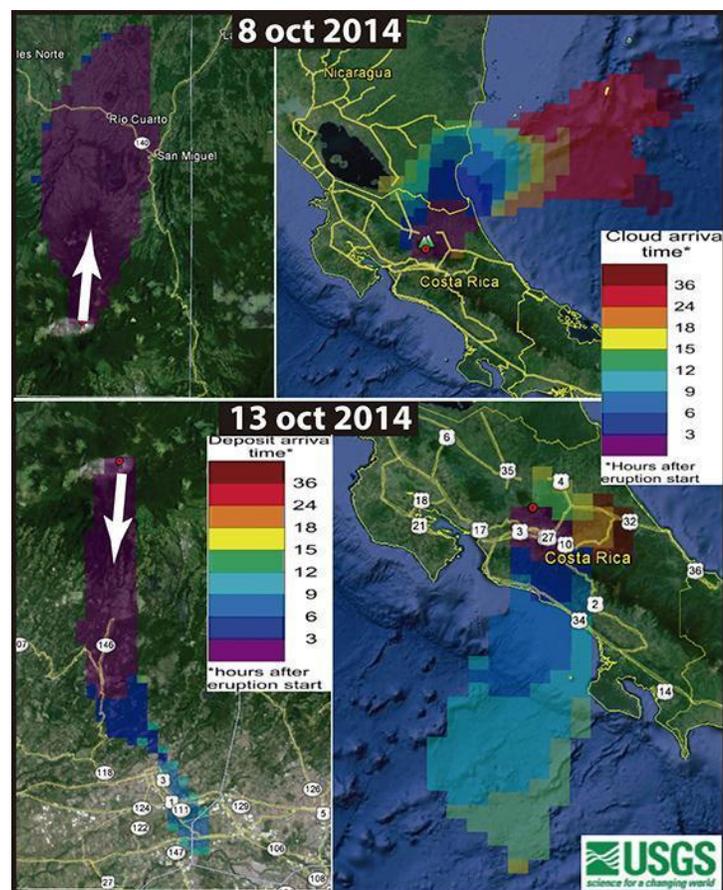


Figura 5. Modelo de dispersión de partículas *Ash3D* (USGS) que corresponde a erupciones de 6 minutos con una pluma que alcanza 1000 m por encima de la cumbre. Se muestra la dispersión de partículas de la explosión del 8 de octubre a las 5:45 pm (arriba) y del 13 de octubre a las 8:58 am del 2014 (abajo). Además, se presenta la propagación de la pluma y el tiempo necesario para observar el depósito del material.

simular la dispersión y transporte de las partículas expulsadas por las dos erupciones freáticas más energéticas registradas en octubre del 2014.

Mediante el modelado de dispersión de ceniza *Ash3D* se observó un comportamiento de la pluma de partículas muy diferente entre la erupción freática del 8 de octubre y la del 13 de octubre, esta última fuertemente influenciada por la dirección del viento (Fig. 5). Se consideró que ambas erupciones fueron muy parecidas en duración, volumen emitido y altura de la pluma. El 8 de octubre la pluma se dispersó hacia el norte, mientras que el 13 de octubre la pluma siguió un rumbo hacia el sur, afectando a los visitantes del parque ubicados en el Mirador de Visitantes y en el sector sur del cráter activo. Estos resultados muestran que los materiales emitidos por las erupciones freáticas pueden o no afectar a los visitantes del Parque Nacional Volcán Poás dependiendo de las condiciones atmosféricas prevalecientes. Los resultados indican que dos erupciones del mismo tamaño pueden tener efectos muy diferentes en el área dependiendo sólo de las condiciones del viento. Cabe mencionar que la dirección predominante de los vientos es hacia el oeste.

### III Monitoreo sísmico

La serie de tiempo de las erupciones freáticas observadas en los registros sísmicos a partir del 2012 se muestra en la Figura 6. Las longitudes de las barras indican la amplitud máxima registrada en la componente vertical del sismograma asociado a cada erupción freática. Puede observarse que las explosiones alcanzaron las mayores amplitudes sísmicas durante el 2012 (13 de abril, 30 de julio y 27 de octubre) e inicios del 2013 (3 de enero). Entre el 4 de agosto y hasta el 3 de octubre del 2012 no se

presentaron explosiones freáticas. En 2013, después de enero, la actividad freática se mantuvo estable, con pequeñas fluctuaciones en las amplitudes sísmicas. Durante el 2014, sobresalen las explosiones ocurridas el 2 de junio y el 8 y 13 de octubre. El número de erupciones freáticas lo suficientemente energéticas para dejar un registro sísmico disminuyó durante julio del 2014, mientras que en setiembre de este año, no se distinguieron erupciones freáticas en los registros sísmicos.

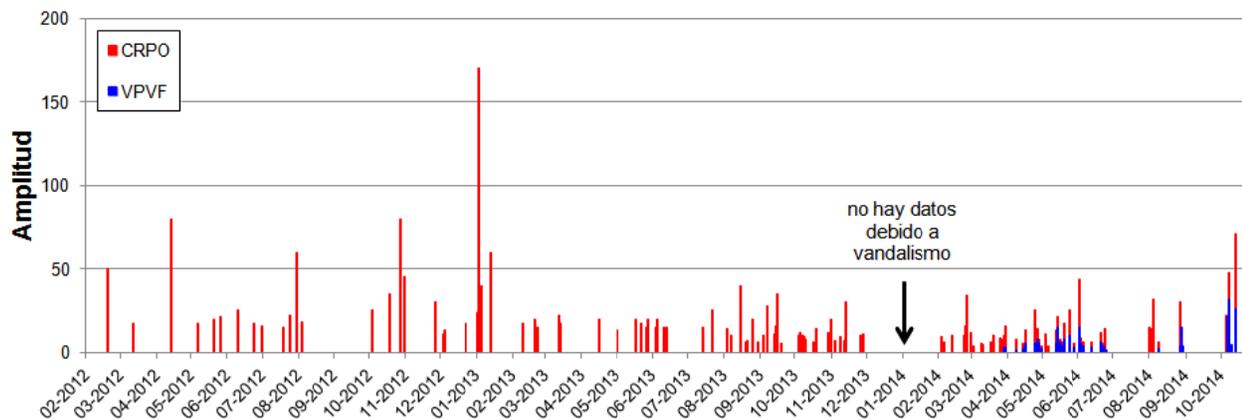


Figura 6. Serie de explosiones freáticas observadas en los registros sísmicos del Poás. Se muestra la amplitud máxima de la señal sísmica registrada en la componente vertical. Los datos correspondientes a las estaciones sísmicas CRPO y VPVF se muestran en rojo y azul, respectivamente.

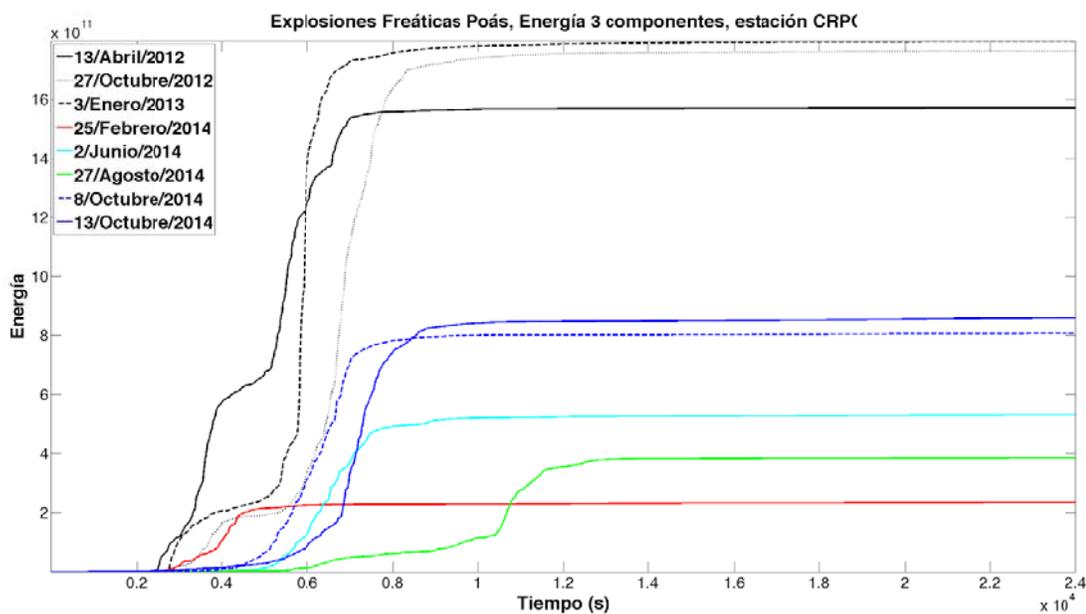


Figura 7. Comparación de la energía sísmica entre las mayores explosiones del 2012 al 2014. Los datos mostrados corresponden a la estación sísmica CRPO. En el recuadro ubicado en la izquierda superior se indica la línea y color empleados para cada erupción.

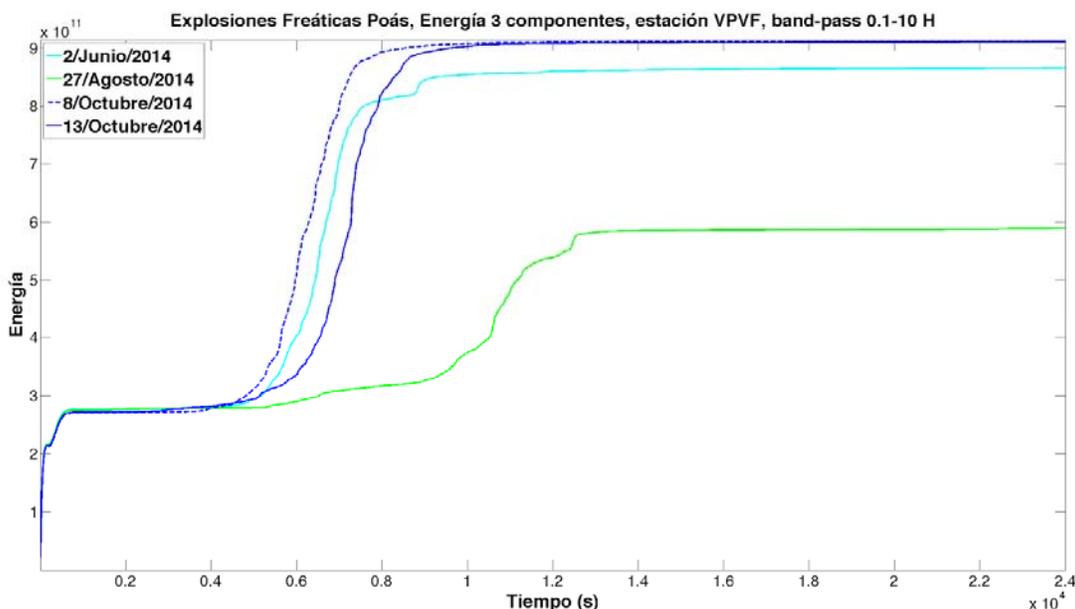


Figura 8. Comparación de la energía sísmica entre las mayores explosiones del 2014, registradas en la estación VPVF.

En la Figura 7 se compara la energía sísmica de las mayores explosiones freáticas ocurridas a partir del 2012. La energía se calculó considerando las 3 componentes sísmicas de la estación CRPO. Por contar con imagen (Fig. 2), como referencia, se muestran también las explosiones del 25 de febrero y 27 de agosto del 2014.

La estación sísmica VPVF se instaló en marzo del 2014. La Figura 8 presenta la comparación de la energía sísmica de las mayores erupciones del 2014, registradas en la estación VPVF. Puede apreciarse que hay una moderada diferencia entre la energía registrada por las estaciones CRPO y VPVF. Para ambas estaciones la energía de las explosiones del 8 y 13 de octubre son muy similares.

Es importante notar (Figs. 7 y 8) que el contenido energético de las mayores explosiones del 2014 (2 junio, 8 y 13 de octubre) es muy inferior a la energía de las mayores explosiones freáticas registradas durante 2012-2013. Las explosiones del 2014 no han alcanzado los niveles energéticos registrados en el pasado.

#### IV Monitoreo geodésico

El monitoreo de la deformación cortical permite detectar fuentes de sobre-presión subterránea, tales como acumulación de gases, magma, o el calentamiento de un sistema hidrotermal. En el volcán Poás, el grupo de volcanología mide las distancias entre un pilar en el mirador (P1VD en la Fig. 9) y 5 reflectores alrededor del cráter. Tres reflectores fueron instalados en 2005 (VPB, VPF, VPG) y 2 otros en 2012 (VPE y VPD). Aunque estas mediciones son relativas y sólo pueden detectar movimientos en la dirección de las distancias (1D), la serie de tiempo de las mediciones registradas (Fig. 10) muestra que un cambio simultáneo en varias de las distancias es indicador de una variación en el comportamiento del volcán. De hecho, la extensión de las distancias ocurrió en mismo tiempo que: 1) el inicio de la actividad freática al inicio del 2006, 2) el incremento de las temperaturas del domo a finales del 2008 y 3) el pico de explosiones freáticas en el 2012.

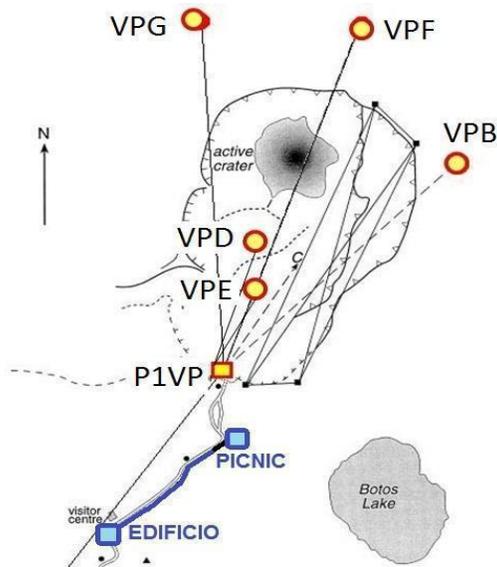


Figura 9. Red geodésica del volcán Poás. Puntos en rojo-amarillo representan los reflectores EDM medidos desde el monumento Pilar Mirador (cuadro rojo-amarillo).

Las observaciones de los últimos meses muestran un incremento de las distancias desde 2 hasta 4 cm. Este cambio es significativo y es similar a lo que se observó entre abril del 2012, aunque el incremento observado es menor. En la Figura 10 pueden apreciarse variaciones significativas en las distancias relacionadas con la ocurrencia de las mayores explosiones freáticas del Poás. La correlación entre la deformación y los eventos volcánicos recientes, sugiere que el patrón observado durante los últimos meses podría anunciar un periodo de mayor actividad freática en el volcán.

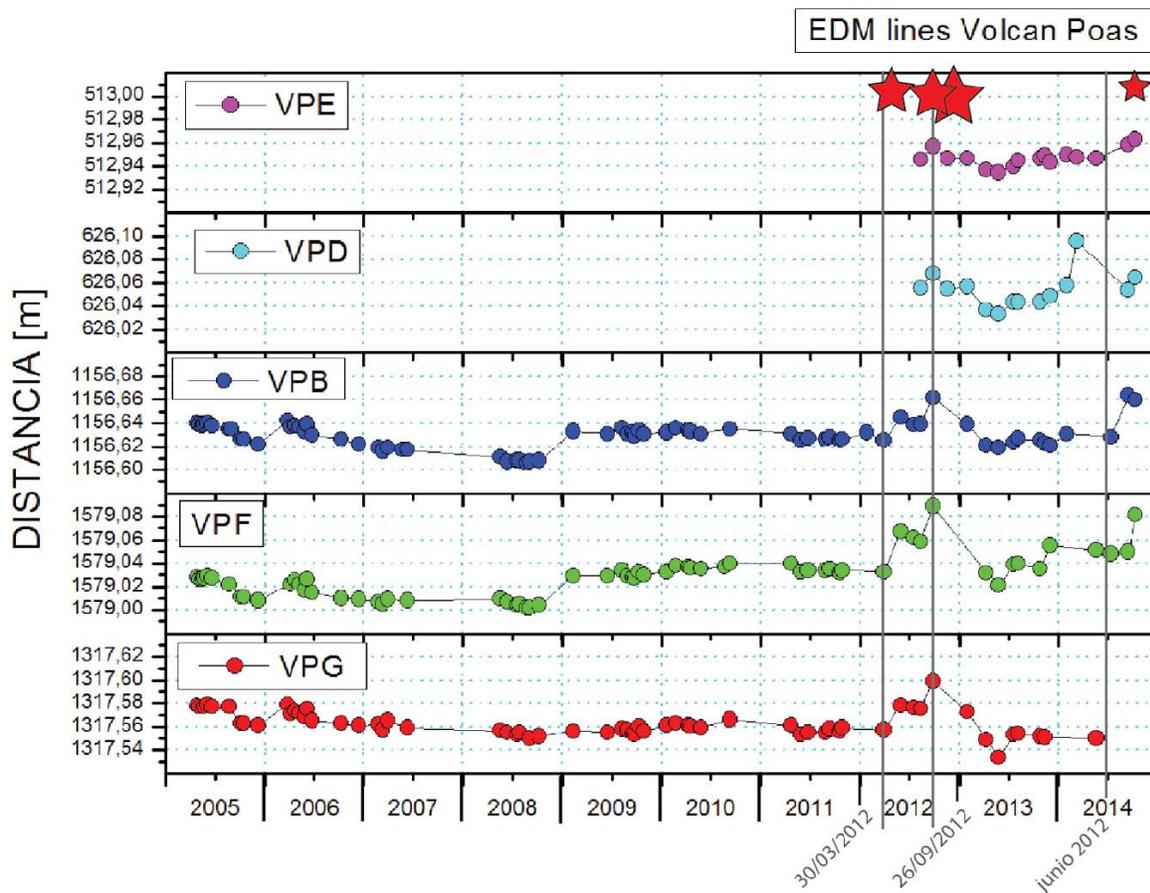


Figura 10. Longitud de las distancias EDM observadas entre el monumento Pilar Mirador, ubicado en el borde sur del cráter activo del Poás, y los reflectores VPE, VPD, VPB, VPF y VPG. Las estrellas rojas muestran las 4 explosiones más grandes registradas desde febrero del 2012. El tamaño de las estrellas representa la energía de cada explosión.

## V Monitoreo geoquímico

### V.1 Pluma de Gases

En términos del monitoreo de las emisiones de gases volcánicos se deben considerar dos conceptos: 1) La cantidad de gas liberado y 2) La composición del gas liberado. Los gases volcánicos consisten principalmente de  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2$ , entre otros gases traza. El gas más útil para la evaluación de la cantidad de volátiles liberados por los volcanes es el dióxido de azufre,  $SO_2$ , porque puede medirse en forma remota con espectroscopía óptica de absorción diferencial (“Differential Optical Absorbition Spectroscopy” DOAS) y se expresa como el flujo de  $SO_2$  en toneladas por día. En la discusión que sigue se emplea la razón en las concentraciones de  $CO_2$  y  $SO_2$  ( $CO_2/SO_2$ ) medida en las emisiones de gases (con un instrumento denominado MultiGAS) como un índice para evaluar los cambios en la composición del gas. Generalmente, un aumento drástico en el flujo de  $SO_2$ , además de cambios en la proporción de los gases de tipo hidrotermal ( $CO_2/SO_2 > 3$ ) y magmático ( $CO_2/SO_2 < 3$ ) indican una mayor probabilidad de erupción magmática. La última erupción freatomagmática (erupción que involucra la interacción física de magma con fluidos hidrotermales o meteóricos) en el volcán Poás ocurrió entre 1953-1955. Las primeras mediciones de gases en el Poás se realizaron en 1981. Actualmente se realiza investigación para determinar si los gases pueden ser útiles para anticipar las erupciones freáticas (erupciones sin expulsión de magma fresco/juvenil), como las ocurridas recientemente en el Poás. Las hipótesis más pertinentes en esta discusión son: 1) si las erupciones freáticas ocurren por causa de un conducto bloqueado que no permite que los gases escapen, causando un aumento en la presión en la subsuperficie hasta generar una explosión, o 2) si las erupciones freáticas ocurren por causa de la infiltración del agua de la superficie que, por la interacción con rocas calientes, entra en ebullición instantánea generando una explosión. Si la primera hipótesis es correcta, el monitoreo de gases tiene el potencial de anticipar erupciones freáticas, pero si la segunda es correcta, los gases no permitirán anticipar la ocurrencia de erupciones freáticas.

### *Tendencias de largo plazo en el volcán Poás y el potencial de una erupción magmática*

Las Figuras 11, 12 y 13 recopilan los datos disponibles de la temperatura de las fumarolas, el flujo de  $SO_2$  y el índice  $CO_2/SO_2$  del volcán Poás. Es importante notar que no existen datos para la última erupción magmática (1953-1955), y que estos últimos años el nivel del monitoreo de los gases ha mejorado considerablemente. La Figura 12 muestra que el flujo de  $SO_2$  ha aumentado recientemente, pero no ha sobrepasado los flujos medidos en los años 1981-1983, cuando ocurrieron erupciones freáticas sin expulsión de magma. La Figura 13 muestra que la composición actual de los gases es magmática con  $CO_2/SO_2 < 3$ , la cual es similar a la de los años 1981-1983. Entre 1988 y 2007, el flujo de  $SO_2$  era más bajo, con composición de tipo hidrotermal y con temperaturas  $< 100$  °C.

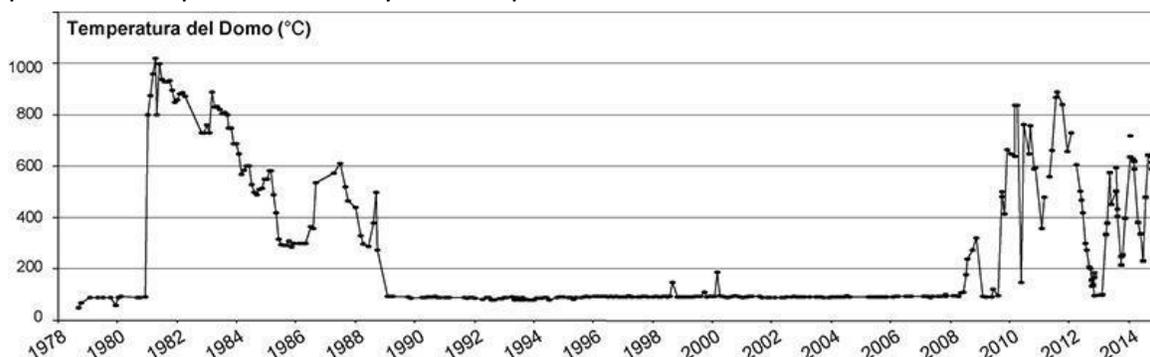


Figura 11. Evolución de la temperatura de las fumarolas del domo desde 1978.

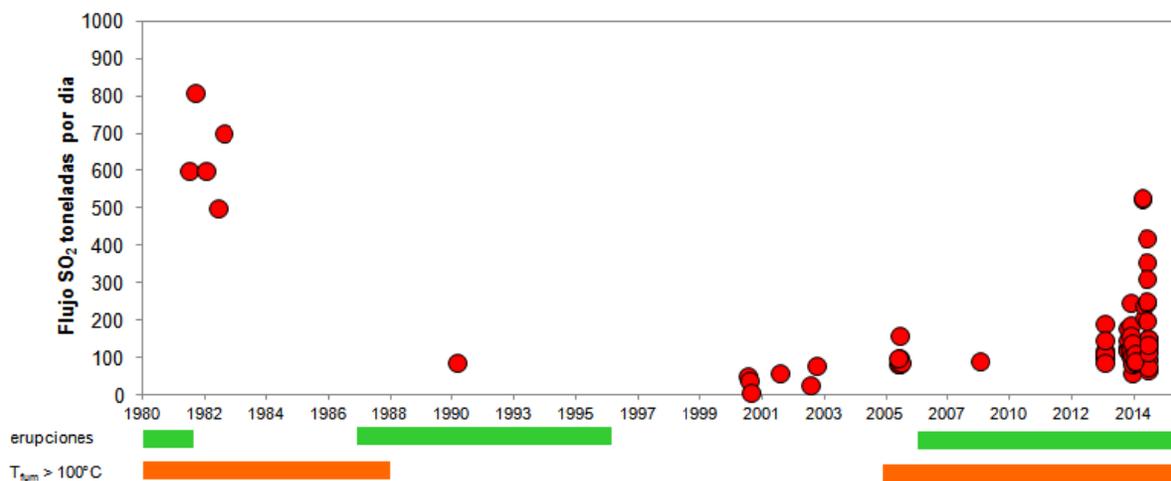


Figura 12. Tendencias de largo plazo en el flujo de  $\text{SO}_2$  del volcán Poás. Las barras abajo indican periodos de erupciones freáticas y periodos de alta temperatura de las emisiones de gases (mayor que el punto de ebullición de agua). Datos de Martínez (2000) y referencias allí dentro.

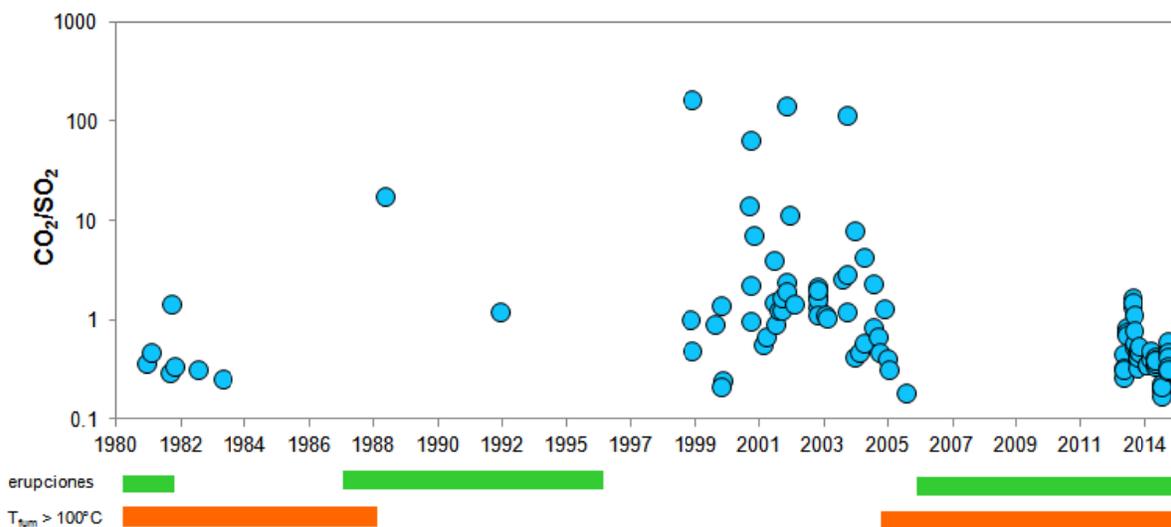


Figura 13. Tendencias de largo plazo en la composición ( $\text{CO}_2/\text{SO}_2$ ) de las emisiones de gases del volcán Poás. Las barras abajo indican periodos de erupciones freáticas y periodos de alta temperatura de las emisiones de gases (mayor que el punto de ebullición de agua). Datos de Martínez (2000) y referencias allí dentro.

La interpretación de estos datos es que aunque el flujo de gas actual es más alto que en 1988-2007 y la composición del gas actual indica composiciones magmáticas, esto no significa necesariamente una alta posibilidad de una erupción magmática, pues durante 1981-1983 se observaron flujos más altos y composiciones similares sin la ocurrencia de una erupción magmática. Sin embargo, actualmente la posibilidad de una erupción magmática es más alta que durante el periodo 1988-2007. Se esperaría un aumento significativo en el flujo de  $\text{SO}_2$ , sin cambios grandes en  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  (pues los gases ya son de tipo magmático) antes de un evento magmático.

#### *Tendencias a mediano plazo en el volcán Poás y su relación con las erupciones freáticas recientes*

Las Figuras 14 y 15 recopilan las mediciones del flujo de  $\text{SO}_2$  y los valores de  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  del volcán Poás entre setiembre del 2013 y octubre del 2014. Los triángulos indican la ocurrencia de erupciones freáticas. En gris se indica el periodo con flujo alto de  $\text{SO}_2$  de hasta  $\sim 500$  toneladas por día y con erupciones freáticas más energéticas pero menos frecuentes (empezando con la erupción del 2 de junio del 2014).

Las últimas mediciones del flujo, realizadas el 13 y el 16 de octubre muestran que el flujo de  $\text{SO}_2$  volvió a valores similares a los medidos entre enero y junio del 2014, periodo en el que ocurrieron erupciones más frecuentes pero de menor energía (no hay datos sísmicos entre noviembre del 2013 y febrero del 2014 debido a vandalismo en la estación sísmica). La Figura 15 muestra los valores de  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  medidos en las emisiones de los gases del lago ácido y en las fumarolas. En todos los casos, los valores de  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  de las emisiones del lago ácido son más altos que los valores de  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  de las fumarolas, pero durante el periodo con erupciones más grandes y menos frecuentes (indicado en gris, Fig. 15) las composiciones de los gases del lago son más similares a los gases de las fumarolas. Las mediciones más recientes del 13 y 16 de octubre, indican que la composición del gas del lago alcanzó valores de  $\text{CO}_2/\text{SO}_2 > 1$ , esto es significativamente más alto que el valor de  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  observado simultáneamente en el gas de las fumarolas.

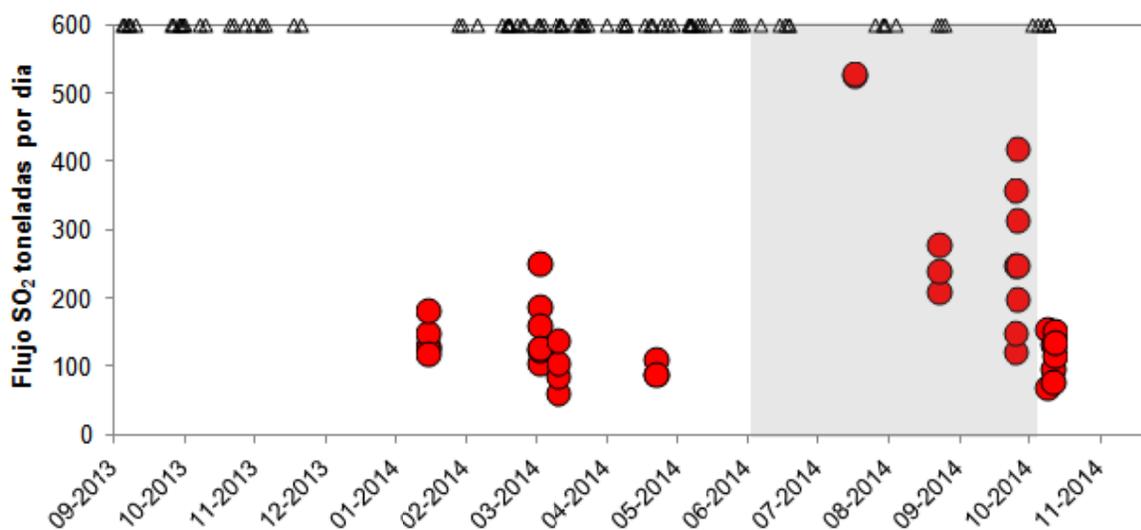


Figura 14. Flujo de  $\text{SO}_2$  del volcán Poás desde setiembre del 2013. Los triángulos indican erupciones freáticas registradas por las estaciones sísmicas. En gris se indica el periodo de erupciones más energéticas.

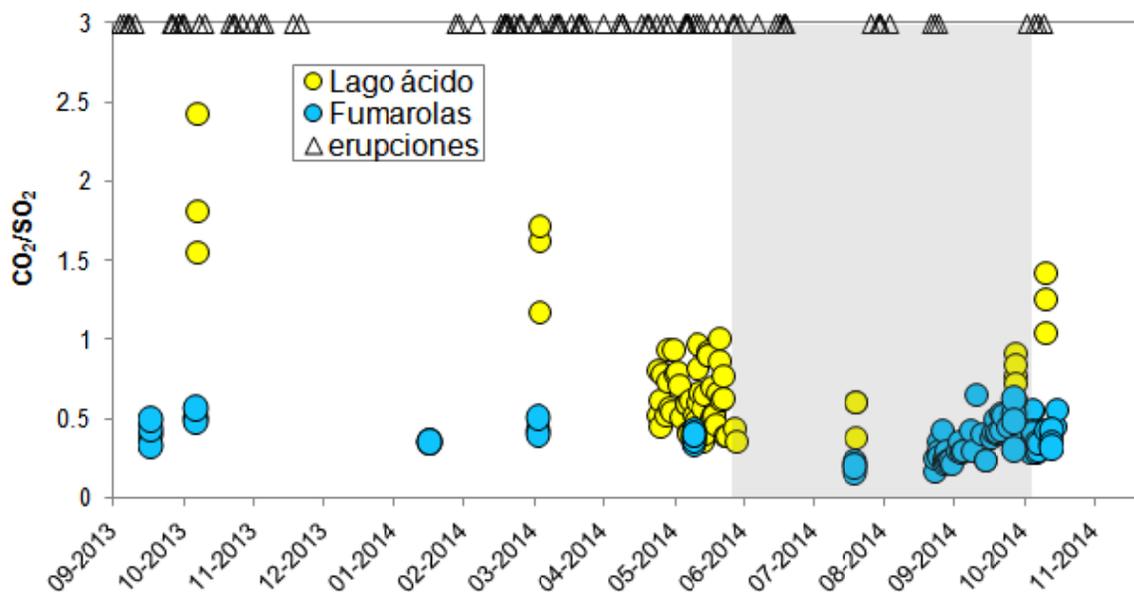


Figura 15. Valores de  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  para las emisiones del gas de las fumarolas y del lago ultra-ácido del volcán Poás desde setiembre del 2013. Los triángulos indican erupciones freáticas registradas por las estaciones sísmicas. En gris se indica el periodo de erupciones más energéticas.

### Interpretaciones:

1. Desde junio del 2014 el flujo de  $\text{SO}_2$  en general ha aumentado y las composiciones de los gases emitidos por el lago ácido han alcanzado composiciones más magmáticas. Las últimas mediciones registradas indican que el sistema es inestable, con cambios significativos entre días o semanas y flujos más bajos.
2. Las erupciones más energéticas están relacionadas con una mayor desgasificación (valores altos de flujo de  $\text{SO}_2$ ) de la fuente profunda (el cuerpo de magma).
3. La diferencia en  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  entre los gases del lago y de las fumarolas se debe a la reacción entre el  $\text{SO}_2$  y el agua. Esta reacción aumenta la razón de  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  en las emisiones del lago y produce el azufre nativo que abunda en el lago. Cuando el lago es más activo, con erupciones más energéticas y mayor desgasificación, el flujo de  $\text{SO}_2$  que entra al fondo del lago es más rápido que las reacciones que producen el azufre nativo. Por esto, cuando el lago es más activo, el  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  de los gases del lago es similar a los gases de las fumarolas.
4. Las pocas mediciones que tenemos después de la última erupción muestran una disminución en la desgasificación, esto puede ser una fluctuación de corto plazo o un regreso de mediano plazo a un nivel más bajo de actividad freática.
5. El monitoreo de los flujos de  $\text{SO}_2$  y las composiciones de los gases son probablemente útiles para evaluar la probabilidad de ocurrencia de erupciones freáticas causadas por gases magmáticos en el volcán Poás. Se requieren más datos para establecer una relación confiable entre las explosiones freáticas y los cambios en la desgasificación.

### V.2 Gases difusos a través del suelo del cráter activo

Parte de los gases emitidos por el volcán pasan por los poros del edificio y se difunden a través del suelo. En 2012 se determinó que estos gases difusos puede representar alrededor del 12% del flujo total de  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono) emitido por el volcán. Con el fin de detectar cambios en la afectación del sistema hidrotermal sobre el flujo total o sobre la porosidad del suelo, frecuentemente se realizan mediciones del flujo de gas para algunos puntos en el fondo del cráter. El monitoreo del flujo de  $\text{CO}_2$  que difunde a través del suelo alrededor del lago caliente ultra-ácido no muestra cambios significativos desde el 2012 (Fig. 16).

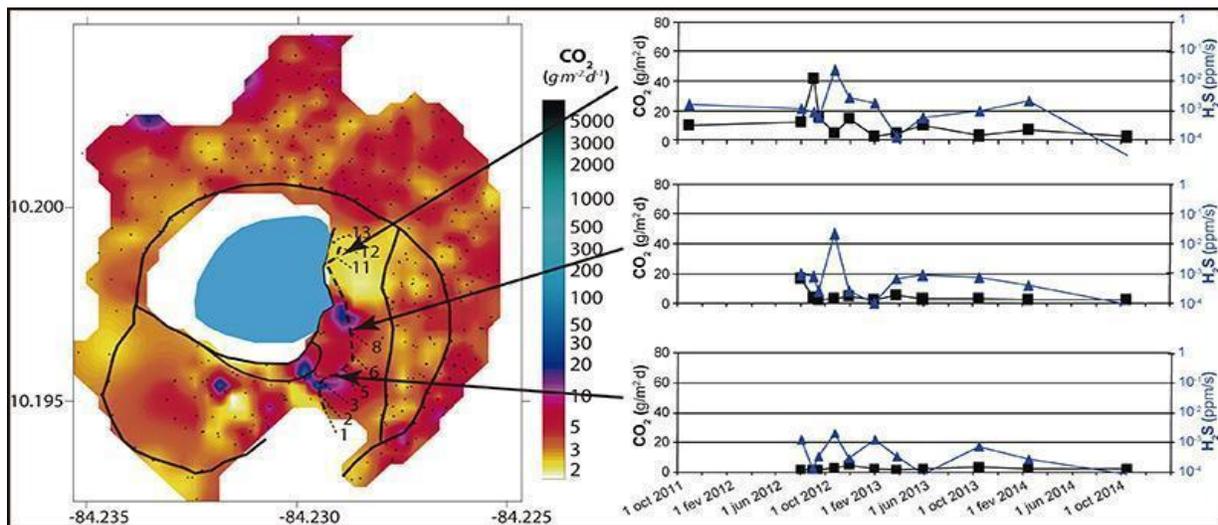


Figura 16. Mapa del flujo de  $\text{CO}_2$  que difunde a través del suelo alrededor del cráter activo del Poás y evolución temporal del flujo para algunos sitios en el sector este del lago.

### V.3 El lago ultra-ácido

A pesar de que estamos en la época lluviosa, la temperatura y la acidez del lago se mantienen considerablemente altas: ca. 50°C y pH = -0,29. Además, los cambios en las proporciones de iones disueltos (sulfato/fluoruro) derivados de la hidrólisis de componentes magmáticos volátiles (SO<sub>2</sub> y HF) observados a inicios del año 2006, muestran un aumento sistemático en la cantidad de gases azufrados que son inyectados desde el sistema magmático-hidrotermal hacia el lago ácido y las fumarolas del “Domo” del Poás (Figs. 17 y 18). En el año 2014, las razones sulfato/cloruro alcanzaron valores máximos >100 justo en los periodos donde ocurrieron las erupciones freáticas más energéticas del año (febrero-marzo 2014, mayo-junio 2014, y setiembre-octubre 2014).

El volcán Poás inició el actual ciclo de actividad freática en marzo del 2006, este se ha caracterizado por la ocurrencia esporádica de numerosas erupciones la mayoría de ellas con columnas cuya altura no supera los 20-50 m. Desde mediados del año 2009 hasta el presente se ha observado un incremento general en la ocurrencia de erupciones freáticas, algunas de ellas bastante energéticas que logran generar columnas de materiales que sobrepasan los 200-300 m de altura como las observadas en diciembre del 2009, 2011, 2012, y 2014. Simultáneamente, las fumarolas del domo del Poás han mostrado temperaturas extremadamente altas entre setiembre del 2009 y el presente variando entre más de 300 y hasta los 890°C (Fig. 11). En algunos periodos se ha observado una cantidad muy baja de erupciones freáticas pequeñas que tienden a ser seguidos por la ocurrencia de erupciones freáticas más energéticas. Por ejemplo, entre agosto y setiembre 2014 la cantidad de erupciones freáticas disminuyó drásticamente pero las pocas erupciones fuertes que se han presentado en estos últimos meses han resultado energéticas: 1) El 27 de agosto una erupción de aprox. 200 m de altura ocurrió después de 2 semanas de actividad convectiva y freática relativamente baja; 2) Las erupciones freáticas del 8 y el 13 de octubre 2014 ocurrieron en forma similar después de más de un mes de observarse débil actividad convectiva y sólo unas escasas y débiles erupciones freáticas.

Las erupciones freáticas del Poás consisten en explosiones de vapor a través del lago como resultado de dos posibles mecanismos: 1) La conversión de una fase líquida super-calentada en una fase de vapor en forma súbita y bajo condiciones metaestables debido a la interacción de fluidos con una fuente de calor (magma) a niveles profundos del sistema hidrotermal que subyace bajo el cráter activo del Poás. El vapor supercalentado se expande violentamente conforme alcanza la zona somera del sistema hidrotermal generando las explosiones hidrotermales, también llamadas erupciones freáticas; 2) La liberación repentina de gas y vapor acumulados y compresionados en la parte somera del sistema hidrotermal al superar la presión hidrostática y la presión de poro debido al sellamiento de intersticios y fracturas con fases sólidas como azufre fundido y alunita. Los productos de estas erupciones contienen gas, vapor de agua, agua del lago ácida e hipersalina, azufre fundido, sedimentos, y fragmentos de roca alterados por la interacción de agua y gas.

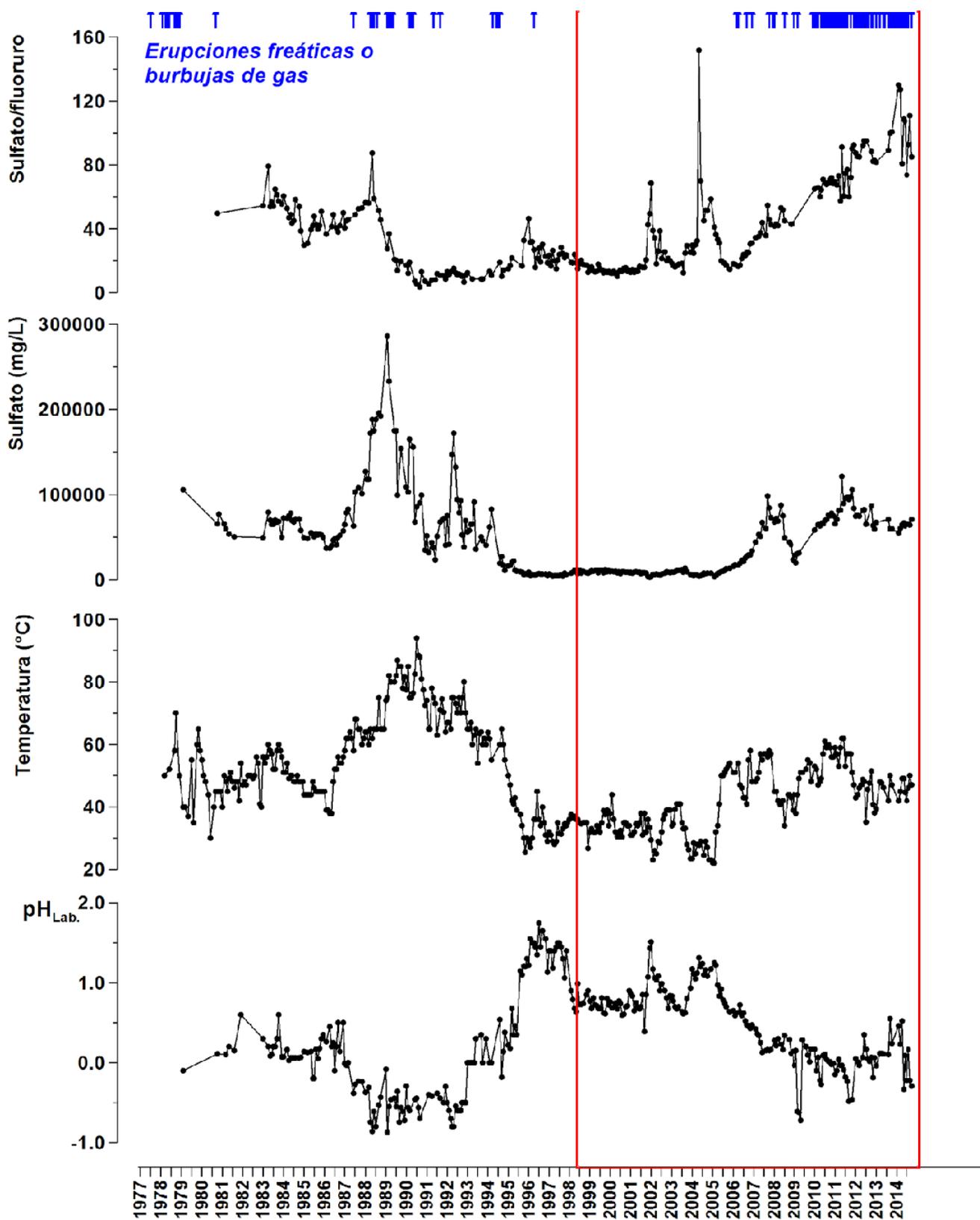


Figura 17. Variación mensual de la acidez (pH), temperatura, concentración de sulfato, y de la razón sulfato versus fluoruro de lago ultraácido del Poás entre 1978 y octubre del 2014. Las flechas en la parte superior del gráfico indican los periodos en los que se ha observado erupciones freáticas o salidas cuantiosas de gas a través del lago. La caja roja corresponde al zoom Fig. 18.

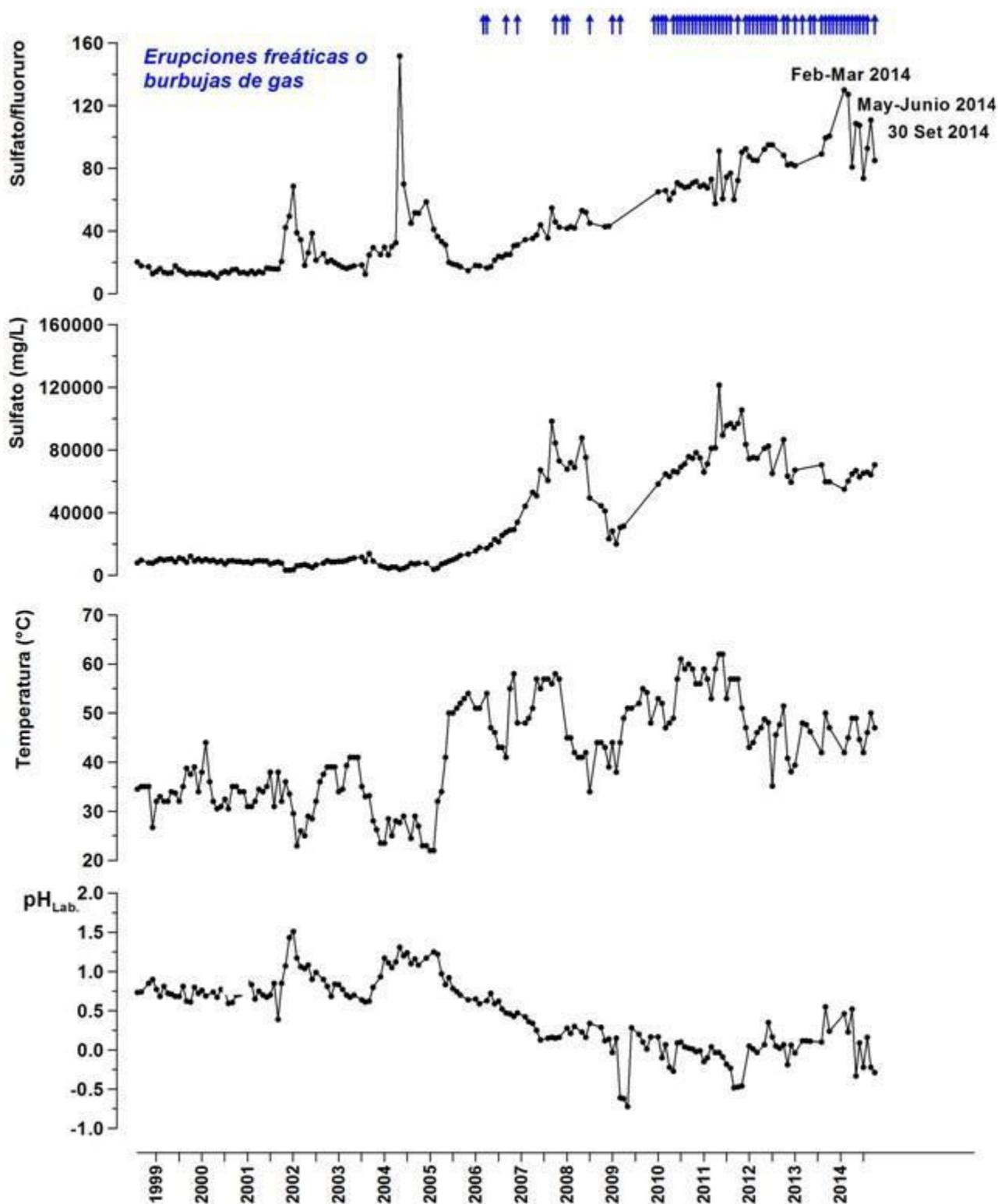


Figura 18. Variación mensual de la acidez (pH), temperatura, concentración de sulfato, y de la razón sulfato versus fluoruro del lago ultra-ácido del Poás entre 1999 y octubre del 2014. Nótese que los 3 picos máximos en las razones sulfato/fluoruro en el año 2014 han coincidido con la ocurrencia de las erupciones freáticas más energéticas observadas este año. Las flechas en la parte superior del gráfico indican los periodos en los que se han observado erupciones freáticas o salidas cuantiosas de gas a través del lago.

## VI\_ Conclusiones

Los perfiles de datos geofísicos y geoquímicos observados en el transcurso del año 2014 indican que la actividad observada en el Poás consiste básicamente en desgasificación persistente de volátiles magmáticos de alta temperatura (>600°C) con explosiones hidrotermales (“erupciones freáticas”) esporádicas.

El impacto del material eyectado por la erupción freática del 13 de octubre estuvo fuertemente influenciado por la dirección del viento hacia el sur, pues la dirección predominante de los vientos es hacia el oeste.

Las erupciones freáticas con mayor contenido de energía sísmica registradas este año son tres: la del 2 de junio y las del 8 y 13 de octubre. Sin embargo, estas erupciones del 2014 no han alcanzado los niveles energéticos de las explosiones registradas entre el 2012 y principios del 2013.

El monitoreo geodésico muestra durante los últimos meses un patrón de expansión de las distancias, lo que podría anunciar un periodo de mayor actividad freática similar al periodo ocurrido entre abril del 2012 y enero del 2013.

Los flujos de gases desde junio del 2014 son los más altos que se han observado desde 1983 y las composiciones de los gases son de tipo magmático. Sin embargo, el flujo de gas en los años ochentas era mayor que lo que se ha observado en los últimos meses del 2014, aún así al día de hoy, no hay ninguna señal geofísica o geoquímica que indique la inminencia de una erupción magmática a corto plazo. Los últimos datos de octubre 2014 indican una tendencia de disminución en la desgasificación sin embargo el sistema hidrotermal del Poás continúa mostrando en general marcadas fluctuaciones reflejando condiciones inestables. Por tanto, es de esperar que en las próximas semanas-meses se sigan produciendo en forma esporádica y súbita erupciones freáticas moderadas como las observadas en lo que ha transcurrido durante el año 2014.

Los perfiles geoquímicos del lago ultra-ácido que documentan casi 40 años de observaciones y mediciones sistemáticas, muestran que las razones sulfato/fluoruro más altas registradas en el lago en 4 décadas son las correspondientes al período setiembre 2009-octubre 2014. Estos altos valores sugieren una inyección de gases magmáticos ricos en componentes azufrados hacia el lago más significativa que en los años precedentes. Esto también sugiere que en el ciclo actual de actividad freática hay mayor inyección de gas magmático al lago que lo que se observó entre enero 1981-agosto 2009.

## VII\_ Evaluación de Escenarios

La integración de los datos de sismología, geodesia, monitoreo de gases, y geoquímica del lago ultra-ácido presentados a lo largo de este trabajo, nos permite evaluar la probabilidad de escenarios hipotéticos futuros de manera cualitativa:

### *Escenario 1: Probabilidad de una erupción magmática en el futuro cercano*

Poco probable: El monitoreo geoquímico del lago ultra-ácido y los gases indican que el volcán está en un periodo de actividad similar al de los años 80's. En este periodo no se presentaron erupciones magmáticas.

### *Escenario 2: Probabilidad de que las erupciones freáticas continúen en el futuro cercano*

Muy probable: Los datos geofísicos y geoquímicos indican que el periodo actual de actividad freática que

inició en ~2005 es el periodo más activo en términos de la actividad eruptiva desde ~1995. No es posible determinar con certeza si las erupciones en el futuro cercano serán mayores o menores que las últimas erupciones moderadas ocurridas en octubre. Sin embargo, los datos más recientes de sismología indican un aumento en la energía de las erupciones, los datos de geodesia indican inflación en el área del cráter y los datos geoquímicos indican inestabilidad del sistema hidromagmático. Las últimas erupciones ocurridas en octubre son de mucho menor energía que las mayores erupciones presentadas en 2012-2013. Las explosiones del 2014 no han alcanzado los niveles energéticos registrados en el pasado.

*Escenario 3: Clastos mayores a un centímetro que alcanzan el área de visitantes en el futuro cercano*

Poco probable: Las erupciones más energéticas de 2012-2014 no generaron caída de clastos mayores a un centímetro afuera del cráter principal.

*Escenario 4: Partículas finas y gases que alcanzan el área de visitantes en el futuro cercano*

Muy probable. Las erupciones de energía moderada del periodo 2012-2014 han generado nubes diluidas y ligeras que tienen el potencial de viajar hacia el área de visitantes. El transporte del material de estas nubes depende principalmente de la dirección del viento.

*Recomendaciones:*

El grupo de vulcanología del OVSICORI-UNA sugiere las siguientes recomendaciones que podrían contribuir a mejorar las condiciones en cuanto a una adecuada preparación ante eventos volcánicos extraordinarios: 1) La instalación de un sistema permanente para el monitoreo de gases volcánicos en el aire atmosférico en las inmediaciones del Mirador de Visitantes del Parque Nacional Volcán Poás. Esto permitirá que se produzcan suficientes datos en tiempo real de la concentración de gases magmáticos como el SO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S en el aire atmosférico. A partir de estos datos se podrá evaluar el riesgo que para el público y residentes del parque representa la exposición a los materiales emitidos por las fumarolas y las erupciones freáticas; 2) La instalación de un sistema permanente para el monitoreo de aerosoles volcánicos en el aire atmosférico en las inmediaciones del Mirador de Visitantes del Parque Nacional Volcán Poás, de manera que se produzcan suficientes datos en tiempo real de la concentración de partículas finas microscópicas suspendidas en el aire (PM1,0; PM2,5; y PM10) para la evaluación del riesgo que podría representar la exposición del público y residentes del parque a los materiales emitidos por las fumarolas y las erupciones freáticas; 3) Sería muy conveniente si los administradores del Parque Nacional Volcán Poás contaran con una reserva de mascarillas y pañuelos húmedos de un estándar adecuado para protección del sistema respiratorio por exposición a gases y partículas volcánicas, así como cascos para la protección en caso de emisión significativa de materiales balísticos. El OVSICORI-UNA muy gustosamente puede ofrecer charlas generales sobre experiencias en el uso de mascarillas durante crisis volcánicas en otros países, así como ayudar a organizar charlas de carácter más técnico sobre el uso y manejo apropiados de las mascarillas en conjunto con la Cruz Roja y Bomberos.

*Reconocimientos*

Con gratitud queremos reconocer a los funcionarios del Sistema Nacional de las Áreas de Conservación y de los Parques Nacionales de Costa Rica su valioso aporte y colaboración, los cuales hacen posible

nuestras labores de vigilancia volcánica en los volcanes del país. También queremos extender nuestro agradecimiento a todas las personas que colaboran de una u otra forma en un esfuerzo por documentar los procesos en los volcanes y los cuales son plasmados en esta publicación.

Queremos también reconocer el valiosísimo aporte que nos ha brindado siempre la Oficina de Asistencia para Desastres en el Extranjero de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID/OFDA/LAC) y por la donación de la WebCam que está ubicada en el borde norte del cráter activo del volcán Poás.

Se agradece al Deep Carbon Observatory, la Universidad de Palermo (Italia), al Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change (NOVAC), y al United States Geological Survey Volcano Disaster Assistance Program (USGS-VDAP) por la donación de instrumentos para el monitoreo de gases volcánicos y por cooperar con el desarrollo de capacidades a nivel local a través de entrenamiento del personal del OVSICORI-UNA avocado a la investigación y vigilancia de los procesos de desgasificación de volátiles en los sistemas volcánicos de Costa Rica.

Nuestro agradecimiento especial al Gobierno y al Pueblo de Costa Rica por brindarnos un enorme y crucial apoyo a través de la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo Ley No. 8488 Transitorio I Capítulo IX Gaceta No. 8 del 11 de enero del 2006, el cual está significando un salto y fortalecimiento tecnológico y académico extraordinarios que nos está permitiendo una mejoría y aumentación sin precedentes en la historia de nuestro país en cuanto a las capacidades del OVSICORI-UNA para documentar, investigar, y vigilar los procesos tectónicos, sísmicos, y volcánicos que se gestan en el territorio costarricense.

## Referencias

- Bennett F. and Raccichini S. (1978a) Nuevos aspectos de las erupciones del Volcán Poás. *Rev. Geogr. Am. Centr.*, 4, 6, 37-54.
- Bennett F. and Raccichini S. (1978b) Subaqueous sulphur lake in volcán Poás. *Nature*, 271, 342-344.
- Bennett F.D. (1979) Fumarolas y pozos subacuáticos de azufre en el volcán Poás costa Rica. *Rev. Geogr. Am. Centr.*, 11, 12, 125-130.
- Francis P.W., Thorpe R.S., Brown G.C. and Glassock J. (1980) Pyroclastic sulphur eruption at Poás volcano Costa Rica. *Nature*, 283, 754-756.
- Martínez M., Fernández E., Valdés J., Barboza V., Van der Laat R., Duarte E., Malavassi E., Sandoval L., Barquero J. and Marino T. (2000) Chemical evolution and volcanic activity of the active crater lake of Poás volcano, Costa Rica, 1993-1997. *J. Volc. Geotherm. Res.*, 97, 127-141.
- Martínez, M. 2008. Geochemical evolution of the acid crater lake of Poás volcano (Costa Rica): Insights into volcanic-hydrothermal processes. PhD dissertation Utrecht University the Netherlands.
- Prosser J.T., and Carr M.J. (1987) Poás volcano, Costa Rica: geology of the summit region and spatial and temporal variations among the most recent lavas. *J. Volc. Geotherm. Res.*, 33, 131-146.
- Rowe, G.L., Brantley, S.L., Fernández, M., Fernández, J.F., Borgia, A., Barquero, J. 1992a. Fluid volcano interaction in an active stratovolcano: the crater lake system of Poás Volcano, Costa Rica. *J. Volcanol. Geother. Res.*, 49: 23-51.
- Rowe, G.L., Ohsawa, S., Takano, B., Brantley, S.L., Fernández, J.F., Barquero, J. 1992b. Using Crater Lake chemistry to predict volcanic activity at Poás Volcano, Costa Rica. *Bull. Volcanol.*, 54: 494-503.
- Rymer, H., Locke, C., Brenes, J., Williams-Jones, G. 2005. Magma plumbing processes for persistent activity at Poás volcano, Costa Rica. *Geophys. Res. Lett.* 32, LXXXXX, doi: 10.1029/2004GL022284.
- Schwaiger, H.F., Denlinger, R.P. Mastin, L.G. 2012. Ash3D: A finite-volume, conservative numerical model for ash transport and tephra deposition. *J. Geophys. Res.* 117 (B4): 4204. DOI: 10.1029/2011JB008968.

*Información previa de los volcanes monitoreados por el OVSICORI-UNA está disponible en las siguientes direcciones electrónicas de INTERNET:*

- Boletines periódicos del estado de actividad de los volcanes de Costa Rica:  
[http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com\\_phocadownload&view=section&id=3&Itemid=73](http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=section&id=3&Itemid=73)
- Videos:  
[http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55&Itemid=79](http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=79)

**Área de Vigilancia Volcánica**  
**Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica**  
**Universidad Nacional**  
**OVSICORI-UNA**

Campus Omar Dengo, Heredia  
Costa Rica, América Central  
*Teléfonos:* (+506) 2562 4001    (+506) 2261 0611  
*Fax:* (+506) 2261 0303  
ovsicori@una.cr  
*Website:* <http://www.ovsicori.una.ac.cr/>  
*Facebook:* <http://www.facebook.com/OVSICORI?ref=ts>