

***Boletín de Vulcanología***  
***Estado de los Volcanes de Costa Rica***  
***Octubre 2014***



*Imágenes de las cámaras web del OVSICORI de las erupciones en los volcanes Poás (13 oct. 2014) y Turrialba (13 nov. 2014), Erupción el 30 de octubre del 2014 (Foto: Federico Chavarría Kopper) e impacto de balístico en un panel solar (Foto: G.Avard, 30 oct. 2014)*

*Elaborado por:*

Dr. Geoffroy Avard, Dr. Javier Fco. Pacheco Alvarado, Dra. Dulce Vargas Bracamontes, Dr. Maarten de Moor, Dra. María Martínez Cruz, Ing. Cyril Müller, Msc. Enrique Hernández Rodríguez

*Con contribuciones de:*

Dr. Alejandro Aiuppa, M.Sc Federico Chavarría-Kopper

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

## ***Resumen del estado actual de los volcanes***

### **V. Turrialba:**

En octubre, la actividad sísmica se incrementó ligeramente respecto al mes de setiembre. No hay un precursor claro en la actividad sísmica para predecir con varios días de anticipación la erupción del 29 de octubre. El único indicador contundente fue un tremor continuo que inició a las 10 a.m. y aumento en amplitud durante el día, llegando a una amplitud máxima a las 6 pm. A las 5 p.m. el OVSICORI-UNA alertó las autoridades. A las 11:10 p.m empezó una erupción con 3 explosiones que culminó a las 11:35 p.m. La explosión destruyó más de 50% la pared interna entre el Cráter Oeste y el Cráter Central. Varias explosiones y emisiones de cenizas ocurrieron después hasta el 1 de noviembre a las 5:20 a.m. sin alcanzar la intensidad de los primeros eventos. La actividad disminuyó progresivamente con explosiones y emisiones de cenizas esporádicas (13, 14 y 15 de noviembre). Material juvenil fue encontrado durante los 2 primeros días en proporción inferior a 10% en volumen. Las condiciones climáticas alteraron la calidad de los depósitos después. La deformación presentó una inflación vertical del cono de 10 mm entre el fin de setiembre y el fin de octubre, y mantiene una inflación vertical sobre una línea de 5.8 km a un promedio de 7 mm por año desde inicios del 2010, lo que sugiere que esta actividad no fue el clímax del episodio eruptivo del volcán.

### **V. Irazú:**

Se nota un incremento en el número de eventos volcánicos desde inicios de setiembre. En promedio se registran ahora entre 5 y 7 sismos de baja frecuencia diarios. La sismicidad volcano-tectónica se mantiene en bajos niveles a pesar de registrarse un sismo de magnitud Mw 7.4 en la región centroamericana.

### **V. Poás:**

En el volcán Poás se registraron 2 erupciones freáticas moderadas el 8 y el 13 de octubre, la segunda con viento desfavorable para el público lo que generó la evacuación del Parque Nacional y un acceso restringido por 10 días. A partir del 23 de octubre, el volcán mostró un cambio de actividad con una disminución de la temperatura de las fumarolas y del lago, además de una disminución considerable de la actividad sísmica.

### **V. Arenal:**

No se registra sismicidad asociada a este volcán. Las últimas mediciones de gases realizadas en abril del 2014 indicaron que el flujo de SO<sub>2</sub> está por debajo del nivel de detección. Los vapores que emanan a través del cráter C son de composición hidrotermal. Las altas precipitaciones típicas del período agosto-setiembre han generado notorias plumas de vapor de agua como resultado de la interacción de agua de origen meteórico con las rocas calientes. A nivel geodésico, el volcán ha tenido una subsidencia continua de 1 cm en su base y de hasta 10 cm en la cima por año.

### **V. Rincón de la Vieja:**

El 24 de octubre se registró una pequeña erupción freática en el Volcán Rincón de la Vieja. Por otro lado, los niveles de actividad sísmica se mantienen muy bajos, solo se registraron 2 sismos de baja frecuencia importantes en todo el mes y no se registraron sismos volcano-tectónicos asociados al volcán. Los perfiles de varios de los parámetros físico-químicos que se monitorean en el lago ultra-ácido del Rincón de la Vieja muestran en setiembre 2014 un aumento significativo en la acidez (pH más bajo), la temperatura (39-45°C), la conductividad eléctrica, y en las proporciones sulfato/fluoruro y sulfato/cloruro. Las mediciones de la composición de los gases en la pluma volcánica indican disminuciones dramáticas en las razones de los gases CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S/SO<sub>2</sub> al inicio de las erupciones freáticas actuales. En conjunto estas observaciones indican una reciente inyección de volátiles magmáticos en el sistema hidrotermal que alimenta el lago ultra-ácido.

# 1. Volcán Turrialba

## 1.1 V.Turrialba: Sismología

La sismicidad del volcán Turrialba durante el mes de octubre, hasta el día 29, es muy similar a la registrada durante la segunda mitad del mes de setiembre, se distinguen pocas variaciones (Fig.1).

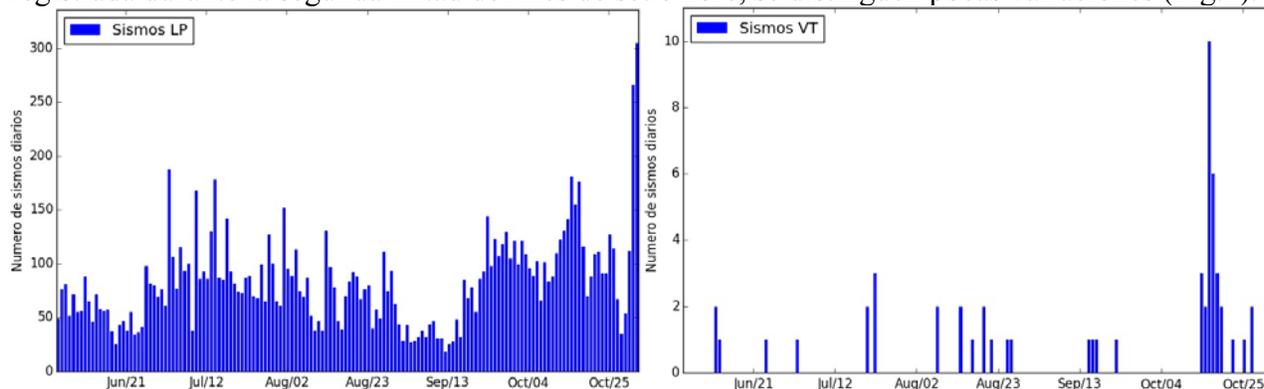


Figura 1. Izquierda: Número de sismos volcánicos diarios registrados entre el 1 de junio y el 1 de noviembre del 2014. Derecha: Número de sismos volcano-tectónicos asociados al volcán Turrialba entre el 1 de junio y el 1 de noviembre del 2014.

La sismicidad volcánica está dominada por eventos volcánicos de gran amplitud, corta duración y amplia banda de frecuencias (entre 2 y 10 Hz) que ocurren esporádicamente (Fig.2) y sismos de pequeña magnitud y baja frecuencia, indicativos de apertura de grietas (Fig.2). A partir de mediados de setiembre el número de sismos diarios contabilizados se mantuvo arriba de 100, en octubre se incrementó a cerca de 150 eventos diarios para decaer a fines de mes a menos de 50, antes de ocurrir la erupción estromboliana del 29 de octubre.

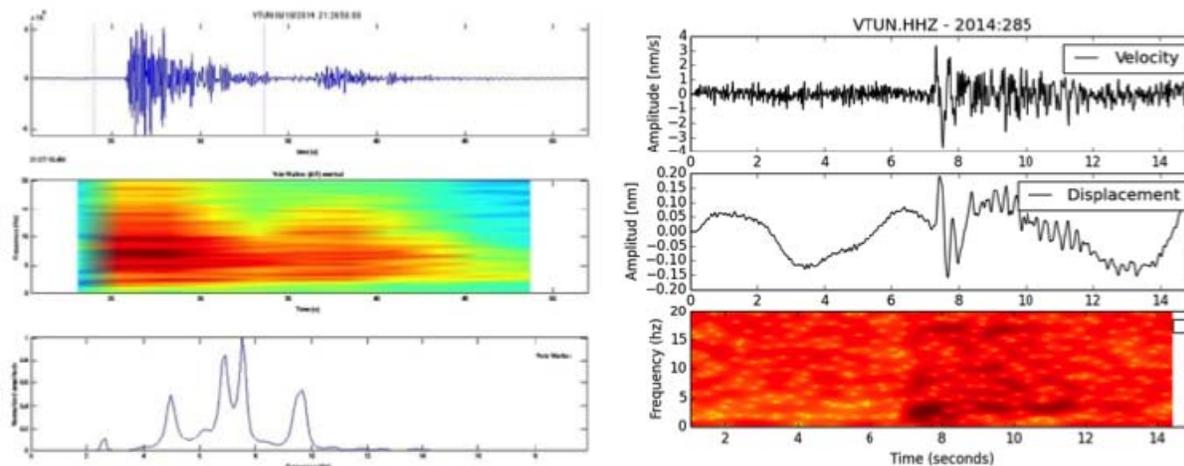


Figura 2. Izquierda: Sismo volcánico de gran amplitud. En la parte superior se grafica el sismograma, en el centro el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias. Derecha: sismo de apertura de grieta. En la parte superior se muestra el registro de velocidad del suelo, al centro el registro de desplazamiento del suelo y abajo el espectrograma

Entre el 1 y el 10 de octubre se registraron 3 sismos de tipo tornillo (Fig.3), similares a otros registrados durante este año, con altos valores de frecuencia ( $f > 10$  Hz) y altos valores de atenuación ( $Q < 150$ ). Este tipo de eventos indica interacción de gases magmáticos con el sistema hidrotermal, principalmente agua y vapor de agua. Además de los eventos de baja amplitud y alta

frecuencia que dominan en el volcán Turrialba, durante el mes de octubre se siguieron registrando sismos híbridos en menor cantidad y pocos tremores de corta duración como el que se muestra en la Figura 3. Todos estos eventos son indicativos de actividad superficial asociada al sistema hidrotermal principalmente.

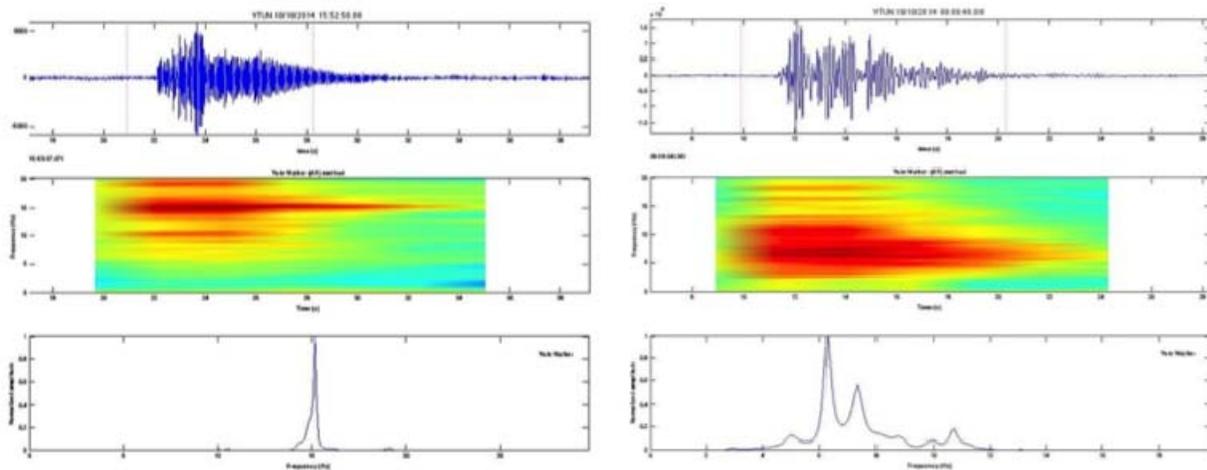
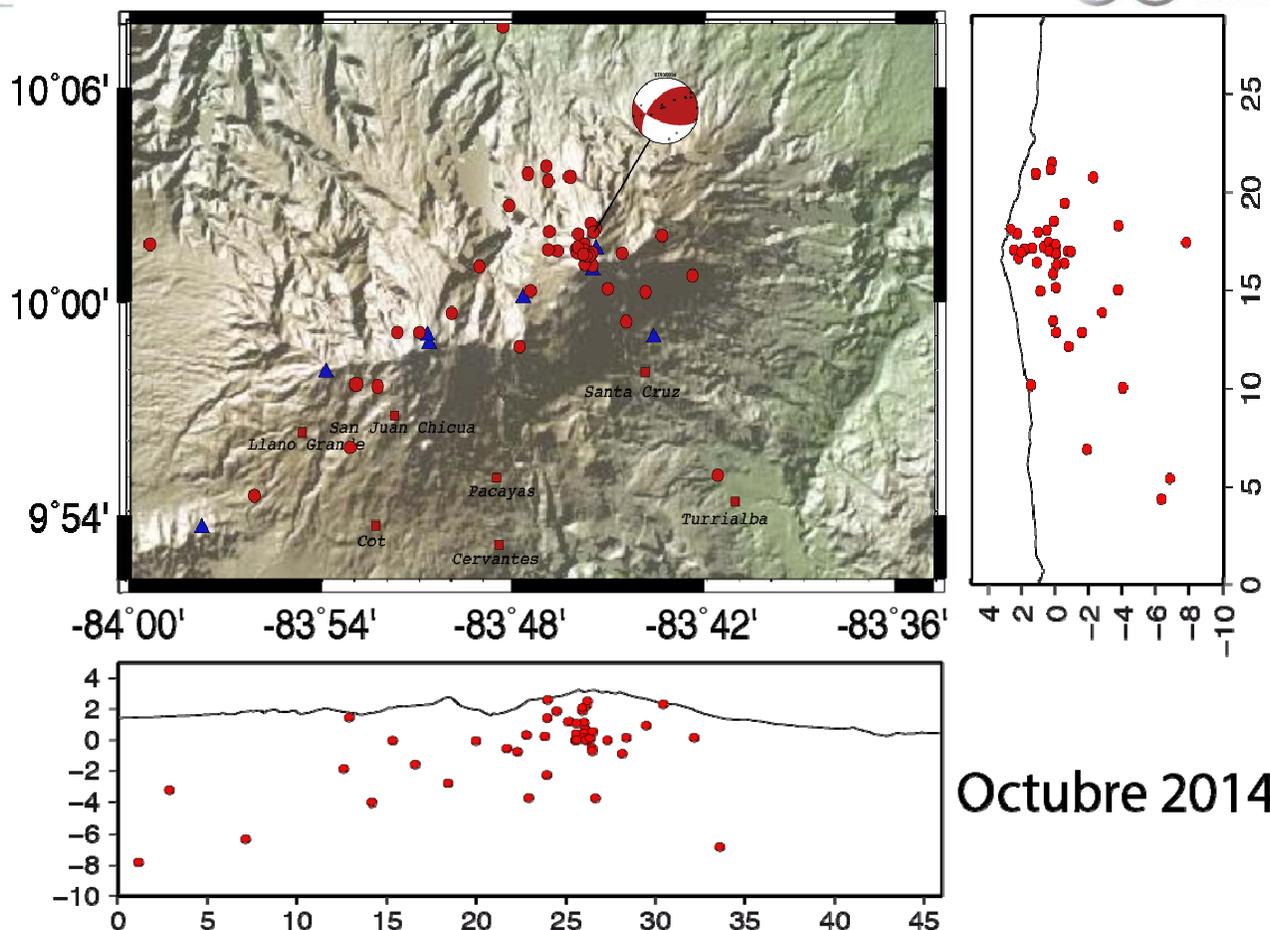


Figura 3. Izquierda: Sismo tipo tornillo de alta frecuencia. Derecha: Tremor de corta duración y limitado ancho de banda. Se muestra arriba el sismograma, al centro el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias.

La sismicidad volcano-tectónica (Fig.1) mostró un aumento en el número de eventos diarios a partir de mediados de octubre. En un corto período de 4 días se registró un aumento en el número de eventos, llegando a contabilizarse hasta 10 eventos en un solo día. El número de eventos no es significativo, ya que en otros períodos se han registrado mucho más eventos por día y por períodos más prolongados, sin embargo, lo que llama la atención es la ubicación de estos sismos tectónicos. Todos ellos son sismos pequeños, que no sobrepasan una magnitud de 2 y se ubican cerca de 3 km abajo del cráter activo del volcán Turrialba (Fig.4). Su presencia se asocia a una pequeña intrusión de magma abriéndose paso a través del medio sólido, lo que provoca rompimiento de roca y apertura de grietas conforme asciende el magma.



Octubre 2014

Figura 4. Sismicidad volcano-tectónica localizada entre los volcanes Irazú y Turrialba durante el mes de octubre del 2014. Se muestra el mapa con los eventos (puntos rojos), las estaciones sísmicas (triángulos azules), y algunos pueblos importantes (cuadros rojos). Las secciones transversales muestran la localización de los sismos con la profundidad

El mayor sismo volcano-tectónico registrado se ubica hacia el noroeste del volcán. Este sismo registró una magnitud de 2.8 y se ubicó a 4 km bajo el nivel del mar. El evento ocurrió de forma aislada, no presentó réplicas, y muestra un mecanismo de fallamiento inverso con una alta componente de movimiento lateral derecho (Figura 4).

El día 29 de octubre a las 16:18 (hora GMT) se empieza a registrar un tremor volcánico continuo con baja amplitud, inicialmente apenas se distingue del ruido de fondo, conforme avanza el tiempo se va incrementando paulatinamente la amplitud. A pesar del tremor, la actividad sísmica continúa sin variaciones aparentes, se siguen registrando sismos volcánicos a tasas similares a días anteriores. Para las 24 horas GMT el tremor alcanza amplitudes que permiten registrarlo en estaciones sísmicas ubicadas en la cima del volcán Irazú.

La erupción inicia a las 05:10 (hora GMT) del día 30 (23:10 del día 29 de octubre, hora local). El evento eruptivo inicia como una erupción freática que se prolonga por 25 minutos (Fig.5), dentro de la erupción freática se registran dos pequeñas explosiones importantes y otras más pequeñas. La erupción termina abruptamente tras una fuerte explosión estromboliana que arrojó balísticos de más de 5 kg a distancias mayores de 500 metros, uno de ellos impactando una estación sísmica y otro la casa de guardaparques.

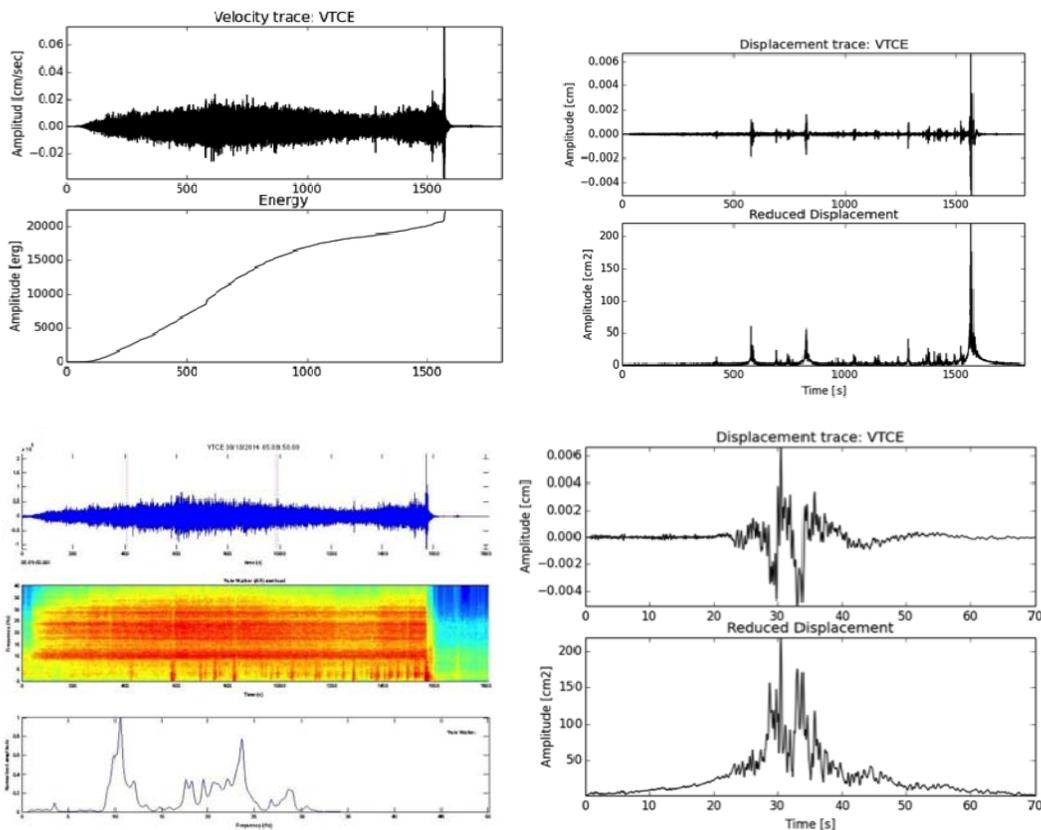


Figura 5. Arriba a la izquierda se muestra el registro de la erupción del 29 de octubre, desde el inicio de la erupción freática hasta la explosión estromboliana, arriba se muestra el sismograma y abajo el incremento en la energía sísmica irradiada, con el tiempo. Arriba a la derecha se muestra el registro de desplazamiento junto con el desplazamiento reducido, esta figura ayuda a identificar las explosiones que se produjeron durante y al final de la erupción freática. Abajo a la izquierda se muestra el sismograma (arriba), el espectrograma (centro) y el espectro de frecuencias de la erupción. Abajo a la derecha se muestra en detalle la explosión final de la erupción con el sismograma de desplazamiento (arriba) y el desplazamiento reducido (abajo).

El temblor continuó después de la erupción, con menor amplitud y un contenido de frecuencias más bajo que el temblor que se presentó antes de la erupción. Este temblor disminuye la amplitud conforme transcurre el tiempo y desaparece bajo el ruido microsísmico a partir de las 13 horas (GMT). Acompañando el temblor continuo, se registran temblores armónicos de corta duración (< 10 minutos) y pequeñas explosiones.

A las 14:22 (hora GMT) se produce la primera exhalación importante, que se registra como un temblor espasmódico de 10 minutos de duración (Fig.6). A las 21:52 se registra una fuerte explosión de gran amplitud, sin embargo, la falta de altas frecuencias en el sismograma indican que la explosión ocurrió a lo interno del volcán, sin tener consecuencias en la superficie (Fig.6).

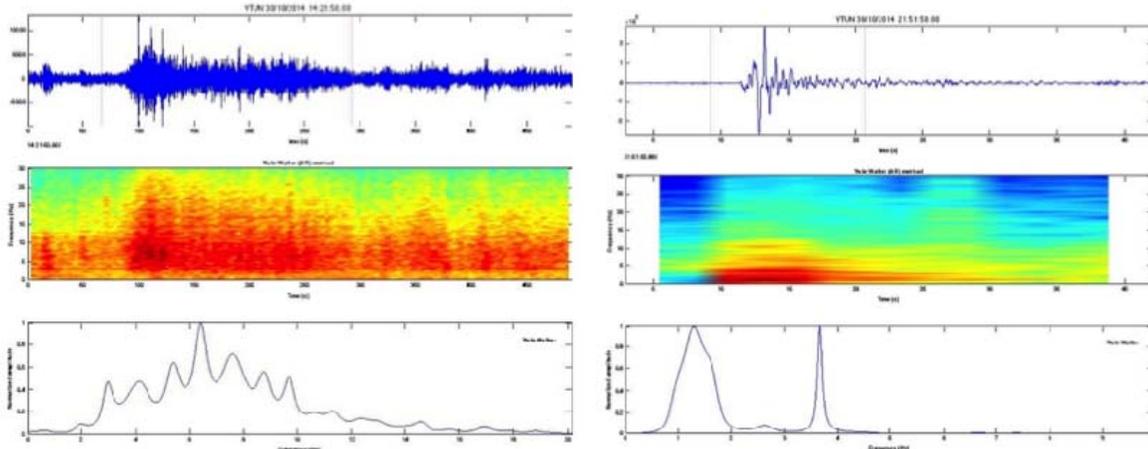


Figura 6. Izquierda: Exhalación o tremor espasmódico de 10 minutos de duración. Derecha: Explosión interna.

Durante el día 31 de octubre se producen varias exhalaciones acompañadas de explosiones, a las 1:50, 2:10, 9:40, 9:45, 14:10 (hora GMT). La más grande se registró a las 20:21 (14:21 hora local, Fig.7), la cual fue captada en fotografías por el geólogo Julio Madrigal de la Comisión Nacional de Emergencias.

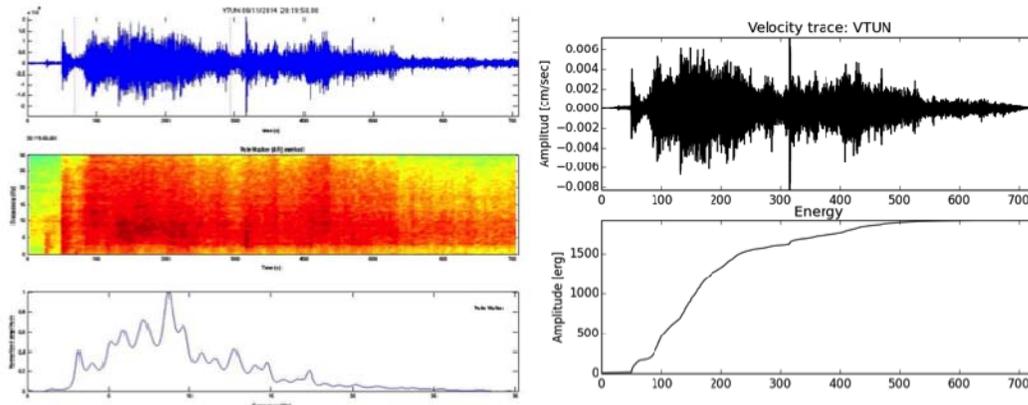


Figura 7. Registro de la exhalación del día 31 a las 20:21. Izquierda: sismograma (arriba), espectrograma (centro) y el espectro de frecuencias (abajo). Derecha: registro de velocidad (arriba) y la energía sísmica irradiada en función del tiempo (abajo).

Para entender la evolución de la actividad sísmica con el tiempo, en la Figura 8 se muestra el registro de RSAM (raíz media cuadrática de la amplitud promediada de los registros sísmicos) entre el 15 de octubre y el 15 de noviembre. En este gráfico se pueden identificar los cambios en la sismicidad antes y después de la explosión. La primera parte del gráfico muestra una tasa (pendiente de la curva) de sismicidad uniforme, sin variaciones importantes antes de la erupción (verde), seguido por un corto período de incremento en la sismicidad antes de la erupción (café). Luego de la erupción la tasa de sismicidad es mucho mayor que la presentada antes de la explosión (violeta), pero se mantiene con altos niveles por pocos días hasta el 1 de noviembre, a partir de esa fecha la tasa de sismicidad disminuye (verde claro) y hasta alcanzar valores similares a la tasa sísmica anterior a la erupción hacia mediados de noviembre (verde). En el medio hay un corto período (segmento blanco) con un incremento en la sismicidad debido a varias explosiones estrombolianas ocurridas entre el 11 y 12 de noviembre.

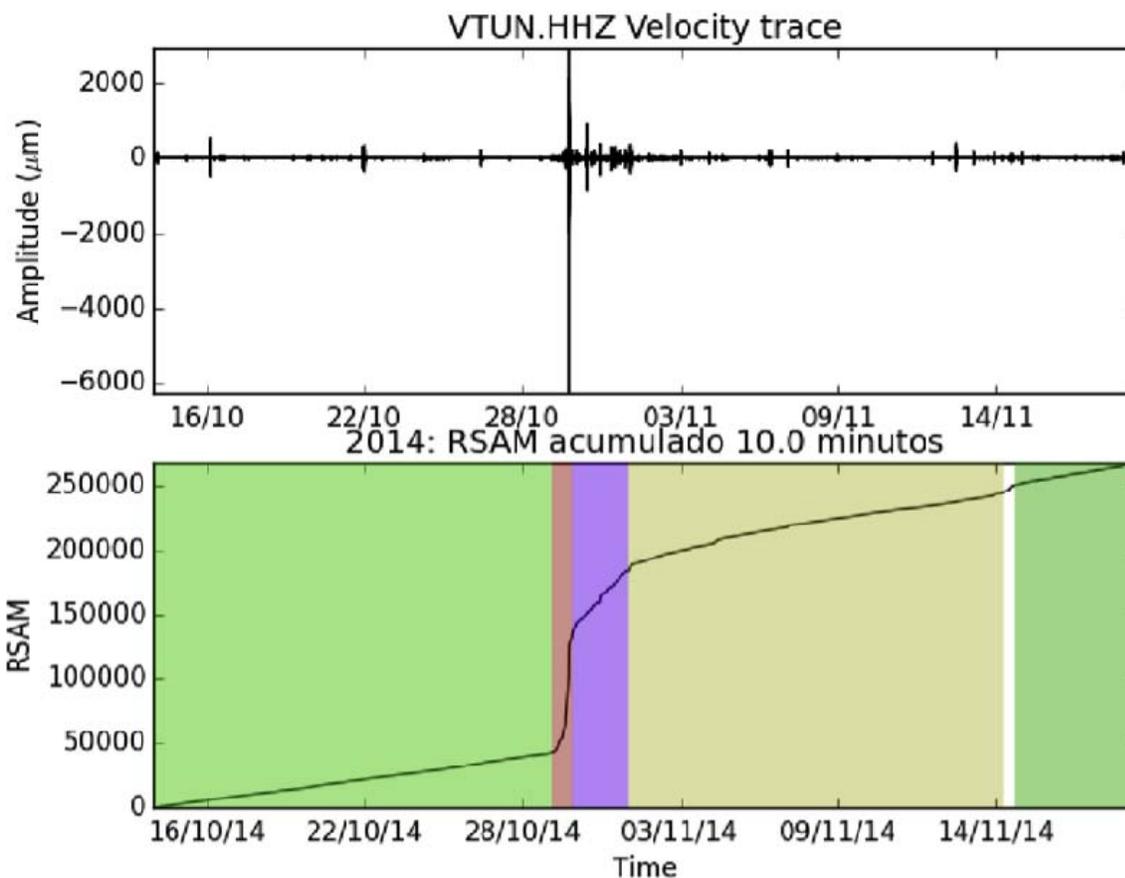


Figura 8. Sismograma (arriba) entre el 15 de octubre y 15 de noviembre. RSAM para el mismo período de registro (abajo), mostrando las diferentes etapas de la sismicidad en el volcán Turrialba.

### 1.2 V.Turrialba: Deformación

Con finalidad de medir la deformación del volcán, un mes antes y durante la erupción del 29 de octubre, se realizaron dos campañas de mediciones con GPS, incluyendo 4 sitios anteriormente utilizados durante campañas de medición (VTQU, VTNA, VTGP y VTCI), la Figura 9 muestra estos sitios. Además se utilizaron 2 sitios de referencia (AACR y CRCP) para reducir los desplazamientos por movimientos tectónicos. Todos los sitios se midieron durante al menos una noche.

Los resultados muestran un levantamiento de hasta 1 cm en los puntos VTQU y VTPG. En VTCI, VTNA y en GIBE, el movimiento vertical no es significativo. En la horizontal, solamente VTCI y VTQU muestran un movimiento significativo en dirección del suroeste, cerca de 1 cm.

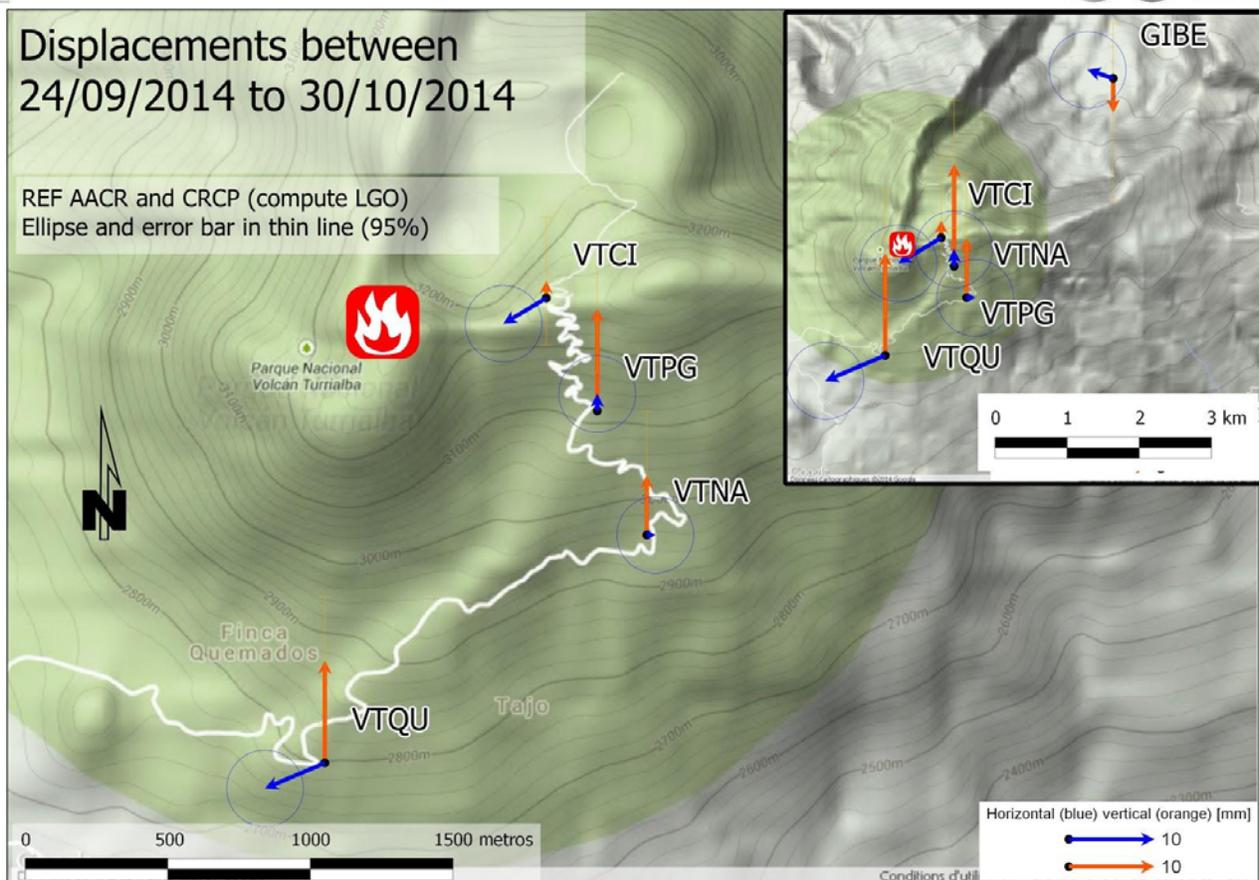


Figura 9. Desplazamientos observados en el volcán Turrialba entre el 24 de setiembre y el 30 de octubre 2014. Los movimientos horizontal son indicados en azul y los movimientos vertical son en naranja. Los trazos finos representan las desviación estándar a 95% de las componentes horizontal como vertical.

Por otro lado, procesamos con el software GAMIT del Massachusetts Institute of Technology, los 3 últimos años del sitio CAPI que se eliminó este año. La serie de tiempo fue reducida por el ciclo anual, que es del orden de 1 mm (senoidal) y del movimiento observado en RIDC (Registro nacional en Zapote).

Los resultados muestran (Fig.10) que en la dirección norte-sur el sitio es estable, pero tiene la tendencia de alejarse de RIDC a una velocidad alrededor de 10 mm por año en la dirección este. En acuerdo con la componente vertical el sitio sube a un ritmo de más de 10 mm por año. Fluctuaciones o eventos transitorios encima de esta tendencia son probables. El terremoto del 5 septiembre 2012 fue reducido tomando en cuenta que el movimiento co-sísmico y post sísmico en CAPI es similar a los del sitio RIDC en Zapote.

Al nivel geofísico, este movimiento vertical significa que material (gas o magma) está acumulandose por debajo del volcán. La profundidad a lo cual se acumula es difícil de estimar con solo esta medición. Tampoco es posible definir si esta acumulación es parte de un crecimiento global del edificio. Para tratar de responder a estas preguntas se equiparon 2 nuevos sitios permanentes y se reinstaló la estación en CAPI (sector la Central).

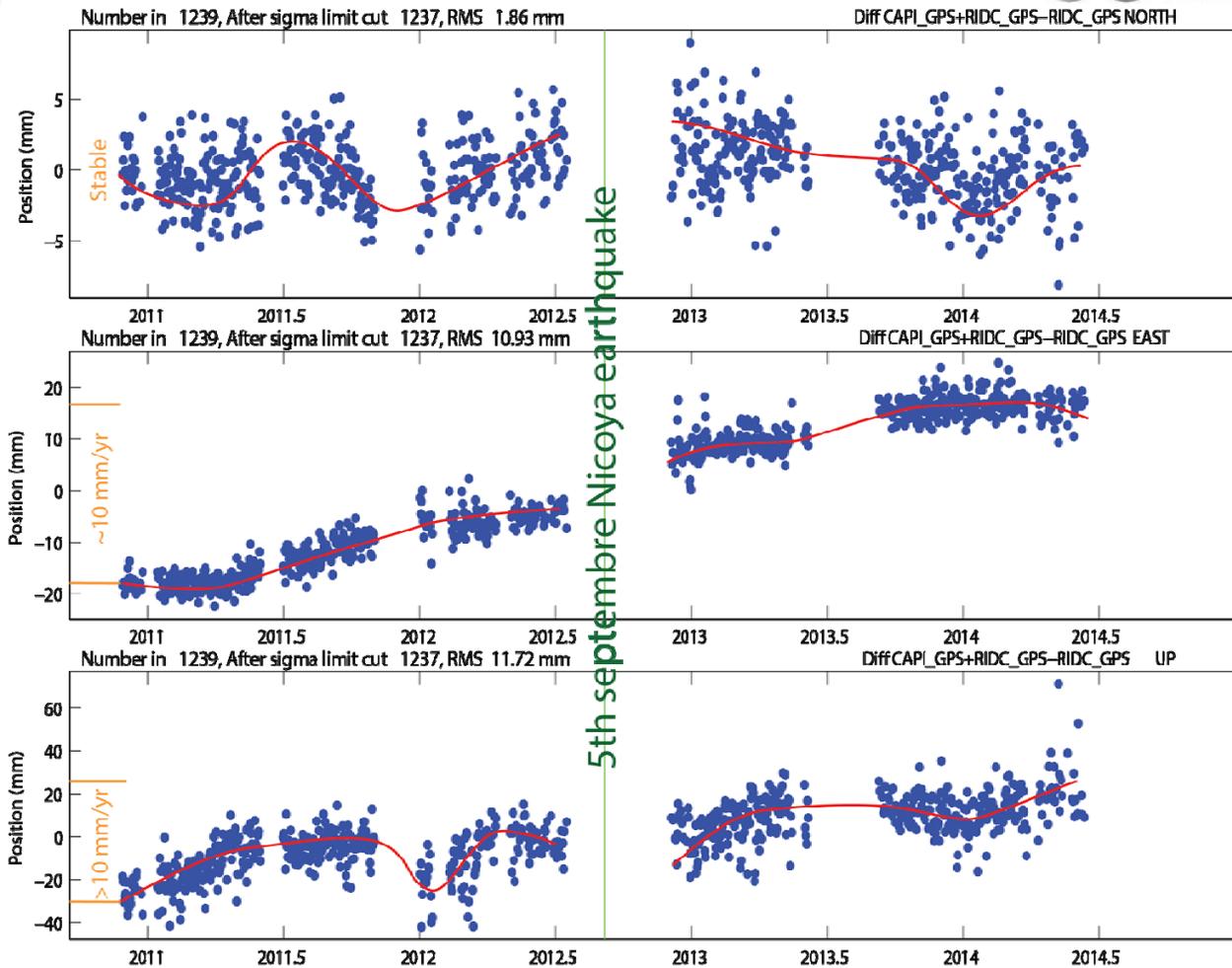


Figura 10. Serie de tiempo Norte-Este-altura entre 2011 y mediados del 2014 en el sitio CAPI, en la Central. La serie temporal fue reducida por el ciclo anual (amplitud :  $\sim 1\text{mm}$  ) y movimiento tectónico regional con la sustracción de la velocidad del sitio en el Registro Nacional de Zapote.

### 1.3 V.Turrialba: Gases

#### 1.3.1 Flujo de gas

Los valores medidos de flujo de  $\text{SO}_2$  son bajos, principalmente porque durante esta época del año, los vientos son desfavorables para una buena medición. Sin embargo, los valores subieron de manera rápida al fin del mes de octubre. A pesar de las condiciones climáticas difíciles, el flujo aparece multiplicado por un factor de  $\sim 2.5$  entre el 25 y el 28 de octubre, y por  $\sim 3.5$  entre el 25 y el 29 de octubre (Fig.11). No existe la posibilidad de medir el flujo máximo durante la erupción del 29 de octubre, porque ocurrió durante la noche. El nivel de desgasificación se mantuvo alto hasta finales del mes, con valores máximos alrededor de 2000 toneladas por día. Es muy probable que las estaciones DOAS permanentes estén subestimando el flujo de gas  $\text{SO}_2$  debido a que en esta época del año la nubosidad y la dirección del viento prevaleciente no es favorable para buenas mediciones de flujo de  $\text{SO}_2$ .

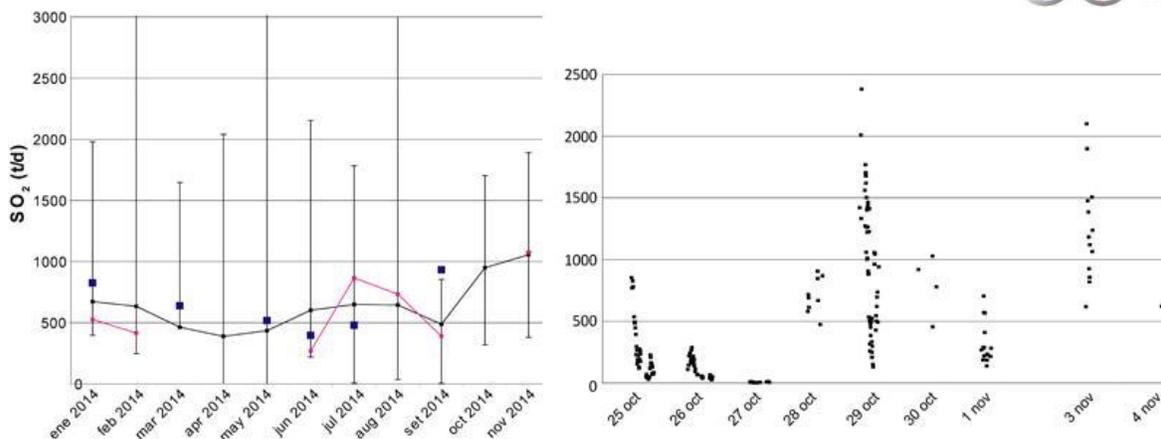


Figura 11. Izquierda: Evolución del promedio mensual del flujo de  $SO_2$  medido por 2 estaciones DOAS permanentes (en negro y rosado) y promedio de las mediciones puntuales por transectos con DOAS portátil y FlySpec (cuadrados azules). Derecha: Mediciones detalladas del flujo de  $SO_2$  por la estación DOAS permanente ubicada en La Central.

### 1.3.2 Composición de los gases

Días antes de la erupción del 29 de octubre, la razón de  $CO_2/SO_2$  aumentó (Fig.12). Con el inicio de la erupción coincide una caída de esta razón a valores característicos de una desgasificación magmática.

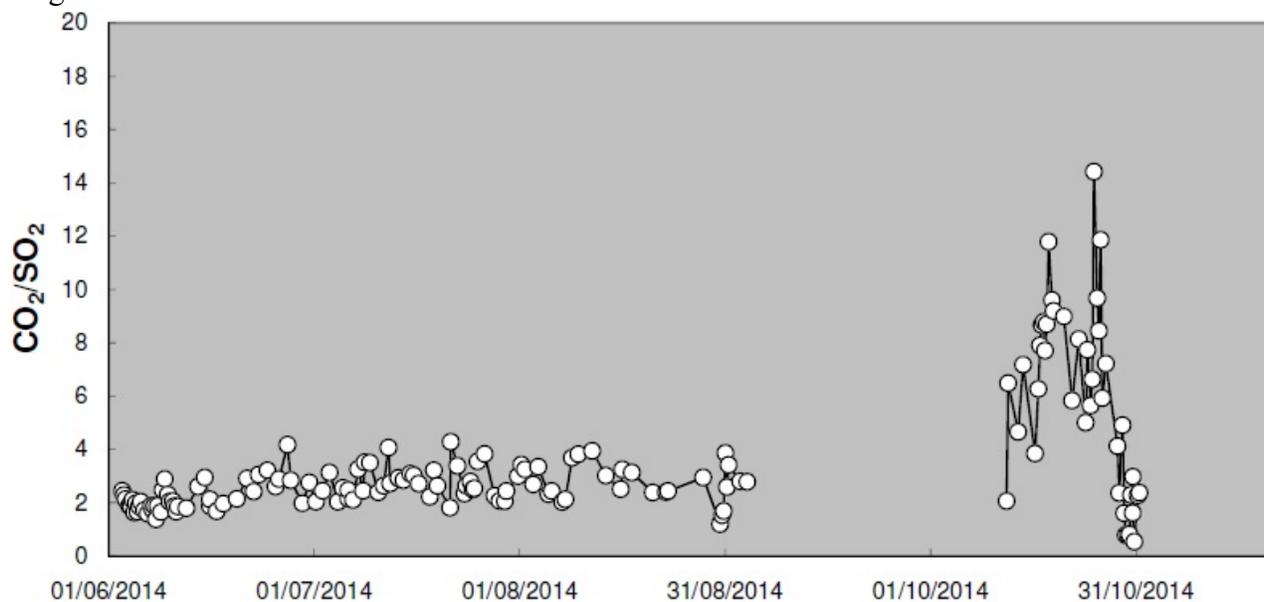


Figura 12. Composiciones de gases en la pluma de la boca fumarólica 2010 del Turrialba medidas con el instrumento MultiGAS portátil antes y durante la erupción del fin de octubre del 2014.

### 1.4 V.Turrialba: Cenizas

La ceniza colectada en el Cráter Central el 30 de octubre del 2014, antes de las lluvias, presenta alrededor de 3-5% material juvenil (Fig.13). Este material fue preparado y observado en el Laboratorio de Petrología del OVSICORI, y fue analizado con el microscopio electrónico del Centro de Investigación de Estructuras Microscópicas (CIEMIC). Se pudo observar la presencia de olivinos en el material fresco lo que sugiere una composición magmática basáltica o basáltico-andesítica. Las muestras fueron compartidas con varios laboratorios del mundo a fin de tener

confirmación de estas observaciones preliminares.

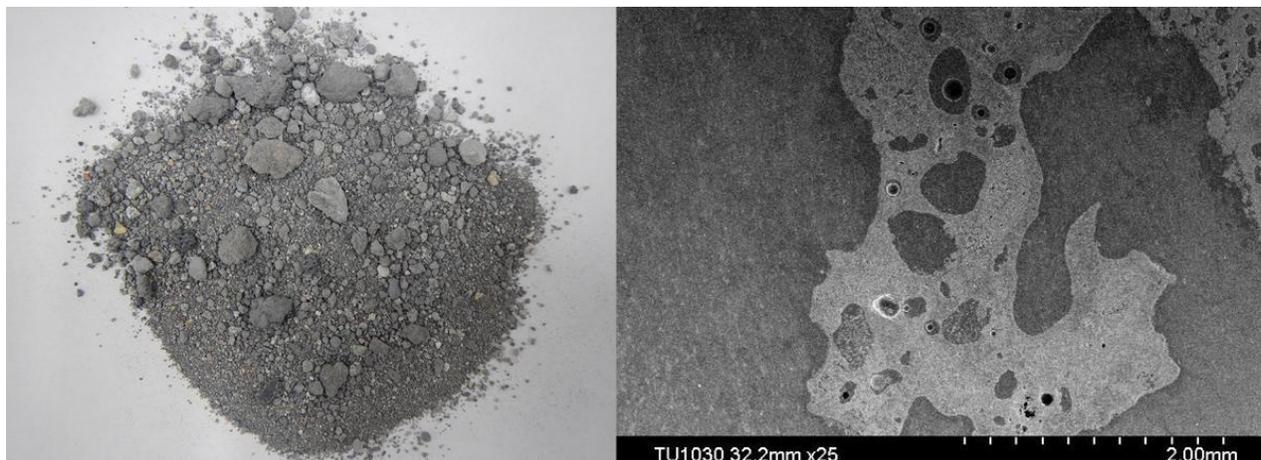


Figura 13. Material emitido por el volcán Turrialba durante el evento eruptivo del 29 de octubre del 2014. A la izquierda se observa 3-5% de material juvenil cual fue observado al microscopio electrónico del Centro de Investigación de Estructuras Microscópicas (CIEMIC)

El material emitido fue dispersado por los vientos hacia el Valle Central el primer día y hacia el norte el segundo día como lo simula el modelo de dispersión de ceniza del USGS ash3D (Fig.14). El material fue observado por una gran parte de la población que vive hacia el oeste del volcán.

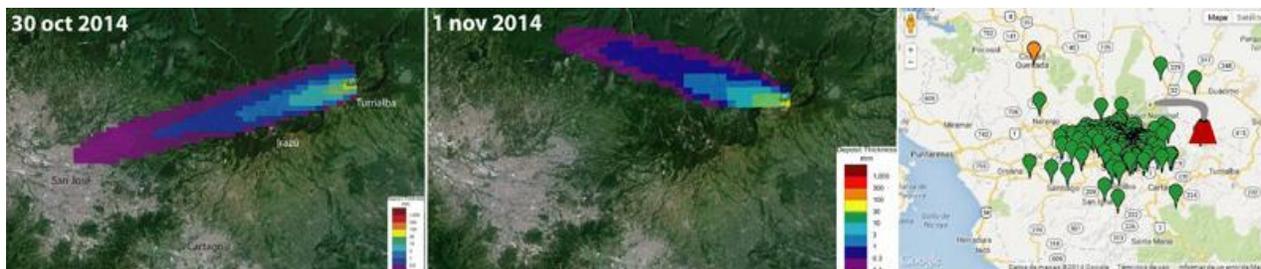


Figura 14. Simulación de la dispersión de cenizas por el modelo ash3D del USGS para el evento principal (30 de octubre del 2014) y el día siguiente (1 de noviembre del 2014). A la derecha: recopilación de los testigos de caída de cenizas durante los primeros días de la actividad magmática del volcán Turrialba.

## 2. Volcán Irazú

### 2.1 V.Irazú: Sismología

La Figura 15 muestra los sismos volcano-tectónicos localizados durante octubre, y asociados al volcán Irazú. A pesar de la ocurrencia de un gran sismo de subducción el 14 de octubre entre Nicaragua y El Salvador con magnitud Mw 7.4, la sismicidad volcano-tectónica en el Irazú no mostró ningún incremento anormal como ha ocurrido en otras oportunidades (Lupi et al., 2014). Los sismos localizados se ubican fuera de la zona de cráteres del volcán Irazú, mientras que los más abundantes, sólo se registran en las estaciones sísmicas localizadas en la cima del coloso debido a su pequeña magnitud. Estos sismos se ubican bajo el cráter activo a profundidades someras (Fig.15).

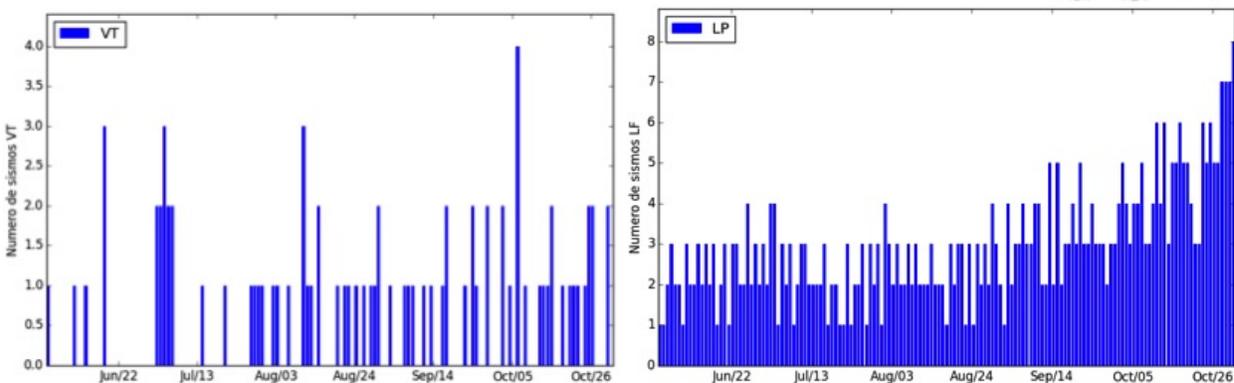


Figura 15. Izquierda: Número de sismos diarios volcano-tectónicos asociados al volcán Irazú entre el 1 de junio y el 1 de noviembre del 2014. Derecha: Número de sismos diarios volcánicos asociados con el volcán Irazú durante el mismo período.

A diferencia de los sismos volcano-tectónicos, los sismos volcánicos, asociados al movimiento de fluidos dentro del sistema hidrotermal del volcán Irazú, presentan un incremento en el número de sismos diarios. Este incremento, aunque leve, se empezó a notar desde finales de agosto. La Figura 16 muestra el tiempo entre eventos y la amplitud de los mismos. Se nota que la amplitud no ha variado desde junio de este año, presentándose con mayor frecuencia pequeños sismos que apenas sobresalen sobre el ruido microsísmico y con menor frecuencia sismos de mayor amplitud que no muestran una preferencia por el tamaño, mostrando una distribución aleatoria. Mientras que el tiempo entre eventos muestra una mejor definición conforme avanza el tiempo y una reducción de este tiempo, lo que es lo mismo, una mayor cantidad de sismos que ocurren diariamente.

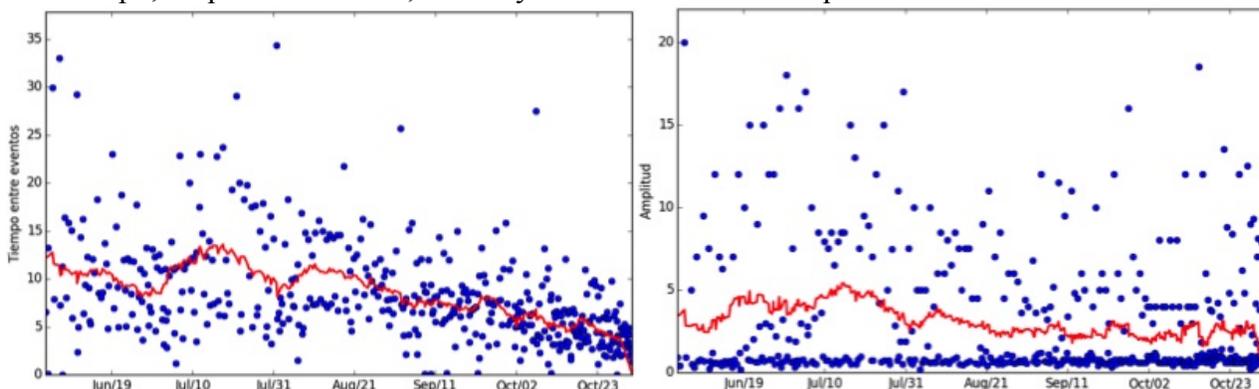


Figura 16. Izquierda: Tiempo entre eventos, desde el 1 de junio hasta el 1 de noviembre 2014. Derecha: Amplitud de los eventos durante el mismo intervalo de tiempo. La línea continua de color rojo es un promedio corrido.

## 2.2 V. Irazú: Deformación

Los últimos datos de deformaciones no muestran movimientos importantes (InSAR, mayo 2014).

## 2.3 V. Irazú: Gases

Las últimas mediciones de gases en el Irazú se realizaron el 23 mayo del 2014. Los gases son emitidos en forma de desgasificación difusa en la parte superior de la ladera norte del volcán. Se midieron los gases en dos sitios con un MultiGAS portátil, el primero con una temperatura cerca de 55°C y el segundo con una temperatura cerca de 80°C. Las observaciones indican que el nivel de desgasificación es muy bajo y similar al medido en noviembre del 2013. La composición de los

gases es típica de gases hidrotermales de un volcán en período de reposo, con altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (~35%) y H<sub>2</sub>O (~65%) y poco azufre en la forma de H<sub>2</sub>S (<1%). La composición de los gases en la parte alta de la ladera norte del volcán es comparable con la composición de los gases medidos en noviembre del 2013 en la Cueva de los Minerales, esta última también ubicada en la parte alta de la ladera norte del Irazú.

### 3. Volcán Poás

#### 3.1 V.Poás: Sismología

La actividad sísmica en el volcán Poás aumenta casi exponencialmente entre inicios y mediados de octubre, para caer rápidamente hacia finales del mes, pasando de un promedio de menos de 10 eventos diarios a más de 100 eventos por día (Fig.17). Durante todo el mes de setiembre no se registró ninguna erupción freática importante, mientras que en octubre se registraron 3 erupciones moderadas entre el 6 y el 13 de octubre. Las dos últimas erupciones logran lanzar material del fondo del lago hasta una altura que sobrepasa los 250 metros, por lo que ambas son comparables con las mayores erupciones freáticas registradas durante el año. Sin embargo, a partir del 14 de octubre no se vuelven a registrar erupciones, ni siquiera de las menores que han sido frecuentes durante todo el año. La sismicidad también decae apreciablemente, aunque se siguen registrando sismos de baja frecuencia y gran amplitud como el que aparece en la Figura 18.

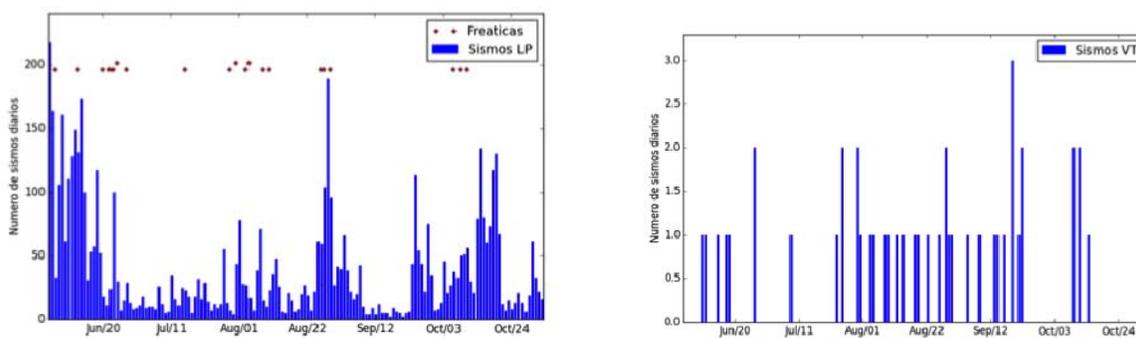


Figura 17. Izquierda: Número de sismos volcánicos registrados diariamente en el volcán Poás desde el 1 de junio hasta el 1 de noviembre del 2014. Las estrellas indican erupciones freáticas, las estrellas desplazadas indican más de una erupción freática el mismo día. Derecha: Número de sismos volcano-tectónicos asociados al volcán Poás.

Como se reportó en el informe de prensa del OVSICORI “Volcán Poás: Actividad freática en el 2014. Erupciones freáticas de junio y octubre: las más energéticas del año” ([http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=543:yolcan-poas-actividad-freatica-en-el-2014-erupciones-freaticas-de-junio-y-octubre-las-mas-energeticas-del-ano&id=43:prensa-2014&Itemid=54](http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=543:yolcan-poas-actividad-freatica-en-el-2014-erupciones-freaticas-de-junio-y-octubre-las-mas-energeticas-del-ano&id=43:prensa-2014&Itemid=54)), la erupción del 8 de octubre fue la más energética del año, mientras que la erupción del 13 de octubre ha sido la más compleja que se haya registrado ya que estuvo conformada por al menos 4 eventos discretos seguidos muy cercanos en tiempo. En la Figura 19 se comparan los registros y columnas eruptivas de ambas erupciones.

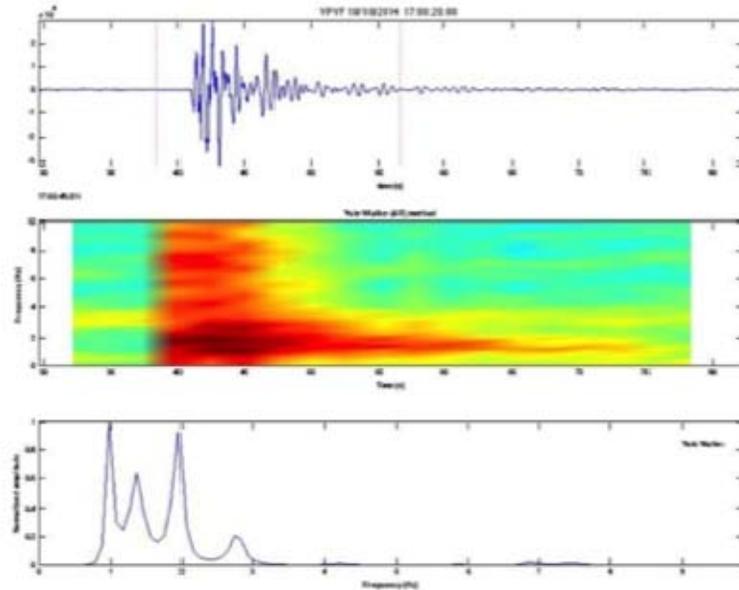


Figura 18. Sismo de baja frecuencia y gran amplitud registrado en la estación VPVF. Arriba se muestra el sismograma, al medio el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias.

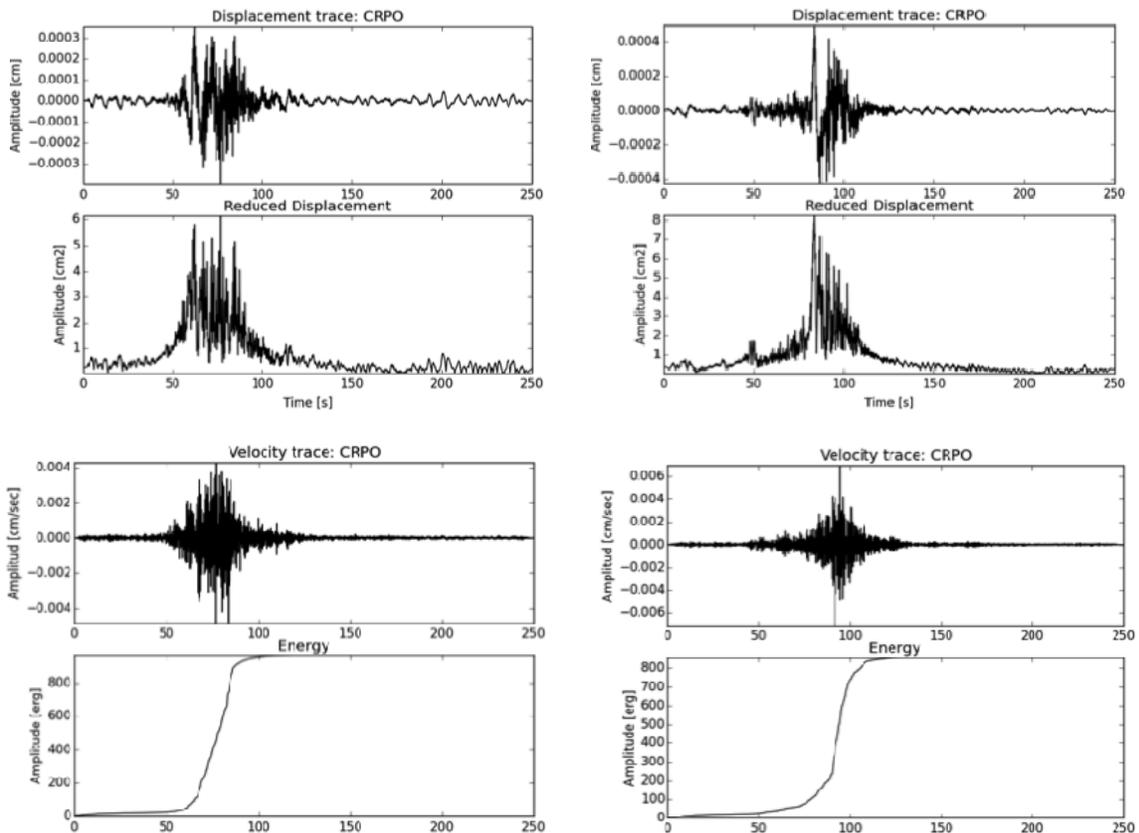




Figura 19. Izquierda: Registros y columna de la erupción del 8 de octubre. Derecha: Registros y columna de la erupción del 13 de octubre. Arriba se grafica el sismograma de desplazamiento, el desplazamiento reducido, el sismograma de velocidad y la energía sísmica.

La serie de tiempo de las erupciones freáticas observadas en los registros sísmicos a partir del 2012 se muestra en la Figura 20. 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.

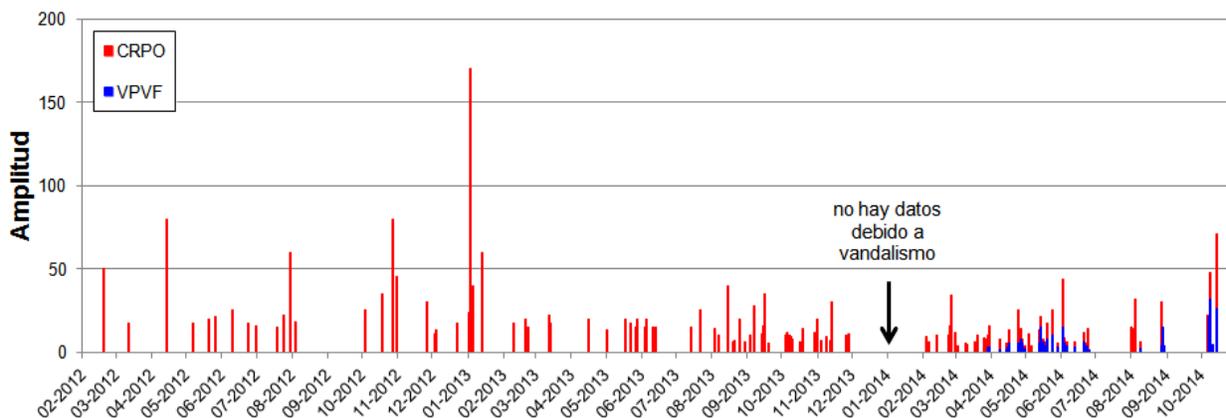


Figura 20. Serie de explosiones freáticas observadas en los registros sísmicos del Poás. Se muestra la amplitud máxima de la señal sísmica registrada en la componente vertical. Los datos correspondientes a las estaciones sísmicas CRPO y VPVF se muestran en rojo y azul, respectivamente.

En la Figura 21 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, como referencia, se muestran también las explosiones del 25 de febrero y 27 de agosto del 2014.

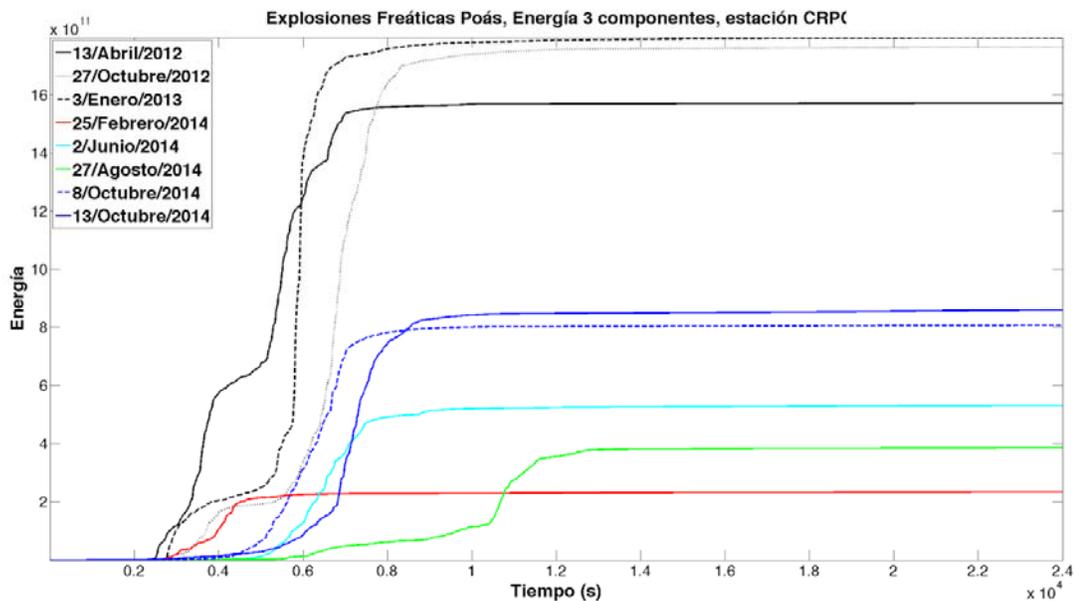


Figura 21. Comparación de la energía sísmica entre las mayores explosiones del 2012 al 2014. Los datos mostrados corresponden a la estación sísmica CRPO. En el recuadro ubicado en la izquierda superior se indica la línea y color empleados para cada erupción.

La estación sísmica VPVF se instaló en marzo del 2014. La Figura 22 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.

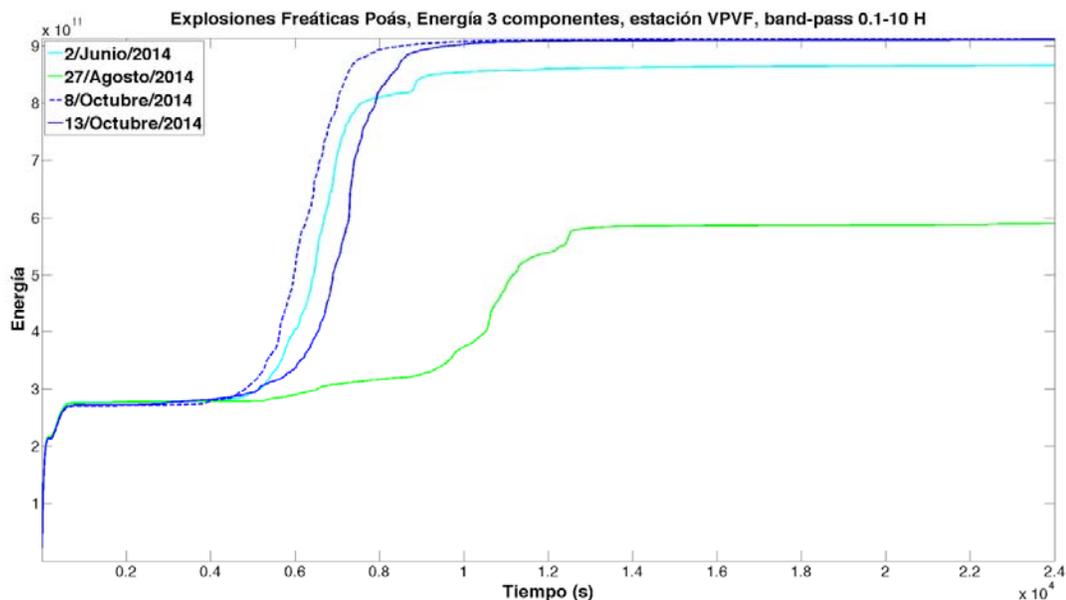


Figura 22. Comparación de la energía sísmica entre las mayores explosiones del 2014, registradas en la estación VPVF.

Es importante notar (Figs. 21 y 22) 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.

### 3.2 V.Poás: Deformación

En el volcán Poás, el grupo de volcanología mide las distancias entre un pilar en el mirador (P1VD en la Fig.23) y 5 reflectores alrededor del cráter. 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.24) 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.

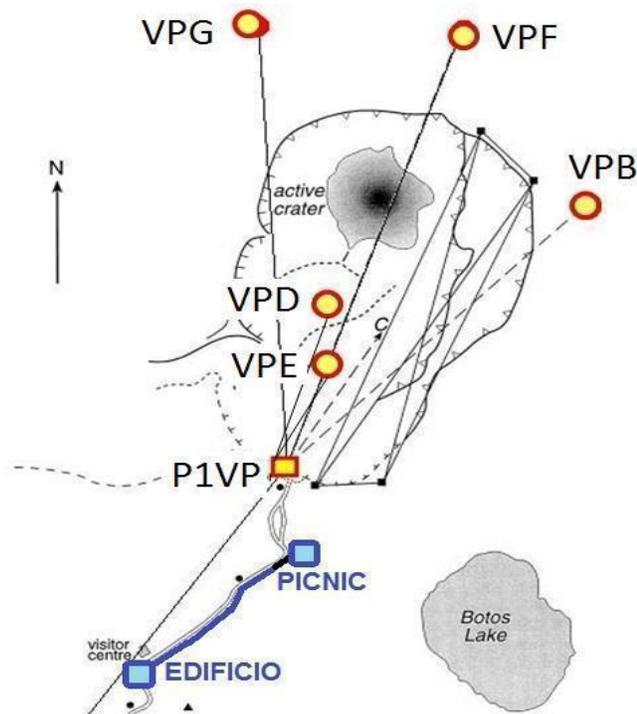


Figura 23. Red geodésica del volcán Poás. Puntos en rojo-amarillo representan los reflectores EDM medidos desde el monumento Pilar Mirador (cuadro rojo-amarillo).

Las observaciones de los últimos meses muestran un incremento de las distancias desde 2 hasta 4 cm en algunos meses. Este cambio es significativo y es similar a lo que se observó entre abril y setiembre del 2012, aunque el incremento observado es menor. En la Figura 24 pueden apreciarse variaciones significativas en las distancias relacionadas con la ocurrencia de las mayores explosiones freáticas del Poás.

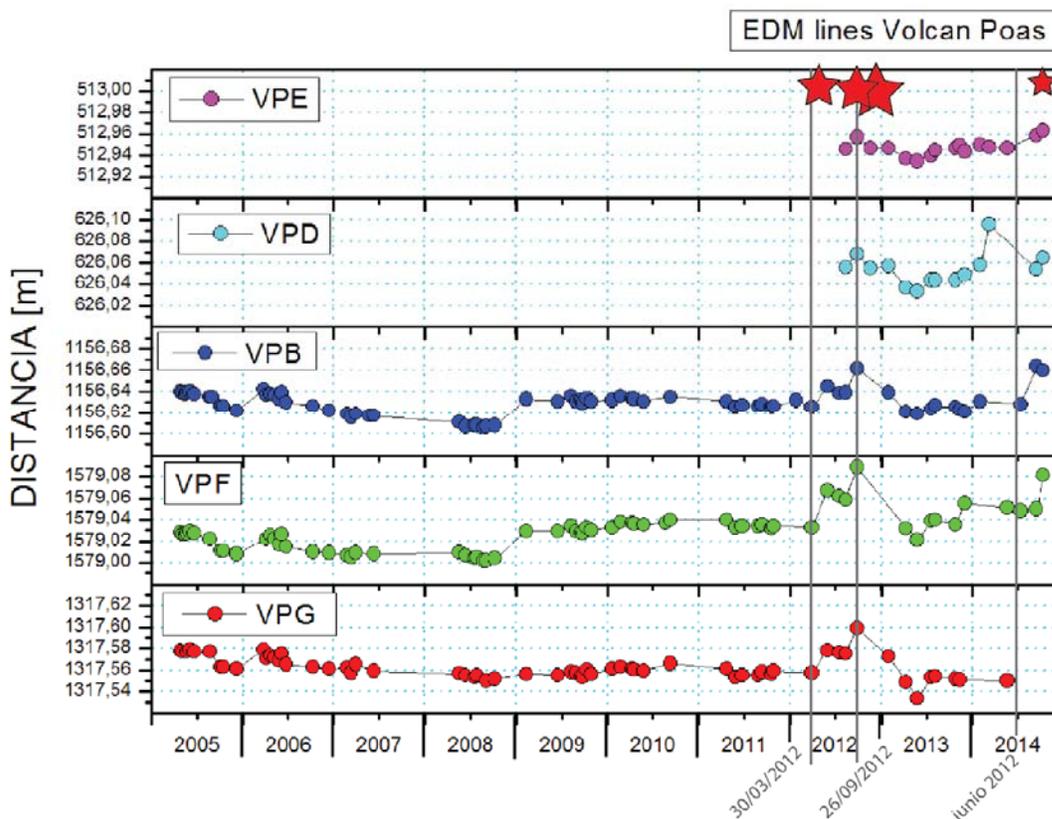


Figura 24. Longitud de las distancias EDM observadas entre el monumento Pilar Mirador, ubicado en el borde sur del cráter activo del Poás, y los reflectores VPE, VPD, VPB, VPF y VPG. Las estrellas rojas muestran las 4 explosiones más grandes registradas desde febrero del 2012. El tamaño de las estrellas representa la energía de cada explosión.

### 3.3 V.Poás: El lago ultra ácido

A pesar de que estamos en la época lluviosa, la temperatura y la acidez del lago se mantuvo considerablemente altas al inicio del mes: 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 (Fig.25). 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).

Al final del mes, la actividad del lago bajó considerablemente: no se registraron erupciones freáticas, menos azufre elemental fue observado en la superficie del lago, el color del lago se tornó más verde, y la temperatura del lago también bajó.

Las erupciones freáticas del Poás como las del 8 y del 13 de octubre 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.

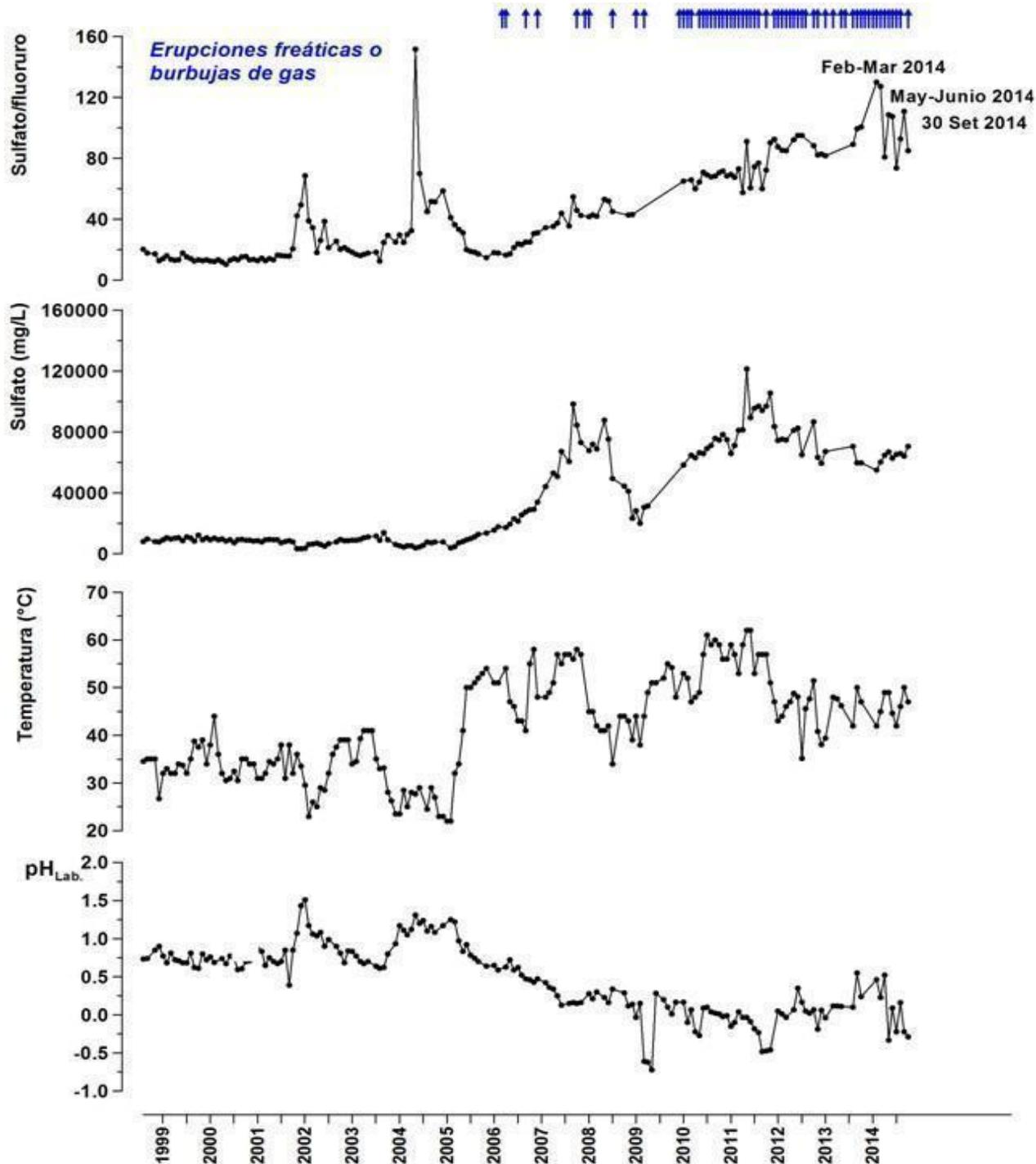


Figura 25. Variación mensual de la acidez (pH), temperatura, concentración de sulfato, y de la razón sulfato versus fluoruro del lago ultra-ácido del Poás entre 1999 y octubre del 2014. Nótese que los 3 picos máximos en las razones sulfato/fluoruro en el año 2014 han coincidido con la ocurrencia de las 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.

### 3.4 V.Poás: Gases

#### 3.4.1 Mediciones térmicas

La temperatura de las fumarolas del domo que se encontraban con valores arriba de los 600°C y se podía observar incandescencia de noche desde agosto, empezó a bajar de manera rápida después del 23 de octubre del 2014 (Fig.26).

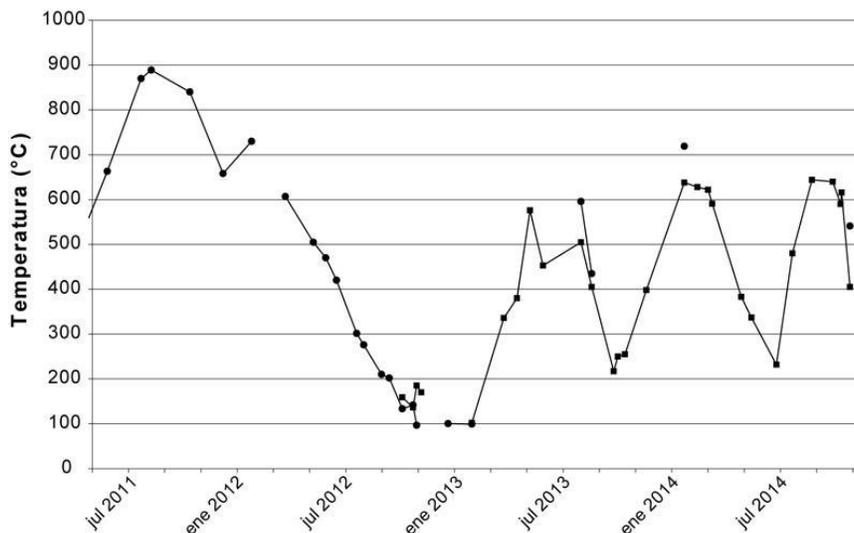


Figura 26. Evolución de la temperatura de las fumarolas del domo del Poás desde 2011.

#### 3.4.2 Monitoreo de los gases

Las Figuras 27 y 28 recopilan las mediciones del flujo de SO<sub>2</sub> y los valores de CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> 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 alto flujo de SO<sub>2</sub> de hasta ~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 SO<sub>2</sub> volvió a valores similares a los medidos entre enero y junio del 2014, período 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 28 muestra los valores de CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> medidos en las emisiones de los gases del lago ácido y en las fumarolas. En todos los casos, los valores de CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> de las emisiones del lago ácido son más altos que los valores de CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> de las fumarolas, pero durante el periodo con erupciones más grandes y menos frecuentes (indicado en gris, Fig.28) 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 CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>>1, esto es significativamente más alto que el valor de CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> observado simultáneamente en el gas de las fumarolas.

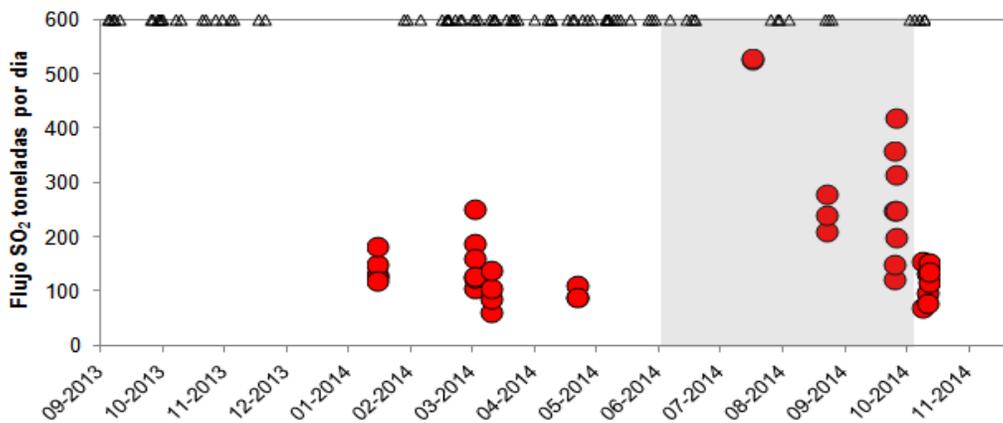


Figura 27. Flujo de  $SO_2$  del volcán Poás desde setiembre del 2013. Los triángulos indican erupciones freáticas registradas por las estaciones sísmicas. En gris se indica el periodo de erupciones más energéticas.

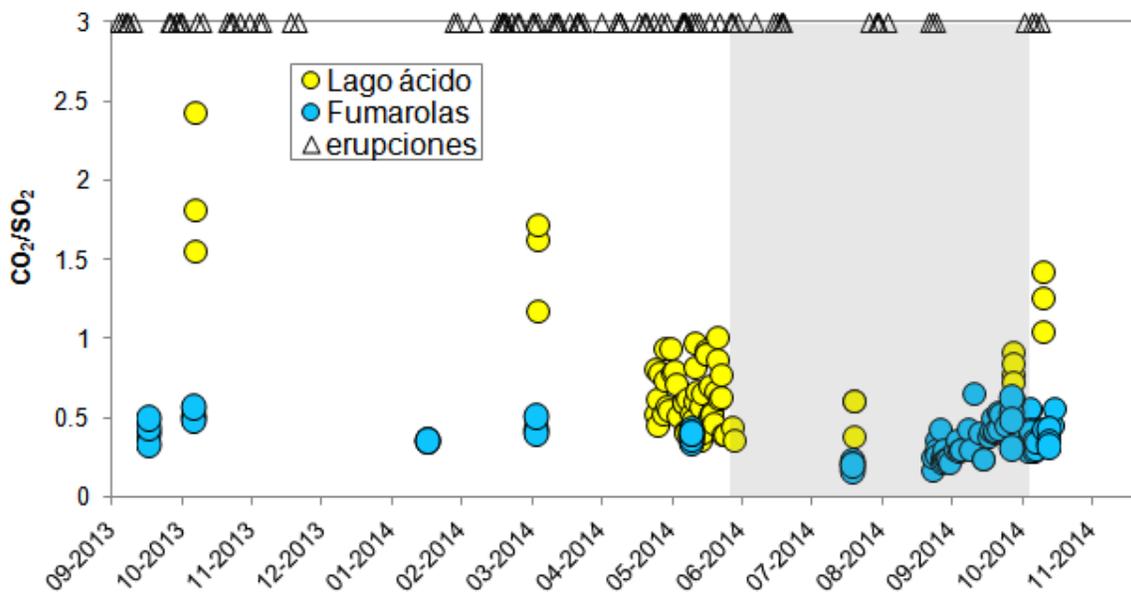


Figura 28. Valores de  $CO_2/SO_2$  para las emisiones del gas de las fumarolas y del lago ultra-ácido del volcán Poás desde setiembre del 2013. Los triángulos indican erupciones freáticas registradas por las estaciones sísmicas. En gris se indica el periodo de erupciones más energéticas.

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  $CO_2$  (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  $CO_2$  que difunde a través del suelo alrededor del lago caliente ultra-ácido no muestra cambios significativos desde el 2012 (Fig.29).

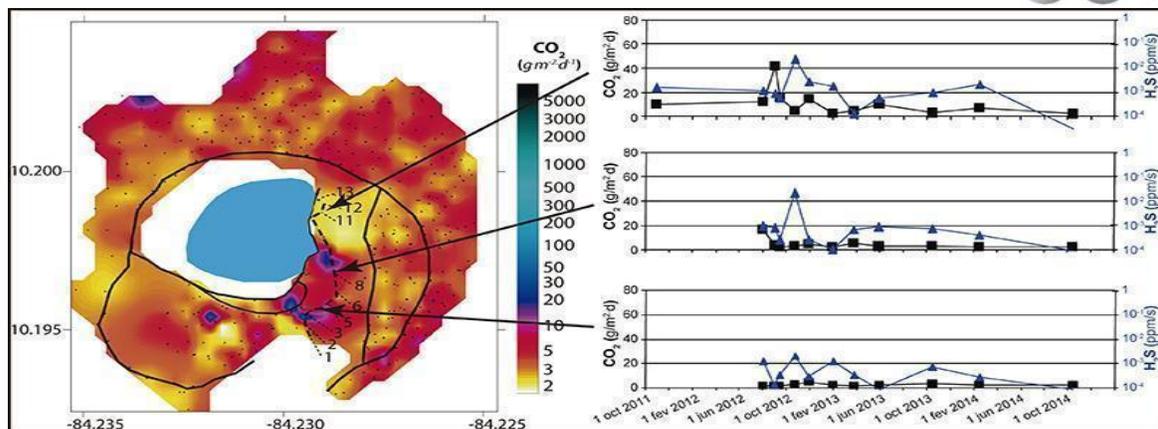


Figura 29. Mapa del flujo de  $CO_2$  que difunde a través del suelo alrededor del cráter activo del Poás y evolución temporal del flujo para algunos sitios en el sector este del lago.

## 4. Volcán Arenal

### 4.1 V. Arenal: Deformaciones

El volcán Arenal muestra una deformación constante generada por el peso de lava acumulado en su flanco Oeste, desde décadas. Este mes no hubo mediciones de deformación en este volcán.

### 4.2 V. Arenal: Gases

Las últimas mediciones de gases en el volcán Arenal se realizaron en abril del 2014 (ver boletín del OVSICORI de abril del 2014). Las temperaturas más altas encontradas registraron  $419^{\circ}C$  en la parte este del cráter activo C. Las mediciones de concentraciones de gases con un MultiGAS móvil no detectaron la presencia de  $SO_2$  pero detectaron emisiones de  $CO_2$ ,  $H_2S$  y  $H_2O$ . Esta campaña de mediciones permitió definir que el volcán Arenal emite actualmente  $\sim 98\%$   $H_2O$ ,  $\sim 2\%$   $CO_2$  y  $\sim 0.005\%$   $H_2S$ . En concordancia con las mediciones de MultiGAS, los transectos y escaneos con DOAS y FLYSPEC no detectaron emisiones de  $SO_2$ . Estos datos de gases indican que el volcán Arenal está en un estado de reposo y la desgasificación es débil y de naturaleza hidrotermal. Probablemente, las temperaturas altas registradas en el cráter activo C se deben al calor residual de las rocas en el conducto principal.

## 5. Volcán Rincón de la Vieja

### 5.1 V. Rincón de la Vieja: Sismología

La actividad sísmica en el volcán Rincón de la Vieja permanece baja. Durante el mes de octubre solo se registraron 3 eventos de baja frecuencia y baja amplitud, dos de ellos el día 1 de octubre y un tercero el día 6. El día 24 de octubre se registró una pequeña erupción freática, seguida por un tremor monocromático que se prolongó por cerca de 5 minutos. La Figura 30 muestra el sismograma y espectro del evento, junto con una foto tomada por el señor Oscar Alvarado desde

Buenos Aires de Upala, al norte del volcán.

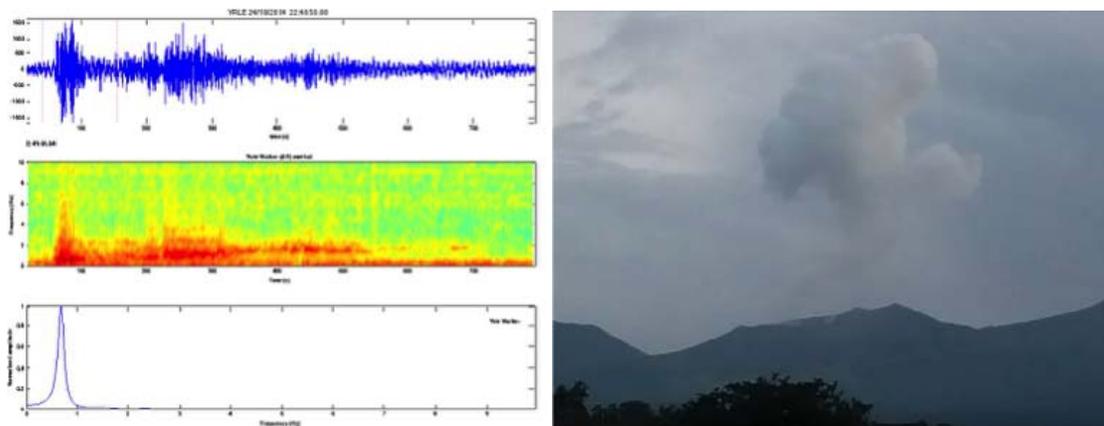


Figura 30. Sismograma (arriba), espectrograma (centro) y espectro de frecuencias (abajo) de la erupción freática del 24 de octubre (Izquierda). Foto tomada por el señor Oscar Alvarado desde Buenos Aires de Upala de la erupción freática.

### 5.2 V. Rincón de la Vieja: Gases

El 3 de octubre del 2014 se realizaron mediciones de la composición de gases en la pluma del Rincón de la Vieja con ayuda de un sistema MultiGAS portátil (Fig.31). Los resultados indican disminuciones dramáticas en las razones de los gases  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$  desde los meses previos a la ocurrencia de las erupciones freáticas de setiembre 2014. Debido a las condiciones desfavorables del clima, no se realizó mediciones del flujo de  $\text{SO}_2$  el 3 octubre 2014. Las últimas mediciones del flujo de  $\text{SO}_2$  se realizaron en abril de 2014 y se midió un flujo total promedio de  $\text{SO}_2$  de  $\sim 70$  toneladas por día con FLYSPEC.

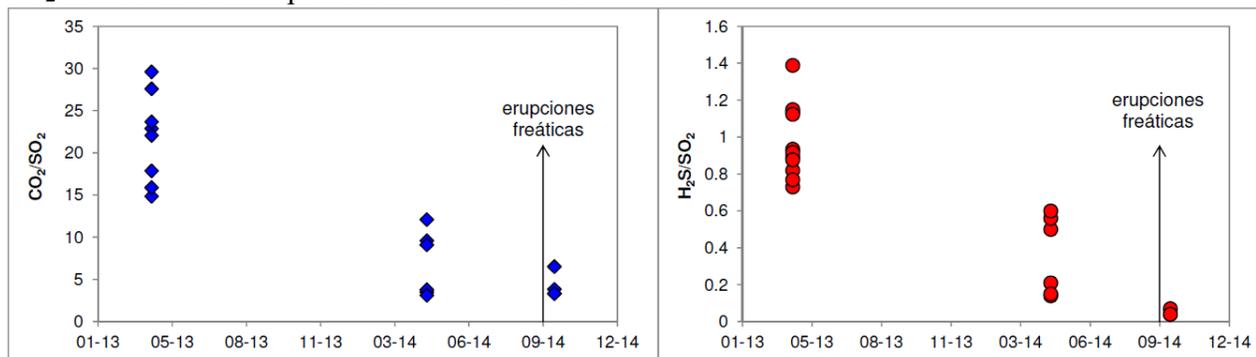


Figura 31. Datos del sistema MultiGAS portátil para la pluma de gases del Rincón de la Vieja.

### 5.3 V. Rincón de la Vieja: El lago ultra ácido

Los perfiles de varios de los parámetros físico-químicos que se monitorean en el lago ácido del Rincón de la Vieja muestran en setiembre 2014 un aumento significativo en la acidez (pH más bajo), la temperatura, la conductividad eléctrica, y en las proporciones sulfato/fluoruro y sulfato/cloruro (Fig.32). Se notó un aumento de la temperatura del lago con un valor aparente de alrededor de  $45^\circ\text{C}$  medido de manera remota con termógrafo infrarrojo el 27 de setiembre durante un sobrevuelo gracias a la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) y a la Fuerza Pública de Costa Rica. Este aumento fue confirmado con una medición directa posterior de  $39^\circ\text{C}$  el 3 de

octubre y un pH alrededor de 0.4, comparado con  $T \sim 30^{\circ}\text{C}$  y  $\text{pH} \sim 0.45$  en abril del 2014.

En general, los parámetros observados en el lago ácido muestran en el periodo 1992-2014 fluctuaciones relacionadas con cambios en el régimen del sistema magmático-hidrotermal del volcán. A partir de mediados del año 2000 y hasta el presente, el lago se torna más ácido y más concentrado en especies originadas de volátiles mágnmáticos y de elementos formadores de roca, lo que sugiere una mayor interacción agua-gas-roca en el sistema hidrotermal que subyace en el edificio volcánico. Todas estas observaciones sugieren la inyección de fluidos ricos en volátiles mágnmáticos desde nivel profundo hacia el sistema hidrotermal que alimenta al lago ácido.

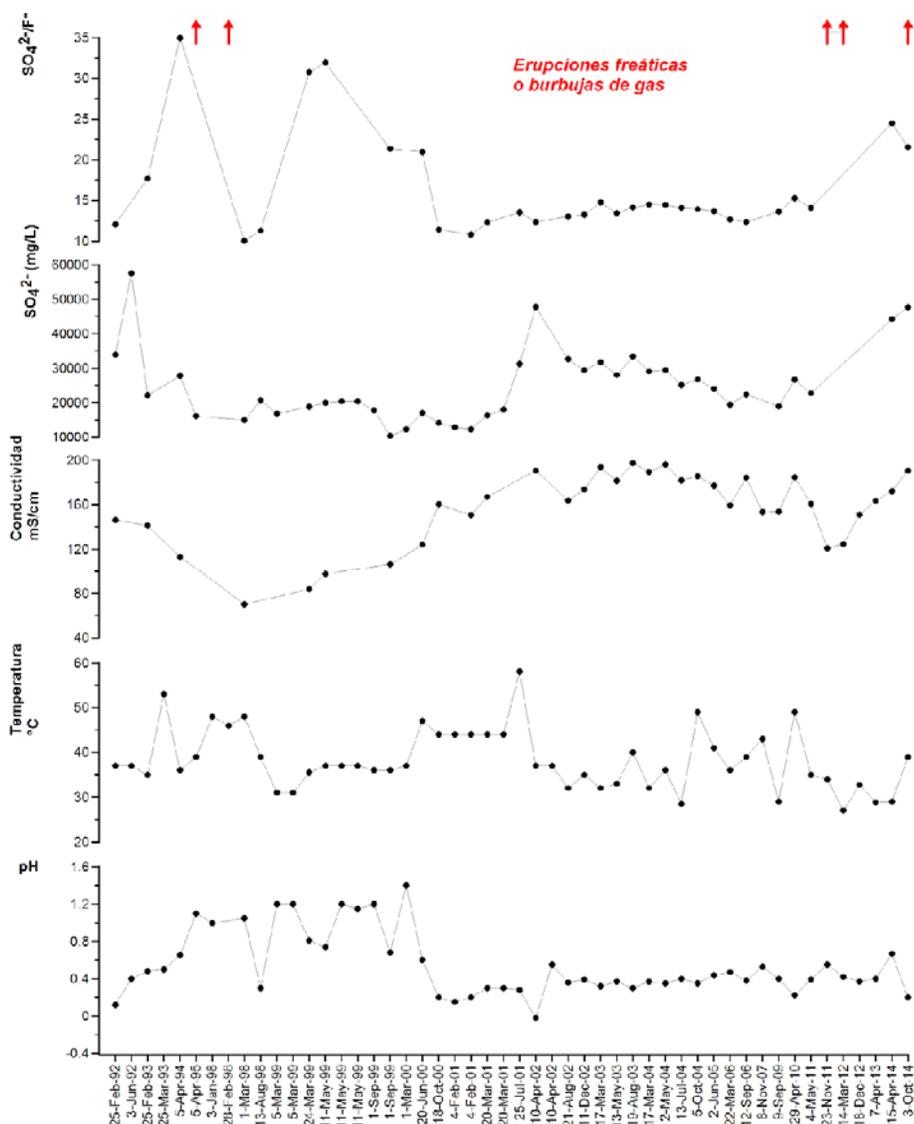


Figura 32. Evolución del pH, temperatura, conductividad, sulfato, y la razón sulfato/fluoruro del lago ultraácido del Rincón de la Vieja: 1992-3 octubre 2014. Las flechas rojas indican periodos con ocurrencia de erupciones freáticas.

**Reconocimientos:**

Se agradece a los funcionarios del Sistema Nacional de las Áreas de Conservación y de los Parques Nacionales de Costa Rica, así como a todas las personas que ayudaron de una u otra forma con las mediciones de campo y de laboratorio presentados en esta publicación. Se agradece mucho el instituto geográfico nacional y el registro del catastro por los datos GPS de sus sitios.

### *Bibliografía*

P. Lesage. Automatic estimation of optimal autoregressive filters for the analysis of volcanic seismic activity. *Natural Sciences and Earth System Sciences*, 8, 369-376, 2008.

P. Lesage. Interactive Matlab software for the analysis of seismic volcanic signals. *Computers and Geosciences*, 35, 10, 2137-2144, 2009.

M. Lupi, Florian Fuchs and Javier Pacheco. Fault reactivation due to the Mw 7.6 Nicoya earthquake at the Turrialba-Irazú volcanic complex, Costa Rica, Effects of dynamic stress triggering, *Geophysical Research Letters*, 41, 4144-4148, 2014.

*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.crmailto:ovsicori@una.cr](mailto:ovsicori@una.cr)

*Website:* <http://www.ovsicori.una.ac.cr> / <http://www.ovsicori.una.ac.cr/>  
*Facebook:* <http://www.facebook.com/OVSICORI?ref=ts>