

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



*Erupción del volcán Turrialba del 1 noviembre 2014 a las 5:30 a.m. observada desde San Antonio de Santa Cruz de Turrialba. Fuente: Turrialba en Fotos, fotógrafo José Adrián Alvarado.*

*Elaborado por:*

Dr. Geoffroy Avaré, Dr. Javier Pacheco, Ing. Cyril Muller, Dra. María Martínez,  
Dr. Maarten de Moor, MSc. Martijn Keizer, MSc. Monserrat Cascante

*Con contribuciones de:*

MSc. Federico Chavarría Kopper, Bach. David Osorno, Wendy Sáenz, Mariela Soto,  
Bach. Frida Cordon, MSc. Enrique Hernández, Lic. Jorge Brenes

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

## ***Resumen del estado actual de los volcanes noviembre 2014***

### **V. Turrialba:**

La actividad eruptiva que presentó el volcán Turrialba a fines de octubre continuó en noviembre con erupciones importantes, acompañadas con emisión de cenizas. La mayor erupción se reportó el 1 noviembre a las 5:20 horas, otras de menor escala se reportaron los días 13, 14 y 15 de noviembre. Estas erupciones de noviembre al igual que las de octubre 2014 son de carácter freático con una pequeña componente magmática (se encontró un contenido menor al 1% de pequeños fragmentos que tienen características que podrían corresponder a material juvenil, es decir lava). Uno de los sitios equipados con una antena permanente de GPS muestra una tendencia de levantamiento desde su instalación, lo que podría implicar un aumento en la presurización interna del volcán y que podría culminar en otra explosión de gases y cenizas.

### **V. Irazú:**

No se han detectado salida de vapores ni anomalías térmicas en el interior del Cráter Principal (el que estuvo activo en 1963-1965). Desde un periodo indeterminado en 2014, la estación permanente GPS a 5 km al oeste del Cráter Principal empezó a levantarse con una tasa cerca del centímetro por año.

### **V. Poás:**

Desde el 23 de octubre 2014 el Poás ha mostrado un descenso marcado en la temperatura y flujo de gases en las fumarolas del “domo” así como una reducción marcada en la actividad convectiva de las fumarolas subacuáticas dentro del lago. Desde esa fecha no se observa más resplandecencia e incandescencia en las fumarolas del “domo”. Tampoco se han observado ni reportado más erupciones freáticas desde el 13 octubre 2014. Los dos GPS instalado nuevamente no muestra señal de deformación.

### **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 instrumental. Los vapores que emanan en ocasiones a través de los cráteres C y D son de composición hidrotermal y consiste básicamente de vapor de agua y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los peligros potenciales actuales en el Arenal involucra principalmente inestabilidad de sectores del edificio volcánico. Imágenes satelitales de radar de alta resolución generadas entre los años 2011-2013, proveen evidencia de ocurrencia esporádica de avalanchas de rocas y de la existencia de al menos 16 deslizamientos superficiales activos con movimiento lento desde la región sumital. Se estima que estos deslizamientos tienen un espesor entre 5 y 11 metros y representan un volumen total de material rocoso de aprox.  $2.4 \times 10^7 \text{m}^3$ .

### **V. Rincón de la Vieja:**

El 9 de noviembre 2014 vecinos al norte del volcán Rincón de la Vieja observaron una pluma de vapor difusa saliendo del cráter activo. Los niveles de actividad sísmica se mantienen muy bajos, solo se registran 2 sismos de baja frecuencia importantes en todo el mes y no se registraron sismos volcano-tectónicos asociados al volcán. Los perfiles de algunos 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

Luego de la erupción del 29 de octubre cerca de las 11 de la noche, los niveles de sismicidad en el volcán Turrialba continuaron manteniéndose altos durante el mes de noviembre. Se registran varias explosiones acompañadas de salida de ceniza y en algunas ocasiones con lanzamiento de lapilli y pequeñas rocas en las cercanías del cráter oeste. Sin embargo, el mal tiempo impidió, en la mayoría de las ocasiones, realizar una inspección visual de los efectos de las explosiones. La sismicidad está dominada por tembor, explosiones, exhalaciones, sismos volcánicos asociados a movimiento de fluidos y sismos volcano-tectónicos.

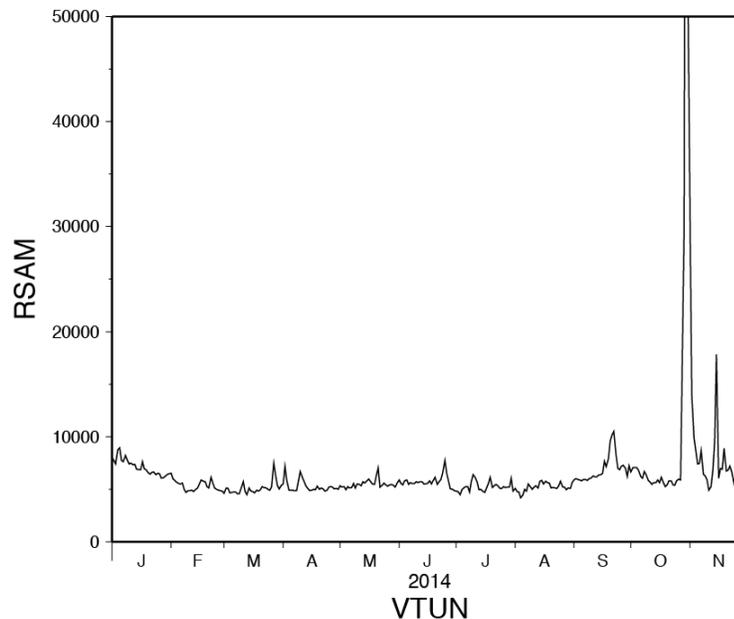


Figura 1. RSAM (raíz cuadrada de la amplitud promedio diario) para el volcán Turrialba durante el año 2014. La mayor amplitud se muestra truncada para poder apreciar detalles en las variaciones de la sismicidad.

La actividad sísmica del volcán Turrialba (Fig. 1) se mantuvo en niveles bajos desde enero hasta mediados de setiembre cuando ocurrió un leve incremento en la actividad. Finales de octubre muestra el mayor incremento de la sismicidad desde el 2012, sin embargo, esta actividad es de muy corta duración, y marca la explosión freática del 29 de octubre. Noviembre presenta dos incrementos de corta duración, a mediados y finales de noviembre.

La figura 2 (a la izquierda) muestra el número de sismos volcánicos contabilizados durante el año 2014, las barras representan el número de sismos diarios y los asteriscos marcan los días en que se registraron explosiones. Cuando los asteriscos aparecen desplazados indica que ocurrió más de 1 explosión en el día. Se registra un incremento de la sismicidad volcánica hacia mediados y finales de noviembre. Los temores prolongados de fines de octubre, se siguen registrando durante los primeros días de noviembre, pero desaparecen hacia fines del mes, registrándose únicamente períodos cortos de tembor, generalmente asociados a las exhalaciones de ceniza (Fig. 3).

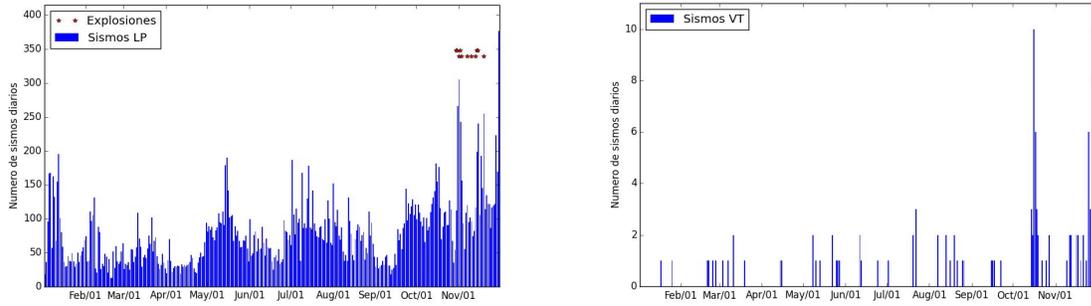


Figura 2. Izquierda: número de sismos volcánicos registrados diariamente durante el año 2014. Los asteriscos muestran los días con explosiones freáticas (cuando el asterisco aparece desplazado indica que más de una explosión se registró). Derecha: número de sismos volcano-tectónicos asociados al volcán Turrialba durante el año 2014.

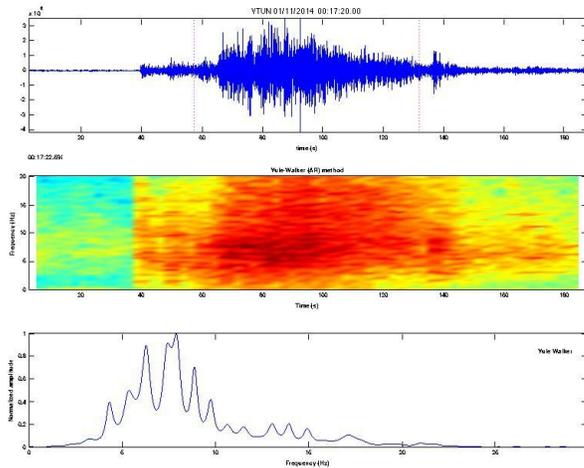


Figura 3. Tremor asociado a una de las exhalaciones de gas y cenizas del 1 de noviembre. Arriba: sismograma, centro: espectrograma, abajo: espectro de frecuencia.

De las explosiones freáticas registradas durante el mes de noviembre la más energética ocurrió el 1 de noviembre a las 11:57 (GMT). Las otras erupciones ocurridas el 1 de noviembre son equivalentes a las ocurridas el 13, 14, 15 de noviembre (Fig. 4).

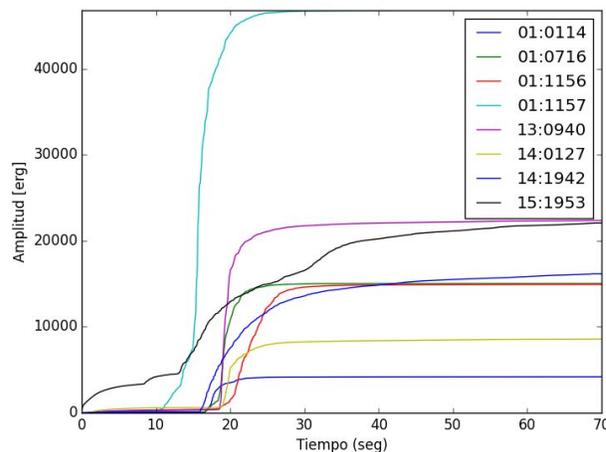


Figura 4. Comparación de la energía sísmica liberada por las mayores explosiones freáticas ocurridas durante el mes de noviembre.

La figura 5 muestra una de las explosiones registradas por la cámara web del OVSICORI-UNA. Esta explosión ocurrió el día 13 en horas de la noche. La explosión se ve en la fotografía como un incremento en la luminosidad del cráter, y es de muy corta duración. La actividad exhalativa, con emisión de cenizas y lanzamiento de escoria tiene una mayor duración, la cual es representada por un tremor volcánico que sigue a la explosión.

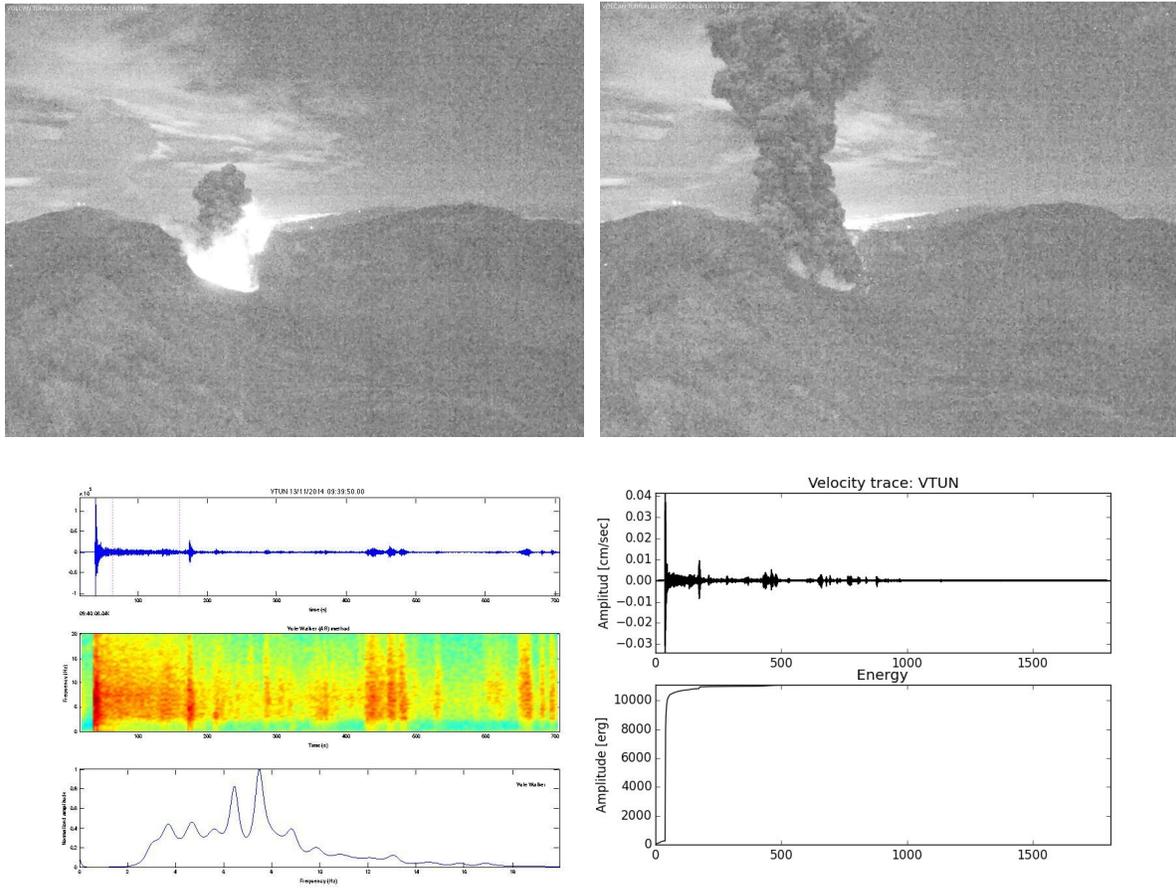


Figura 5. Arriba se muestra el momento de la explosión freática (izquierda) y unos segundos más tarde la emisión sostenida de cenizas (derecha). Abajo se muestra el sismograma con el espectrograma y espectro de frecuencias de la secuencia sísmica (izquierda), además del registro sísmico y el cálculo de la energía sísmica liberada como función del tiempo (derecha).

El día 29 de noviembre se registró por primera vez un sismo volcánico con una banda de frecuencias muy reducida, casi monocromático (Fig. 6). Estos sismos serán más frecuentes durante el mes de diciembre. Este tipo de sismo puede indicar movimiento de fluidos más viscosos que los hasta ahora involucrados en la generación de sismos volcánicos del Turrialba.

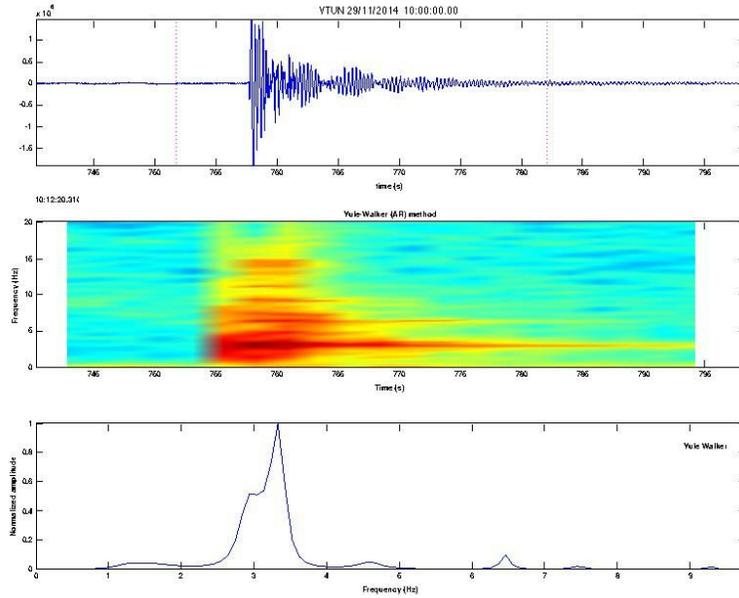


Figura 6. Sismo monocromático de baja frecuencia. Arriba se muestra el sismograma, al centro el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias.

La sismicidad volcano-tectónica también muestra un incremento durante el mes de noviembre respecto al resto del año, excepto octubre, que presentó también un pequeño incremento en la sismicidad volcano-tectónica (Fig. 2). La mayoría de los sismos volcano-tectónicos se ubican a menos de 2 km bajo el cráter activo (Fig. 7) y son de pequeña magnitud ( $M_l < 2$ ). Estos sismos indican rompimiento de roca a profundidades someras debido a los esfuerzos causados por la presión que ejercen los gases magmáticos sobre la roca.

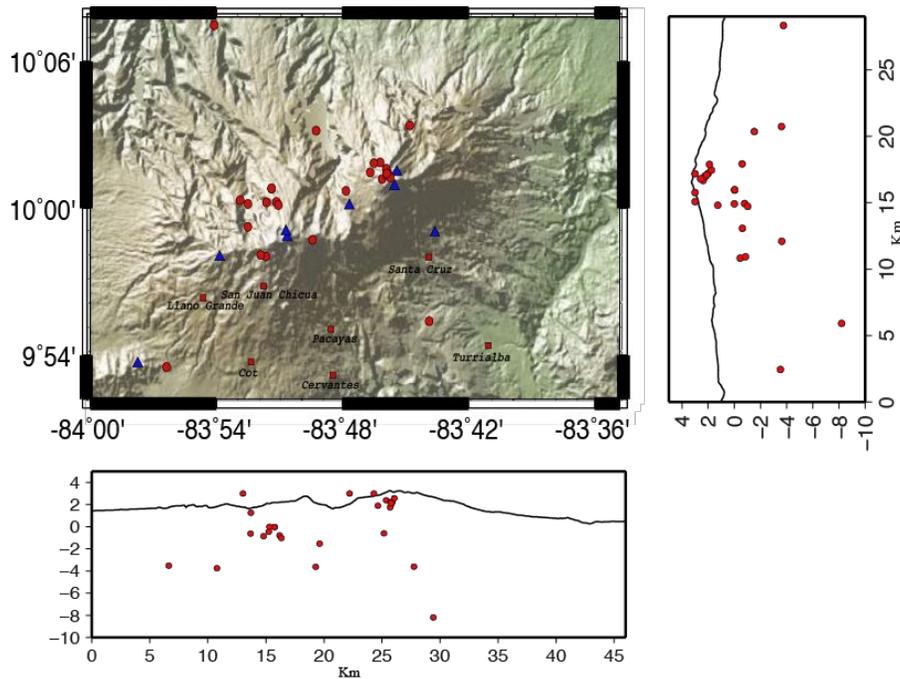


Figura 7. Mapa con la sismicidad (puntos rojos) localizada durante el mes de noviembre en las cercanías de los macizos Irazú y Turrialba. Los triángulos azules representan estaciones sísmicas utilizadas para la localización y los cuadrados ubican los principales poblados.

## 1.2 V. Turrialba: Deformación

Durante el mes de noviembre se instalaron 3 nuevas estaciones permanentes GPS que permiten seguir de manera continua la deformación de la parte superior del volcán (Fig 8).

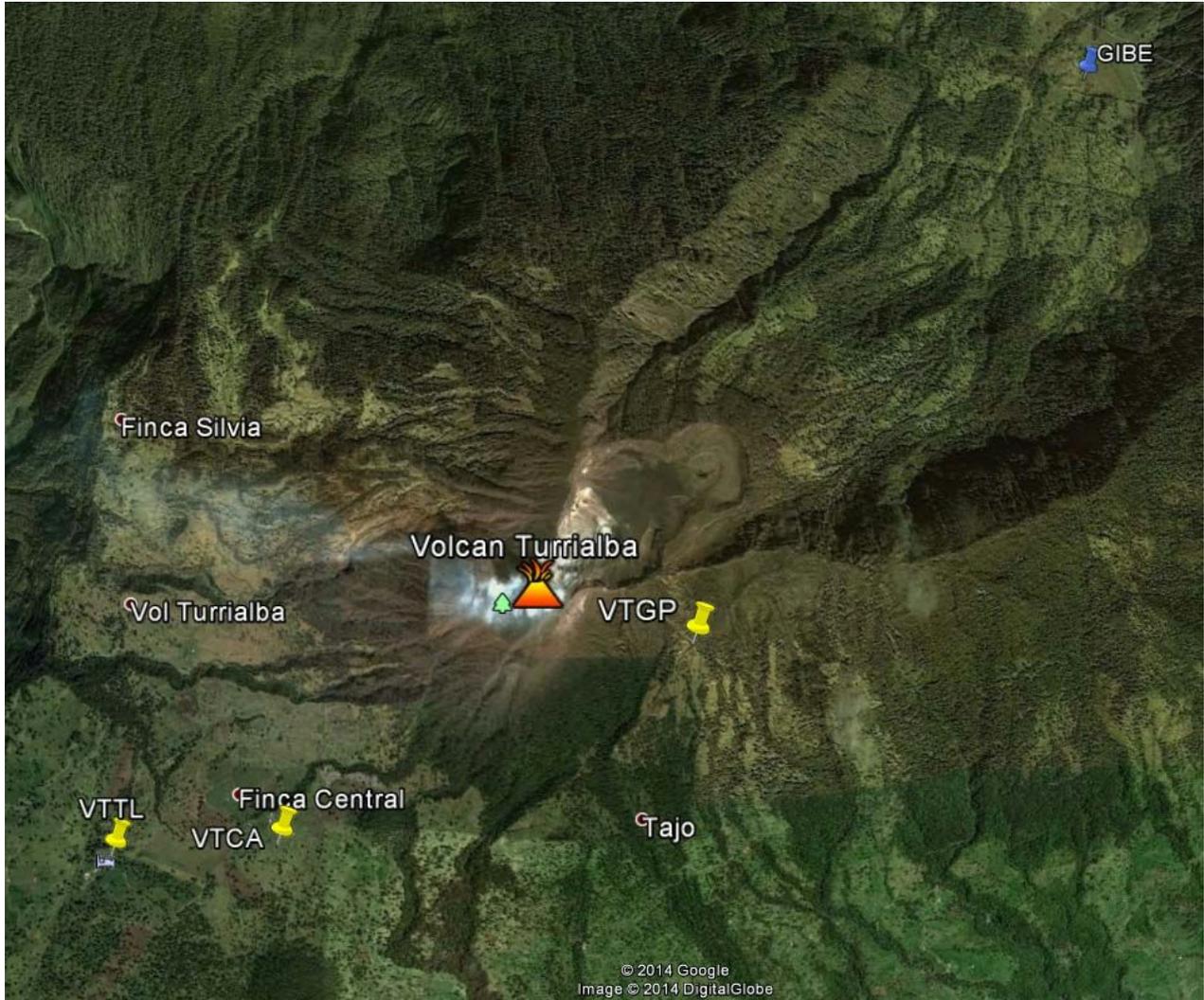


Figura 8. Ubicación de los 4 sitios GPS en el volcán Turrialba. Las marcas amarillas son las nuevas estaciones GPS instaladas en el mes de Noviembre 2014. La marca azul (GIBE) fue instalada al fin de 2010.

Los primeros resultados son preliminares sin embargo se aprecia una tendencia:

- VTGP tiene una tendencia inflacionaria hasta el 20 de Noviembre con un levantamiento y un movimiento hacia el sureste. A partir de esta fecha no parece seguir el levantamiento mientras la componente norte y este siguen en la misma dirección (Fig. 9).
- VTCA se instaló más tarde durante el mes de noviembre, por lo que todavía tiene pocas mediciones. Sin embargo, parece que este sitio tiene una tendencia deflacionaria con un movimiento en dirección al cráter y una subsidencia (Fig. 10).
- VTTL se instaló sobre un pilar recientemente construido, está todavía acomodándose en el terreno y probablemente no refleja ningún movimiento volcánico (Fig. 11).
- GIBE, el sitio de medición más antiguo, estos últimos meses ha mostrado una tendencia inflacionaria con un movimiento en dirección noroeste asociado a un desplazamiento

vertical positivo. Sin embargo, esta tendencia parece invertirse durante los últimos días del mes de noviembre (Fig. 12).  
De manera general parece que el volcán está liberando la presión acumulada.

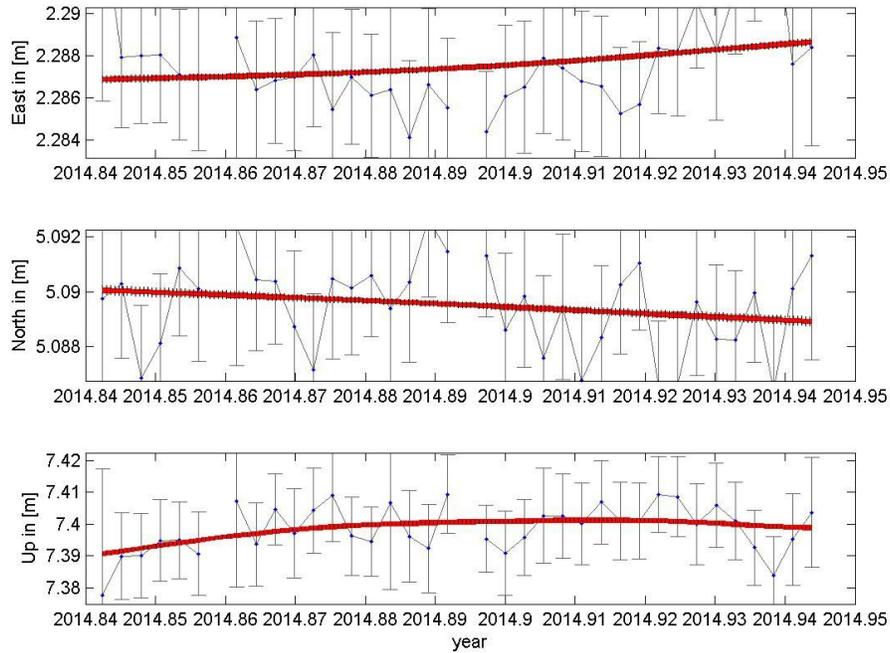


Figura 9. Series de tiempo en los componentes este, norte y sur del sitio VTGP. Los puntos azules son las determinaciones diarias de la posición con sus barra de error en gris. La línea roja de cada gráfico es el resultado de un filtro de kalman que suaviza la señal.

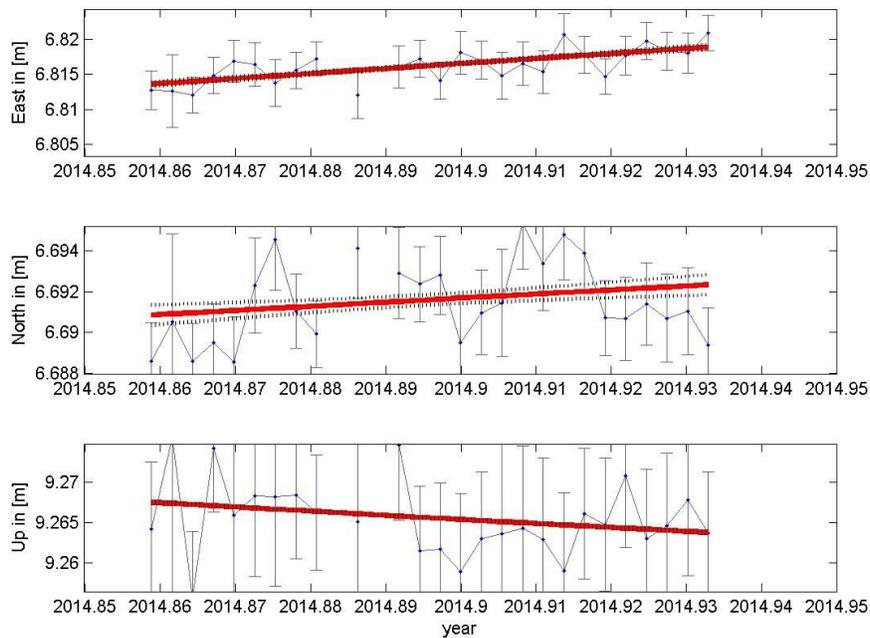


Figura 10. Series de tiempo en los componentes este, norte y sur del sitio VTCA. Los puntos azules son las determinaciones diarias de la posición con sus barras de error en gris. La línea roja de cada gráfico es el resultado de un filtro de kalman que suaviza la señal.

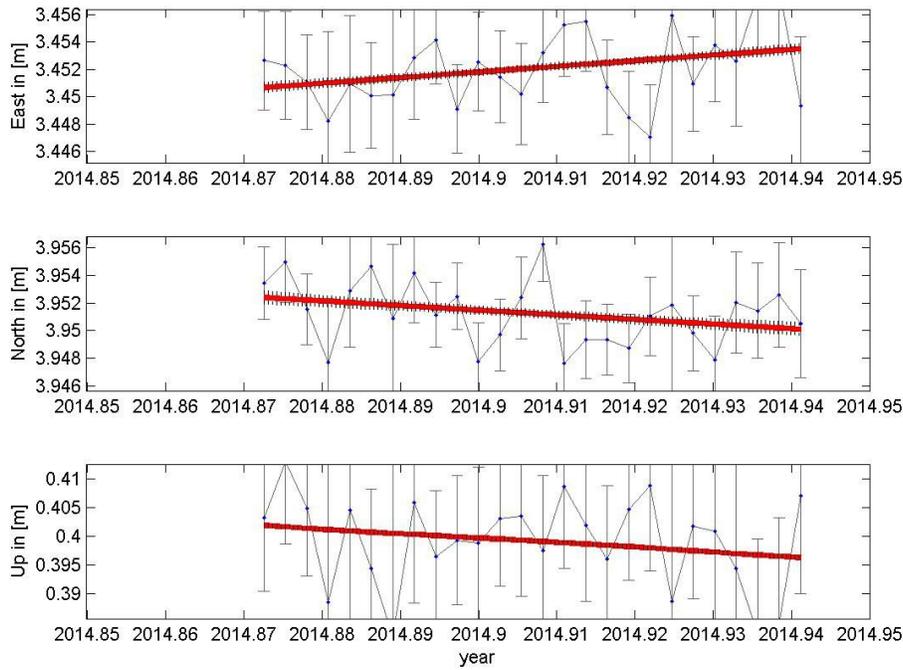


Figura 11. Series de tiempo en los componentes este, norte y sur del sitio VTTL. Los puntos azules son las determinaciones diarias de la posición con sus barras de error en gris. La línea roja de cada gráfico es el resultado de un filtro de kalman que suaviza la señal.

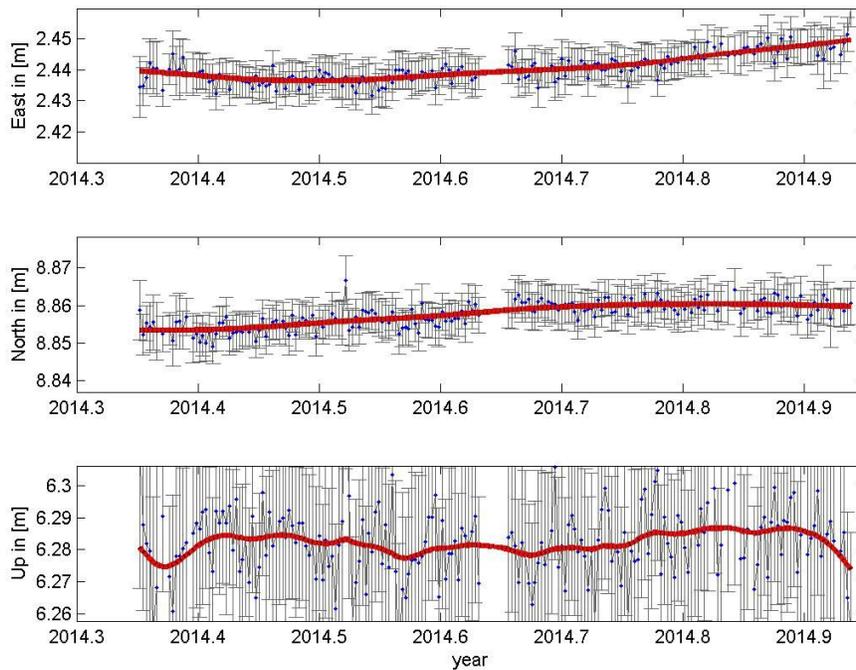


Figura 12. Series de tiempo en los componentes este, norte y sur del sitio GPS GIBE. Los puntos azules son las determinaciones diarias de la posición con sus barras de error respectivas en gris. La línea roja de cada gráfico es el resultado de un filtro de Kalman que suaviza la señal.

### 1.3 V. Turrialba: flujo de gases

#### 1.3.1. Flujo de dióxido de azufre, $SO_2$ , mediante la red permanente DOAS

A pesar de las condiciones climáticas desfavorables en esta época del año, se nota que el flujo de  $SO_2$  emitido por el volcán Turrialba estimado gracias a la red permanente DOAS, aumentó un poco antes de la erupción freática del 29 de octubre del 2014 (Fig. 13). Posteriormente, se mantuvo a niveles ~3 veces superiores a los flujos medidos previos a esta erupción. A partir del 13 de noviembre el flujo de  $SO_2$  aumentó hasta alcanzar el 19 de noviembre el valor más alto (promedio ~3000 t/día) medido por la red DOAS permanente desde ~2010 (Conde et al., 2013). El flujo se mantiene con valores altos hasta la fecha.

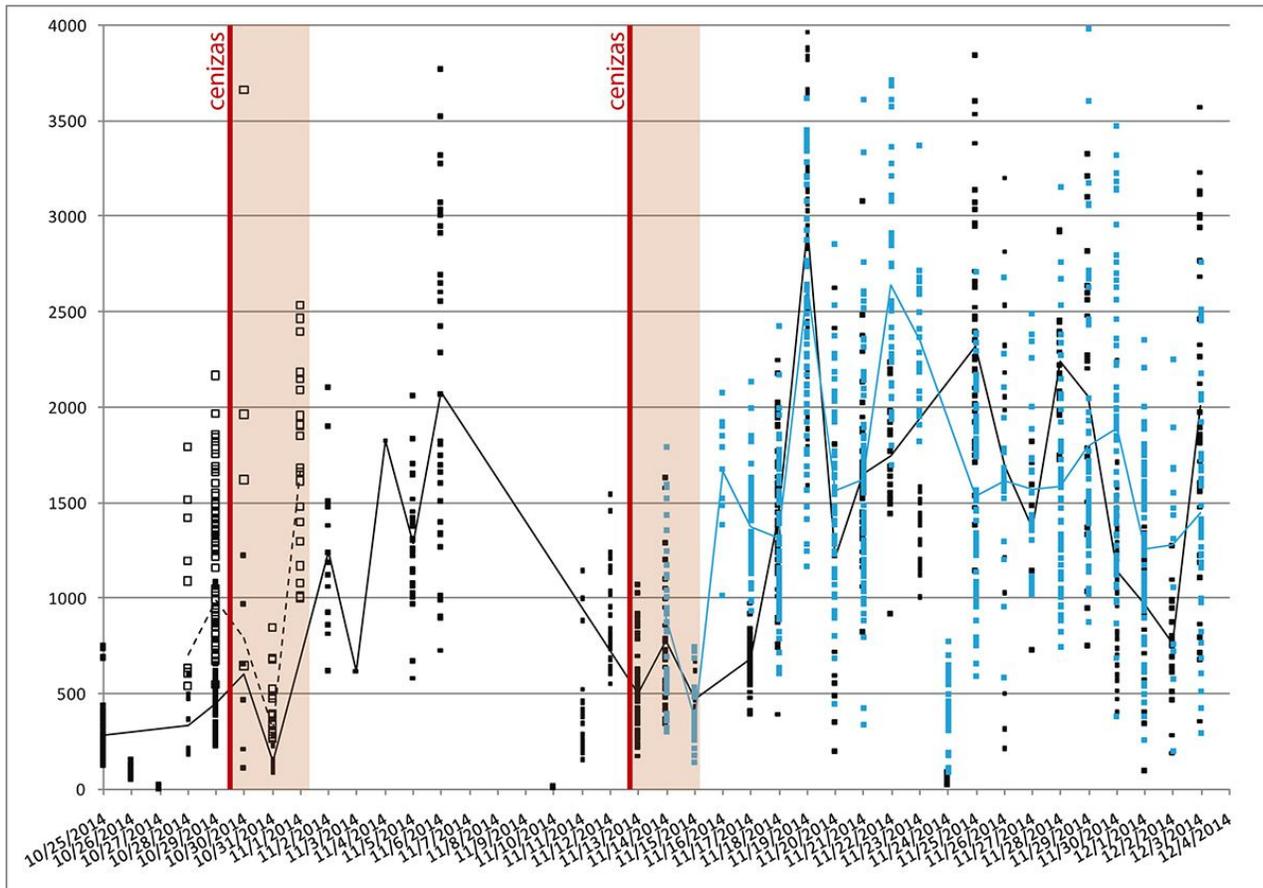


Figura 13. Mediciones detalladas del flujo de  $SO_2$  medido por las 2 estaciones permanentes DOAS ubicadas al suroeste del volcán Turrialba.

#### 1.3.2. Flujo de dióxido de azufre, $SO_2$ , inferido de imágenes satelitales

En el transcurso del año 2014 el flujo máximo promedio fue de hasta 350 t/día, pero para el día de 28 octubre 2014 se midieron ~2000 t/día de acuerdo a la red permanente DOAS del OVSICORI-UNA/Chalmers University/DECADE-DCO (Fig. 13). Comparando las mediciones de la red permanente DOAS con las inferidas del instrumento OMI del satélite AURA de la NASA para los días 30 y 31 octubre 2014, se tiene que OMI-AURA reporta una emisión máxima de  $SO_2$  de alrededor de 1000 t/día (Fig. 14). En contraste, a mediados de noviembre 2014 se reportan unas 500 t/día de acuerdo a los datos de la red permanente DOAS valores que son congruentes con las emisiones reportadas de los datos de OMI-AURA (Fig. 14).

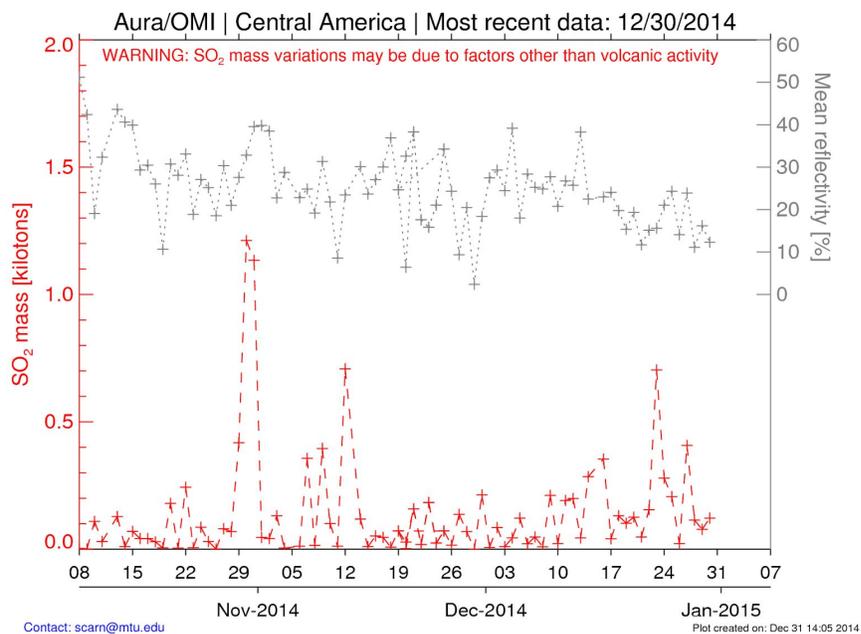
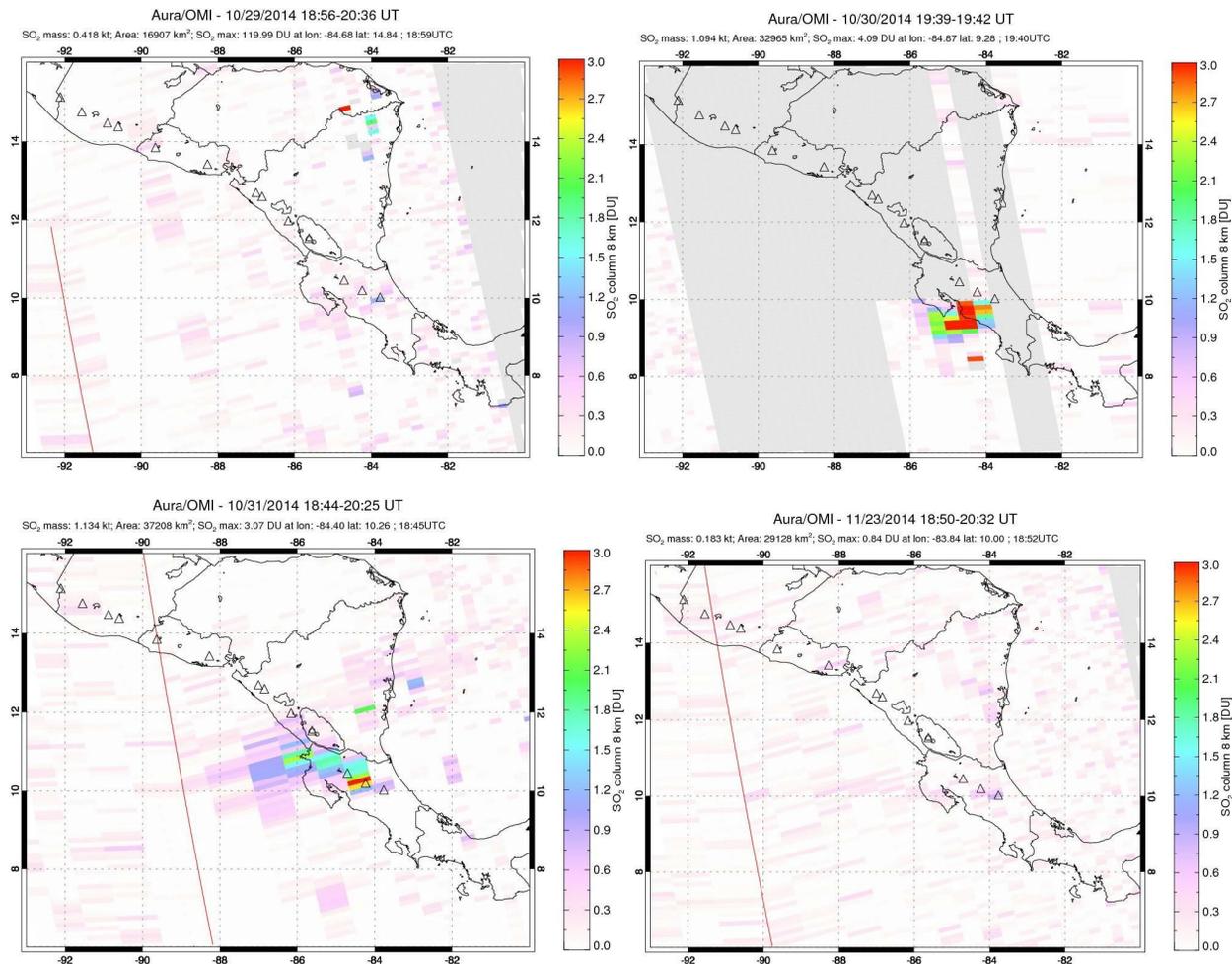


Figura 14. Comparación diaria de las imágenes satelitales de la NASA de la emisión de SO<sub>2</sub>, los días 29, 30 y 31 de octubre del 2014 y el 23 de noviembre del 2014. Abajo un gráfico de la masa de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) detectada por los instrumentos OMI del satélite AURA de la NASA en la región de América Central entre noviembre y diciembre 2014 y enero 2015.

#### 1.4 V. Turrialba: Temperatura de los gases

La erupción del 29 de octubre cambió radicalmente la morfología del Cráter Oeste produciendo el derrumbe y pulverización de gran parte de la pared superior del sector este del Cráter Oeste. Como consecuencia, la Boca 2012 y la Boca 2011 desaparecieron. En su lugar se encuentra un alineamiento de bocas con sentido oeste-este indicado en la figura 15. La Boca 2010 no fue destruida (Fig. 16).



Figura 15. Alineamiento de anomalías térmicas en el Cráter Oeste en lugar de la antigua Boca 2012 y comparación de fotos antes y después de la erupción del 29 de octubre del 2014.

Por estas modificaciones, ya no se puede medir con facilidad la temperatura de los gases emitidos en el Cráter Oeste (Fig. 16). En la figura 16, se observa que las temperaturas de los gases saliendo por la Boca 2010 o por los puntos más calientes en el fondo del Cráter Oeste están alrededor de los 600°C de acuerdo a la incandescencia que aún se observa. Son temperaturas más bajas que los meses anteriores y obviamente representan un enfriamiento en comparación con los días en octubre y noviembre 2014 cuando ocurrieron las erupciones freáticas.

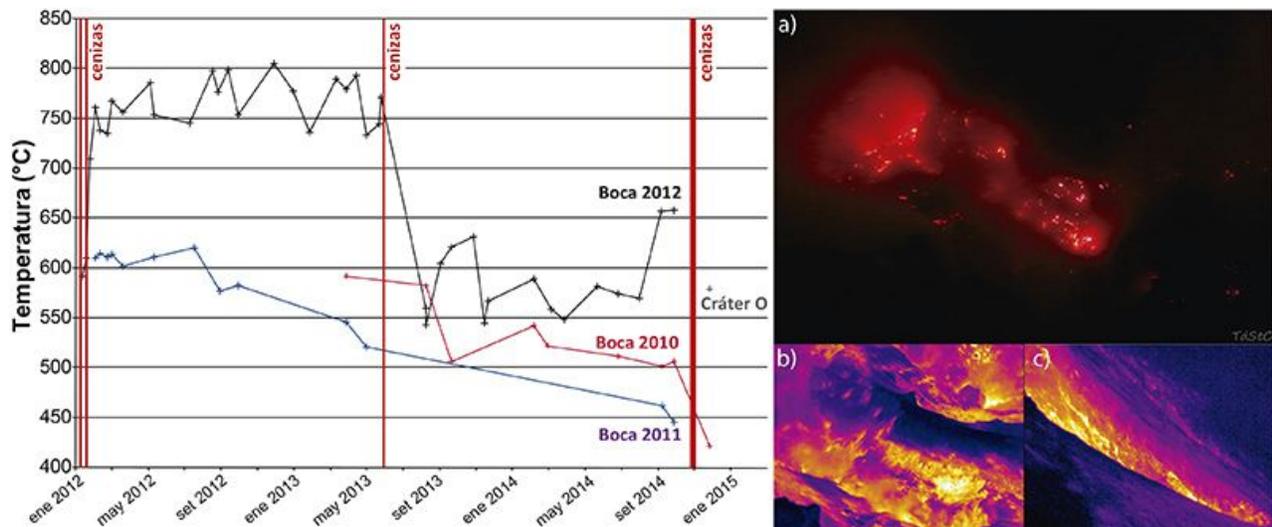


Figura 16. Evolución de la temperatura aparente de las anomalías térmicas más importantes en el Cráter Oeste. Las Bocas 2011 y 2012 fueron destruidas por la erupción del 29 de octubre del 2014 en la noche. Fotos en a) visible y b) térmicas del fondo del Cráter Oeste, y c) de la Boca 2010 (24 nov 2014).

## 1.5 V. Turrialba: Erupciones de Cenizas

### 1.5.1 Resumen cronológico de episodios principales de las erupciones freáticas ocurridas a finales del mes de octubre y principio del mes noviembre 2014

-29 y 30 octubre 2014: A las 23:10 horas del 29 octubre el volcán Turrialba inicia fase de erupciones freáticas con eyección de abundante ceniza, escorias, y fragmentos de rocas de varios kilos con dimensiones de hasta aprox. 1.5 metros. Varias erupciones similares sucedieron en las primeras horas del 30 de octubre. Estas erupciones lanzaron balísticos hasta casi 1 km de distancia desde el Cráter Oeste. Un balístico de aprox. 2 kilos perforó el techo de metal y el piso de madera de la caseta en la entrada del Parque Nacional Volcán Turrialba, ubicada a solo 0.7 km del borde sur del Cráter Oeste.

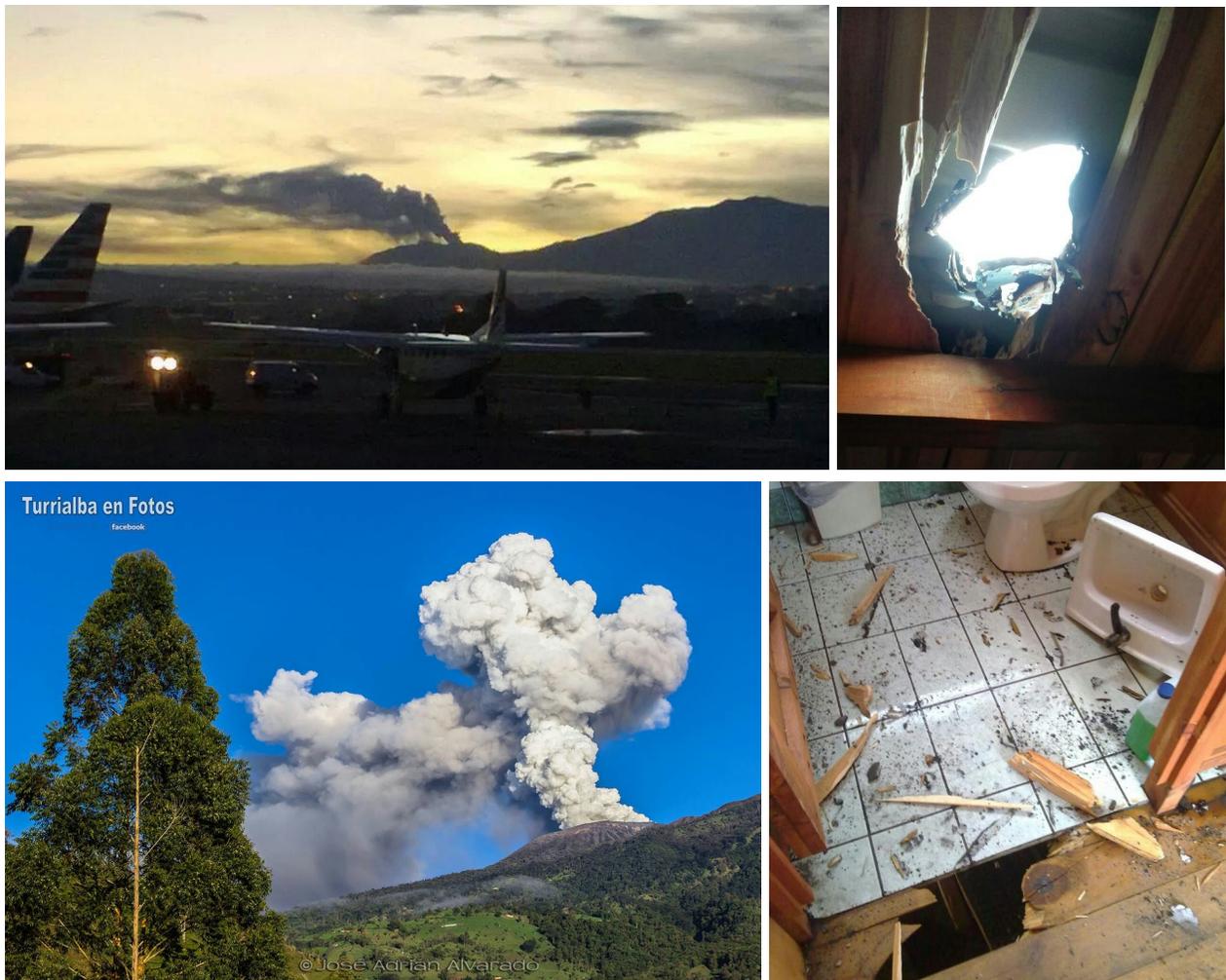


Figura 17. Arriba derecha: Vista del 30 octubre 2014 en la madrugada desde el aeropuerto internacional Juan Santamaría, foto de Ingrid Campos Rosales. Arriba izquierda: Impacto de un bloque en el techo de la caseta de guardaparques a 700 metros noroeste del cráter activo, foto: Enrique Hernández, OVSICORI-UNA. Abajo izquierda: El Turrialba el 1 noviembre 2014 visto desde San Antonio de Santa Cruz de Turrialba, foto de José Adrián Alvarado. Abajo a la derecha: Daños causados por el impacto del bloque en la caseta de guardaparques, foto: Juan Chaves, SINAC.

-1 noviembre 2014 a las 5:20 horas hubo una erupción de cenizas y gas significativa que generó una columna eruptiva de aprox. 1.5-2 km de altura (Fig. 17).

-13 de noviembre a las 3:45 y 19:25 hubo emisión de cenizas de pequeña escala.

-14 noviembre 2014 a las 13:40 horas hubo una explosión con emisión moderada de cenizas y gas. Se reportó caída de cenizas entre la cima del volcán, la finca La Central, y las inmediaciones del Hotel Turrialba Lodge, este último ubicado 3,2 km al suroeste del Cráter Oeste del Turrialba.

-15 de noviembre a las 13:55 hubo emisión de cenizas de pequeña magnitud.

### 1.5.2 Mapa de reportes de caída de cenizas y modelaje de distribución de cenizas

Luego de las erupciones ocurridas entre finales de octubre y principios de noviembre, el OVSICORI-UNA puso en marcha un sistema interactivo de reporte de caída de ceniza via internet. La primera versión de esta encuesta se publicó en línea en la página Web y el Facebook del OVSICORI-UNA el 31 de octubre con las siguientes preguntas para las personas que estuvieron anuentes a colaborar con la recopilación de información:

-Donde se reporta caída de ceniza (los usuarios tenían que indicar la localidad en el mapa (Fig. 18))

-Qué cantidad de ceniza se reporta en la localidad, indicando un espesor en centímetros.

-(Opcional) Comentarios adicionales.

-(Opcional) Nombre / número de teléfono / dirección o correo electrónico.

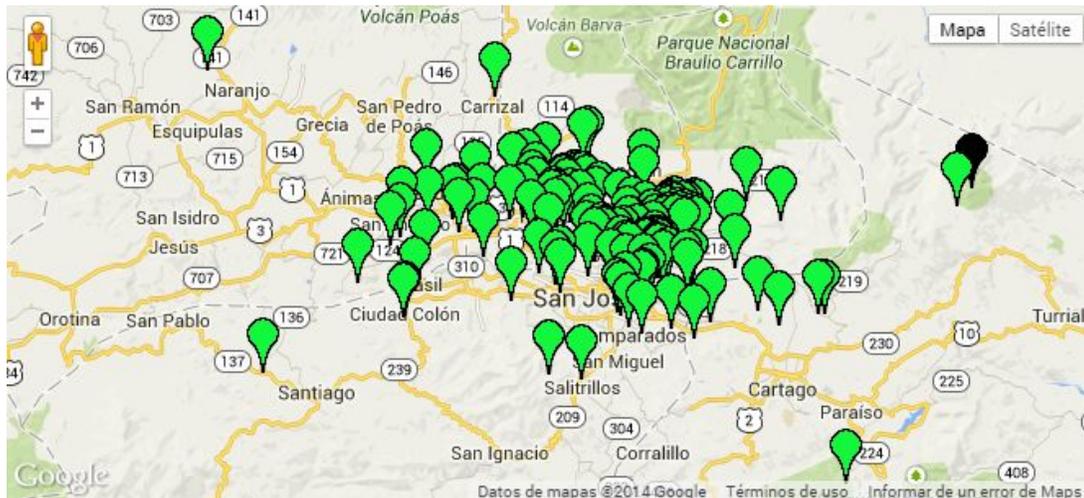


Figura 18. Reportes de caída de ceniza entre el 31 de octubre y hasta el 3 de noviembre 2014. La marca negra indica el cráter del volcán Turrialba, las marcas verdes son los sitios reportados a través de la encuesta realizada. Se excluyen las marcas donde se reporta que no hubo caída de ceniza.

El 3 de noviembre se incluye en la encuesta las siguientes preguntas adicionales:

-Hora y fecha del reporte de caída de ceniza.

-Si hubo lluvia en el lapso de tiempo entre la caída de ceniza y la medición del espesor de la ceniza.

-Algún otro parámetro climático que se dio en el lapso entre la caída de la ceniza y la medición del espesor.

Se obtuvo un total de 252 encuestas, en las que 76 fueron reportes de que no se observó caída de ceniza. Los reportes de los espesores de la capa de cenizas fueron de 0.01 centímetros (Valle Central) hasta 15 centímetros de ceniza (en la cima cerca del cráter).

### 1.5.3 Caracterización de las cenizas eruptadas por el volcán Turrialba entre el 29 y el 30 octubre 2014

Muestras de cenizas eruptadas por el volcán Turrialba entre el 29 y el 30 de octubre del 2014 no afectadas por la lluvia fueron recolectadas en la cima del volcán Turrialba en el sector del Cráter Central, el 30 de octubre temprano en la mañana. Las muestras se analizaron para el pH (es decir cuán ácida es la ceniza) y el contenido de especies químicas azufradas (sulfato,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) y halogenadas (fluoruro F, cloruro Cl, y bromuro Br) en el Laboratorio de Geoquímica Volcánica “Dr. Eduardo Malavassi Rojas” del OVSICORI-UNA. Los análisis se realizaron siguiendo los protocolos de Witham et al. (2004) y de Stewart et al. (2013) que consiste en lixiviar agitando por 3 horas una proporción 1:25 de ceniza y agua ultrapura grado MilliQ, respectivamente.

#### 1.5.3.1 Acidez de las cenizas

El pH del lixiviado acuoso de una de las muestras de cenizas en una proporción 1:1 dió como resultado un pH=3.3 (Cuadro 1), lo que significa que estas cenizas son extremadamente ácidas debido a la adsorción y reacción de gases magmáticos ácidos con la superficie de las partículas de ceniza. A modo de contraste, se tiene que las cenizas eruptadas entre el 4 y el 5 de enero del 2010 y recolectadas en la Hacienda La Central y La Pastora registraron un pH de 6.7 y un pH de 7.1, respectivamente. Estos valores corresponden a cenizas prácticamente neutras (pH=7.0) (OVSICORI, 2010).

<i>Parámetro vs Muestra</i>	<i>Muestras de cenizas lixiviadas con agua ultrapura en una proporción ceniza:agua de 1:25</i>							
	VTC01 #1	VTC01 #2	VTC02 #1	VTC02 #2	VTC03 #1	VTC03 #2	VTC01 Blanco	VTC02 Blanco
pH	5.07	5.12	4.55	4.63	3.30 y 4.71 *	4.80	6.03	5.91
Potencial eléctrico (mV)	91	87	119	115	111	106	39	46
Conductividad eléctrica (mS/cm)	2.51	2.55	2.80	2.77	2.99	2.98	0.064	0.053
Salinidad (g/L)	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	0.0	0.0

Cuadro 1. La ceniza VTC03 lixiviada con agua ultrapura MilliQ en una proporción agua:ceniza 1:1 registró un pH=3.30. La misma muestra lixiviada en una proporción 1:25 registró un pH=4,71. Las muestras blanco consisten en 250 mL de agua ultrapura tratada de la misma forma que las muestras de cenizas.

Comparando la acidez de las cenizas del volcán Turrialba de octubre 2014 (pH=3.3), tenemos que la mayoría de los lagos y nacientes de agua son ligeramente ácidos o ligeramentes alcalinos (pH entre 6 y 8, respectivamente). En un lago con un pH de 5, la mayoría de los huevos de pez no llegan al punto en el que nacen las crías. A un pH aún más bajo el aluminio de los suelos puede ser

movilizado e incorporado en los lagos, resultando sumamente tóxico para muchas especies de organismos acuáticos. La determinación de la acidez de las partículas de cenizas volcánicas es muy importante para conocer el potencial que tienen las mismas en cuanto a contaminación de cuerpos superficiales de agua y suelos, así como efectos en la agricultura, vegetación nativa, la salud humana y animal y los ecosistemas en general.

### 1.5.3.2 Composición química de lixiviados acuosos de cenizas del Turrialba: fluoruro y otras especies químicas

A continuación se presentan los resultados de los análisis de los lixiviados de las cenizas del volcán Turrialba.

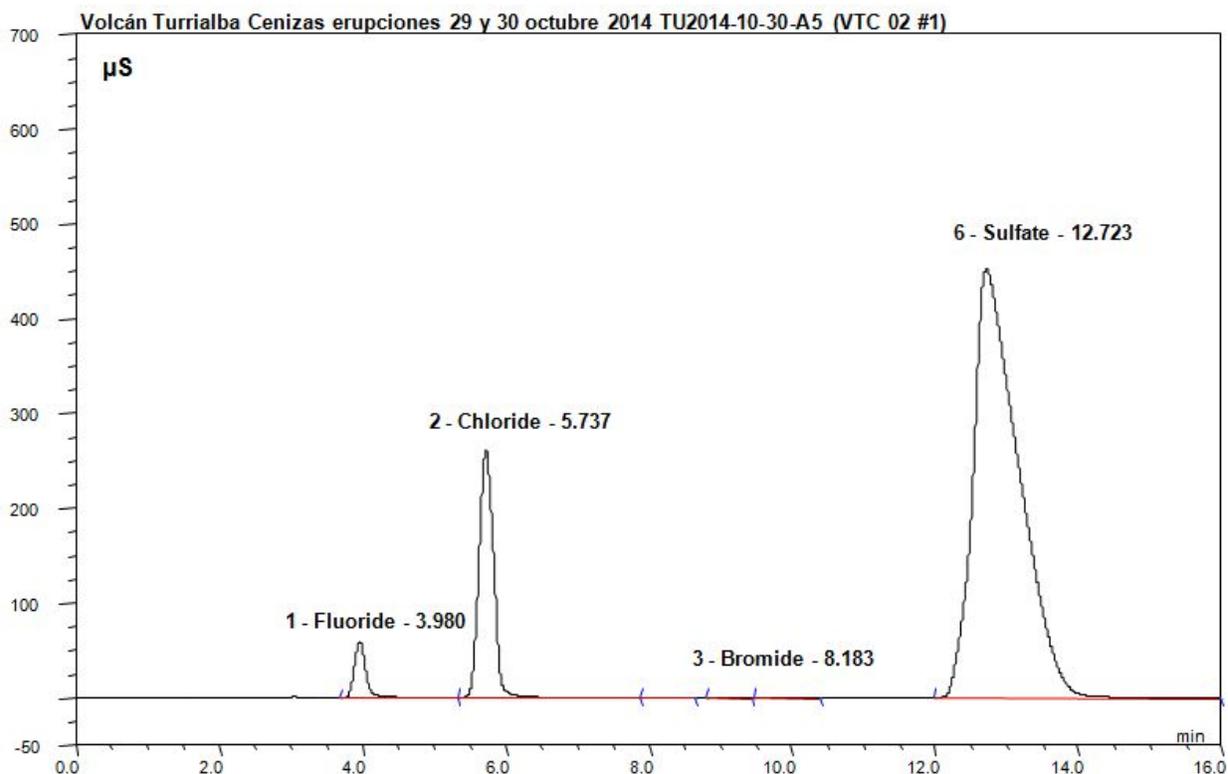


Figura 19. Cromatograma del extracto acuoso de ceniza eruptada entre el 29 y el 30 de octubre 2014 y recolectada entre el Cráter Oeste y el Cráter Central. La separación y cuantificación de los aniones se realizó con sistema de cromatografía de iones con plataforma microbore incluyendo columna analítica AS-9HC Dionex, eluente 9mM en carbonato, un flujo de 0,25mL/min y a 25°C. Fuente: Laboratorio de Geoquímica Volcánica “Dr. Eduardo Malavassi Rojas” del OVSICORI-UNA.

Los resultados de la concentración promedio de aniones son expresados en miligramos del anión por kilogramo de muestra de ceniza y corresponden a duplicados de las muestras (Cuadro 2 y Cuadro 3).

Aniones/Muestra	Cantidad del anión por masa de muestra ( mg anión/kg de ceniza)		
	VTC01	VTC02	VTC03**
Fluoruro	410	736	790
Cloruro	1460	2986	3068
Bromuro	61	83	116
Sulfato	26590	28047	35000

Cuadro 2. Cantidad de aniones presentes en las cenizas eruptadas por el volcán Turrialba lixiviadas con agua ultra pura MilliQ en una relación 1:25 masa/volumen. Los datos de concentración de los aniones están corregidos por el blanco de laboratorio. \*La muestra VTC03 fue analizada para fluoruro también mediante espectrofotometría visible dando el mismo resultado obtenido mediante cromatografía de iones. \*\*El extracto ceniza:agua 1:25 VTC03#1 fue medido para hierro total y fluoruro mediante espectrofotometría dando: 4,22 ppm Fe y 16,8 ppm F, respectivamente.

Anión/Muestra	Cantidad de anión (mg anión/kg de ceniza)	
	VTC01	VTC02
Fluoruro	952	1047
Bromuro	236	144
Fosfato	428	465
Sulfato	50760	53890

Cuadro 3. Cantidad de aniones presentes en la ceniza eruptada por el volcán Turrialba lixiviadas con disolución acuosa de ácido clorhídrico a pH 1,5 en una relación ceniza:ácido clorhídrico de 1:100 masa/volumen.

### 1.5.3.3 Impacto de las cenizas sobre el ambiente

Los componentes ácidos en las partículas de cenizas volcánicas provenientes de los gases azufrados (sulfuro de hidrógeno H<sub>2</sub>S, dióxido de azufre SO<sub>2</sub>) y gases halogenados (fluoruro de hidrógeno HF, cloruro de hidrógeno HCl, bromuro de hidrógeno HBr), así como otros componentes potencialmente dañinos como las especies metálicas (metales pesados), pueden ser lixiviados de las cenizas (por ejemplo por la lluvia o durante la digestión de pastos por parte del ganado), provocando cargas pesadas en suelos, cuerpos de agua, y en el organismo de seres vivos. Así, la lixiviación resultante pone en riesgo los medios acuáticos, los suelos, la vegetación, los cultivos, y la salud humana y animal.

Muchas erupciones en el mundo resultan en la contaminación por cenizas y gases en pastizales, áreas de cultivo, reservorios superficiales de agua, y la piel y mucosas de seres vivos y con

frecuencia con serios impactos en las condiciones y el estado de salud del ganado, animales domésticos, y las personas.

La preocupación incluye la pureza del agua potable (animales como las vacas se rehúsan a tomar agua ácida o pasto con cenizas perdiendo peso, produciendo menos leche, y aumentando la posibilidad de enfermarse) y la afectación de cultivos y animales (Fig. 20) por la caída de cenizas y exposición a gases (estos últimos sufren de picazón, resequedad, y alergias en piel y mucosas por las cenizas ácidas).

Todo esto hace surgir la necesidad de:

- 1) Proteger, muestrear y analizar regularmente el agua y los alimentos de consumo humano y animal en áreas afectadas por el vulcanismo
- 2) Tomar las medidas para tratar y remover las cenizas ácidas y ricas en fluoruro de los cultivos, así como de lavar con abundante agua o limpiar la piel, ojos, hocico, y nariz de los animales afectados con la ceniza ácida siguiendo protocolos o recomendaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG.

También es importante trasladar los animales a un ambiente más saludable (bajo techo) o lejos del área impactada por los gases y cenizas volcánicas.



Figura 20. Izquierda: Vacas y pastizales cubiertos con cenizas ácidas y agresivas eruptadas por el volcán Turrialba el 8 de diciembre 2014 en la Finca La Central Volcán Turrialba. Foto cortesía del Geólogo Blas Sánchez de la Comisión Nacional de Prevención y Emergencias, CNE. Derecha: octubre 2014, foto de Marvin Barrantes.

## 2. Volcán Irazú

### 2.1 V.Irazú: Sismología

La sismicidad volcánica en el volcán Irazú continuó en aumento durante el mes de noviembre. Este aumento se nota claramente en las figuras 21 y 22. Aproximadamente desde junio 2014 se aprecia un incremento leve en la sismicidad volcánica, alcanzando un máximo de eventos registrados diariamente hacia finales de noviembre, entre 10 y 12 eventos LP (largo periodo) diarios.

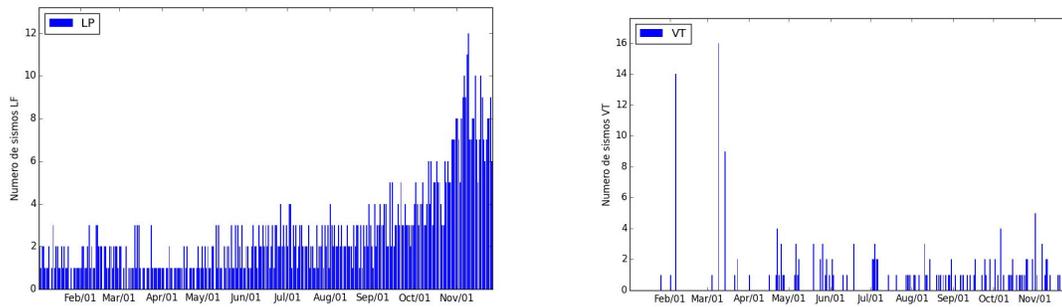


Figura 21. Número de sismos volcánicos registrados diariamente en el volcán Irazú desde enero del 2014 (Izquierda). Número de sismos volcano-tectónicos asociados al volcán Irazú desde enero del 2014 (Derecha).

Los tiempos entre sismos volcánicos (tiempo inter-evento) se han visto reducidos desde 1 sismo por día o 1 cada 24 horas hasta 1 evento cada 5 horas o menos (Fig. 22). Las amplitudes de los sismos continúan sin variar, ya que la mayoría de los eventos son muy pequeños y apenas sobresalen del ruido microsísmico y una minoría son sismos con amplitudes que varían entre 1 y 20 micrones/segundo (Fig. 22). En estos gráficos se empieza desde mayo 2014, mes en el cual se instaló una nueva estación sísmica más cerca del cráter activo, lo que permite registrar sismos de menor magnitud.

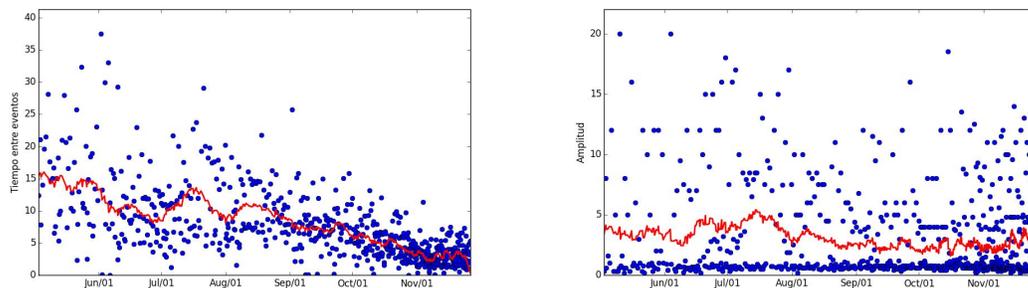


Figura 22. Izquierda: tiempo entre eventos volcánicos del Irazú desde mayo del 2014. La línea roja muestra un promedio corrido. Derecha: amplitud de los eventos registrados desde mayo del 2014. La línea roja muestra un promedio corrido.

Además de los sismos volcánicos característicos del volcán Irazú que se han estado registrando desde fines del 2011 (Fig. 23), en noviembre 2014 se registraron sismos similares pero con frecuencias más altas, lo que facilita una mayor atenuación con la distancia. La fuente de estos últimos sismos es muy superficial y desconocida. Además, su ocurrencia es muy esporádica como para tener alguna relevancia en la evaluación del estado del volcán.

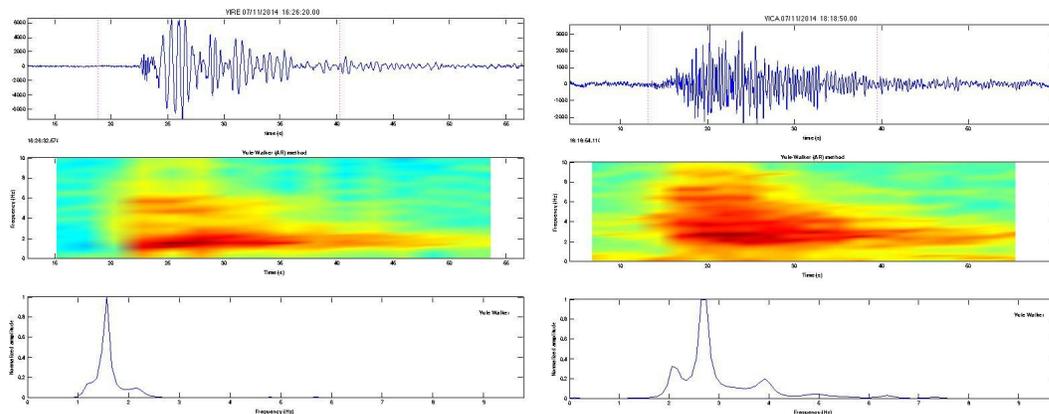


Figura 23. Izquierda: Sismo volcánico de baja frecuencia típico del volcán Irazú de noviembre del 2014. Derecha: evento superficial de rápida atenuación. En ambas gráficas arriba aparece el sismograma, al centro el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias.

Los sismos volcano-tectónicos asociados al volcán Irazú siguen siendo escasos y de pequeña magnitud (Figs. 7 y 21), aunque noviembre presenta un pequeño incremento en la sismicidad volcano-tectónica con respecto a los meses entre junio y octubre. Los sismos se ubican preferentemente hacia el noroeste del cráter activo a una profundidad bastante somera, menor a 2 km bajo la cima del volcán.

## 2.2 V. Irazú: Deformación

Desde una fecha indeterminada en el 2014 el sitio de GPS en la Finca Cerro Retes, ubicado a 5 km al oeste del Cráter Principal del volcán Irazú, muestra una inflación de alrededor de 1 cm y podría quizás estar relacionada con el incremento de la sismicidad observada en el volcán Irazú entre junio y diciembre 2014 (Fig. 24) en la red de sismógrafos del Irazú que administra el OVSICORI-UNA. Se requiere un registro mucho mayor de datos de GPS para poder realizar una serie de tiempo que nos permita visualizar tendencias sistemáticas, revisar y confirmar esta aparente inflación observada en el Irazú. En los primeros meses del año 2015 se procederá a revisar los datos de GPS del Irazú para visualizar si hay algún cambio importante en cuanto a la deformación cortical.

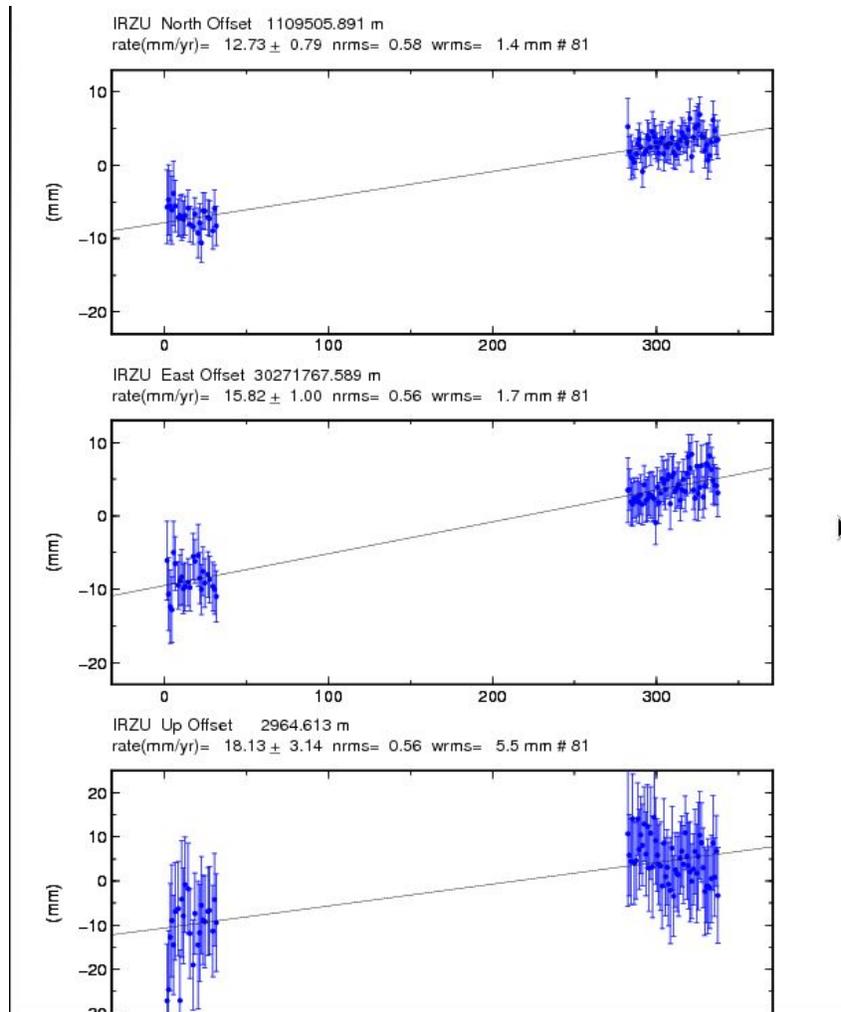


Figura 24. Levantamiento cortical de hasta 1 cm mostrado en la estación permanente de GPS IRZU en Cerro Retes en el transcurso del 2014.

### 2.3 V. Irazú: Gases y temperatura de fumarolas

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 (N 9.9884° W83.8509°) del volcán. Se midieron las concentraciones de los gases CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> 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 (OVSICORI-UNA, mayo 2014).

En noviembre 2014 se inspeccionó el fondo del Cráter Principal, donde ocurrió la actividad eruptiva del periodo 1963-1965, via remota con cámara térmica FLIR T650sc portátil con el fin de determinar cualquier anomalía térmica en el fondo y las paredes internas del cráter. No se detectaron anomalías y las temperaturas registradas corresponden a temperatura ambiente.

### 3. Volcán Poás

#### 3.1 V.Poás: Sismología

La actividad sísmica en el volcán Poás continúa decayendo y hacia finales de noviembre se encuentra en los niveles más bajos de todo el año 2014 (Fig. 25). No se registraron erupciones freáticas ni temores. Por otra parte, los sismos de baja frecuencia son escasos pero de gran amplitud y muestran un desplazamiento reducido bastante alto, logrando sobrepasar los 10cm<sup>2</sup> para una estación ubicada 0.5 km al este del centro del cráter activo (Fig. 26).

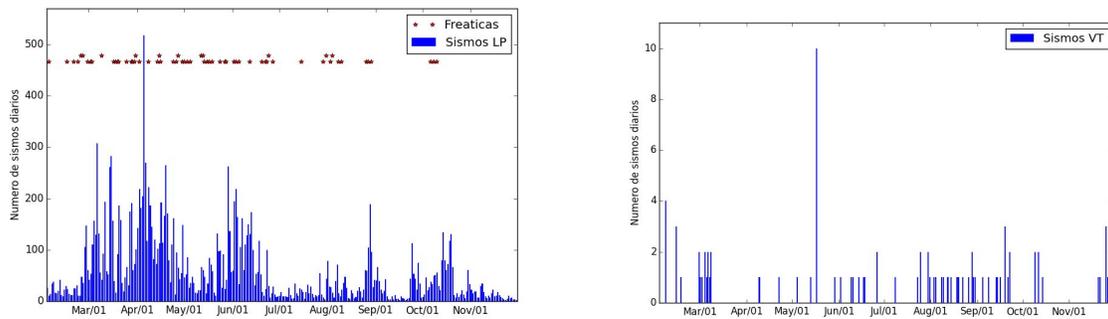


Figura 25. Izquierda: Número de sismos volcánicos registrados desde febrero del 2014 en el volcán Poás. Los asteriscos representan erupciones freáticas, los asteriscos desplazados hacia arriba indican más de una erupción por día. Derecha: Número de sismos volcano-tectónicos VT asociados al volcán Poás.

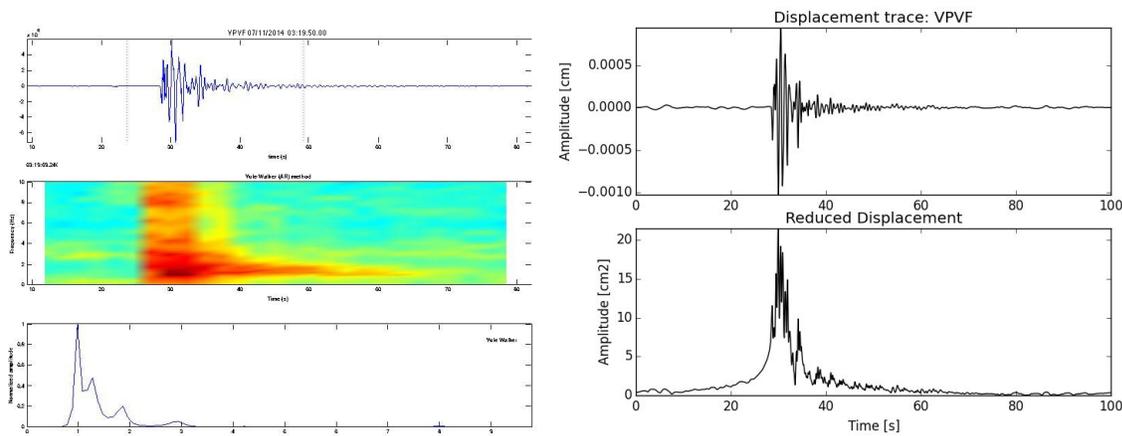


Figura 26. Izquierda: Sismo de baja frecuencia y gran amplitud; arriba se muestra el sismograma de velocidad, al centro el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias. Derecha: arriba se muestra el sismograma de desplazamiento y abajo el desplazamiento reducido.

La sismicidad volcano-tectónica asociada VT se localiza principalmente alrededor de la región donde está ubicado el cráter activo y a profundidades muy someras. La mayoría de estos sismos se localizan hacia el sureste (Fig. 27). En general, los sismos son de pequeña magnitud ( $M_l < 2$ ).

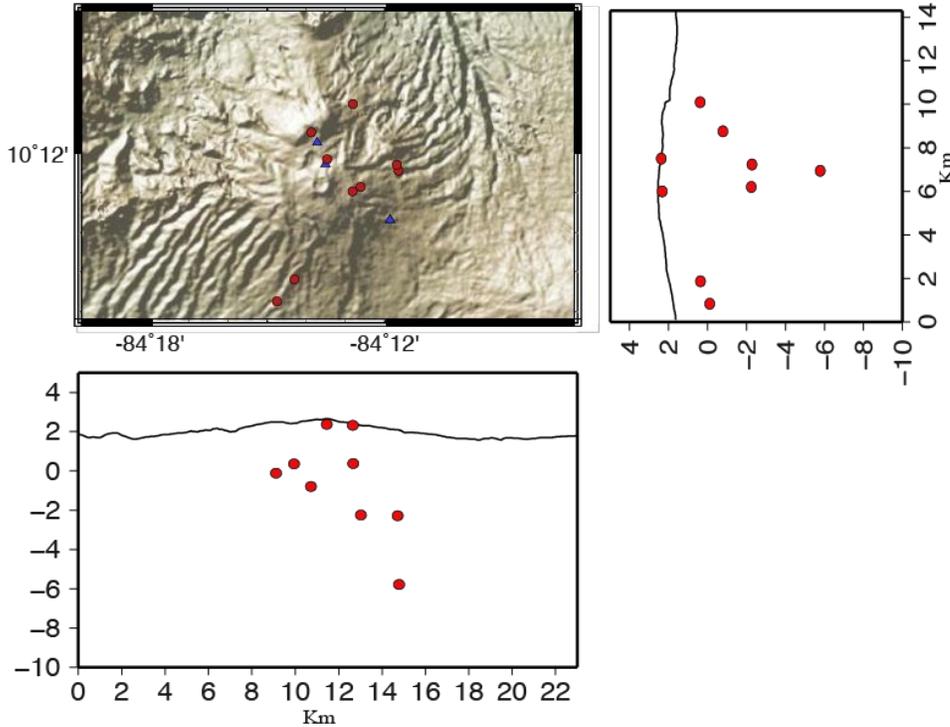


Figura 27. Mapa con las localizaciones de los sismos volcano-tectónicos durante el mes de noviembre en las cercanías del cráter activo del volcán Poás (puntos rojos). Los triángulos azules representan las estaciones sísmicas utilizadas para localizar los sismos.

### 3.2 V.Poás: Deformación

Desde este mes dos estaciones permanentes de GPS empezaron a registrar datos en tiempo real en el volcán. Las mismas fueron instaladas en los sectores norte y sur del cráter principal (Fig. 28). Aunque las estaciones están midiendo las series de tiempo, la información es aún relativamente poca como para deducir tendencias sistemáticas de desplazamientos debido a deformación cortical.

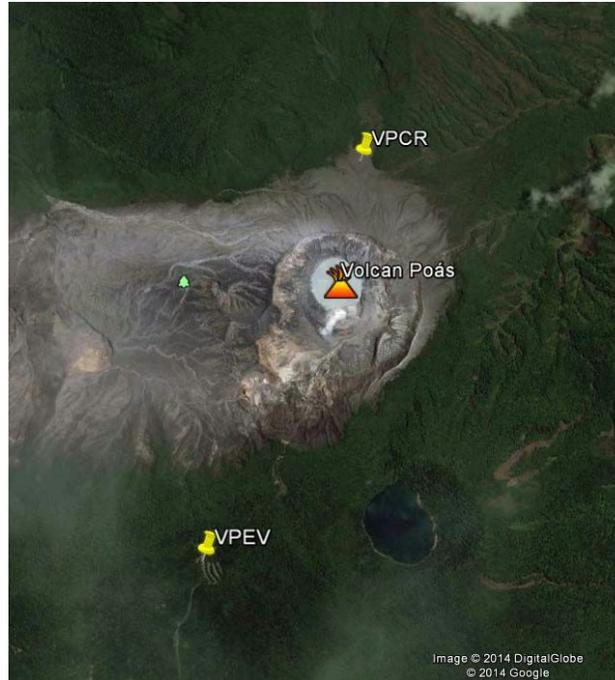


Figura 28. Ubicación de las dos estaciones GPS permanentes instaladas en noviembre 2014. Los dos sitios están separados uno respecto al otro aproximadamente 2km

### 3.3 V.Poás: El lago ultra ácido

Desde el 23 de octubre y en el transcurso de noviembre 2014 el volcán Poás ha mostrado una disminución marcada en la actividad convectiva de las fumarolas subacuáticas dentro del lago ultra-ácido aunque se han observado esporádicamente algunas celdas de convección y salida moderada de burbujas de gas en la parte central del mismo (Figs. 29 y 30). Los funcionarios del Parque Nacional Volcán Poás indicaron al OVSICORI que la última erupción freática de la que ellos tienen conocimiento es la del 13 octubre 2014 y desde entonces no han vuelto a observar ni recibir reportes de erupciones freáticas por parte de los visitantes del Parque Nacional Volcán Poás.

El 11 noviembre 2014 se realizó medición remota de temperatura del lago con termógrafo infrarrojo FLIR T650sc facilitado al OVSICORI-UNA por Termogram S.A. para pruebas de campo. La temperatura aparente máxima registrada en el lago fue de 43°C a una distancia de aprox. 400 metros. A finales de noviembre se observó una disminución significativa en la acidez, temperatura, e inyección de gases magmáticos azufrados entre octubre y noviembre 2014 (Fig. 30), así como un cambio inusual y notorio en el color del lago pasando de verduzco-lechoso a turquesa lechoso (Fig. 29). El cambio de color indica una variación en las condiciones redox de las aguas ácidas de modo que el hierro es estabilizado en su forma reducida, Fe<sup>2+</sup>, lo cual señala una disminución radical en la inyección de dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>, hacia el lago. Todas estas observaciones sugieren que posiblemente el ciclo de actividad freática en el volcán Poás, que comenzó en el periodo 2005-2006, ha cesado o ha entrado en una fase de culminación luego de casi 9 años de producirse erupciones freáticas esporádicas. Una serie de perfiles físico-químicos derivados para el lago para los últimos 40 años sugieren que periodos de actividad freática se alternan sucesivamente con periodos de relativa calma (débil inyección de gases y calor a través del lago y del "domo") y que los mismos tienen una duración entre 6-10 años. Estos ciclos de

actividad freática seguidos por ciclos de calma parecen reflejar períodos en los cuales el sistema hidrotermal que alimenta el lago es dominado por una fase de vapor posiblemente como resultado de intrusiones magmáticas dendríticas y posteriormente, por una fase líquida cuando las intrusiones dendríticas se ha enfriado lo suficiente (Martínez, 2008).

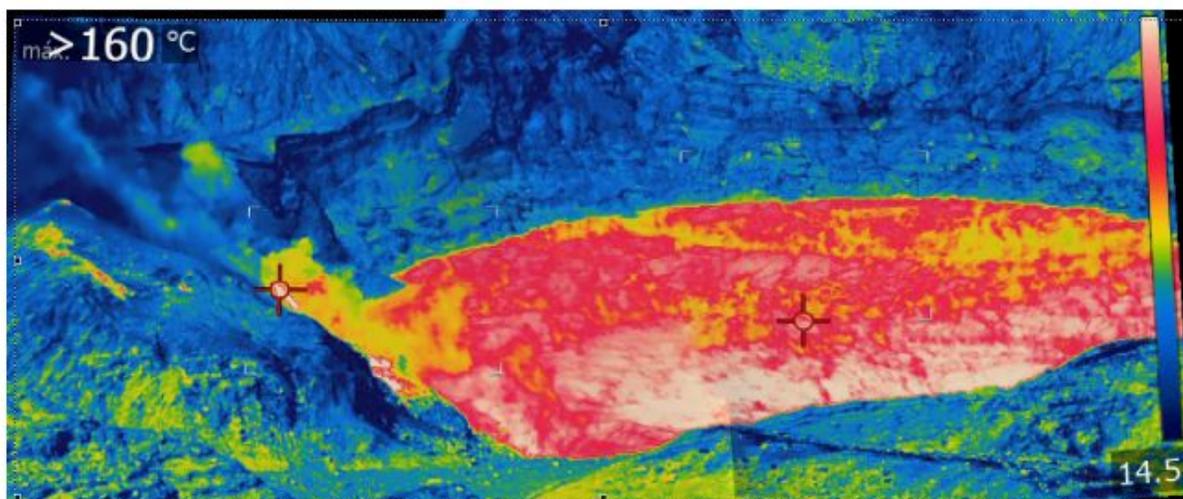


Figura 29. El lago ultra-ácido y fumarolas del “domo” (en el borde sur del lago) del Poás vistos a través de cámara visible y termográfica infrarroja FLIR T650sc a una distancia aprox. de 450 metros desde el borde este del cráter activo. Foto superior: 28 noviembre 2014 de Javier Pacheco OVSICORI-UNA. Foto inferior: 11 noviembre 2014 de María Martínez OVSICORI-UNA. La cámara FLIR ha sido facilitada temporalmente por Termogram S.A. para pruebas de campo.

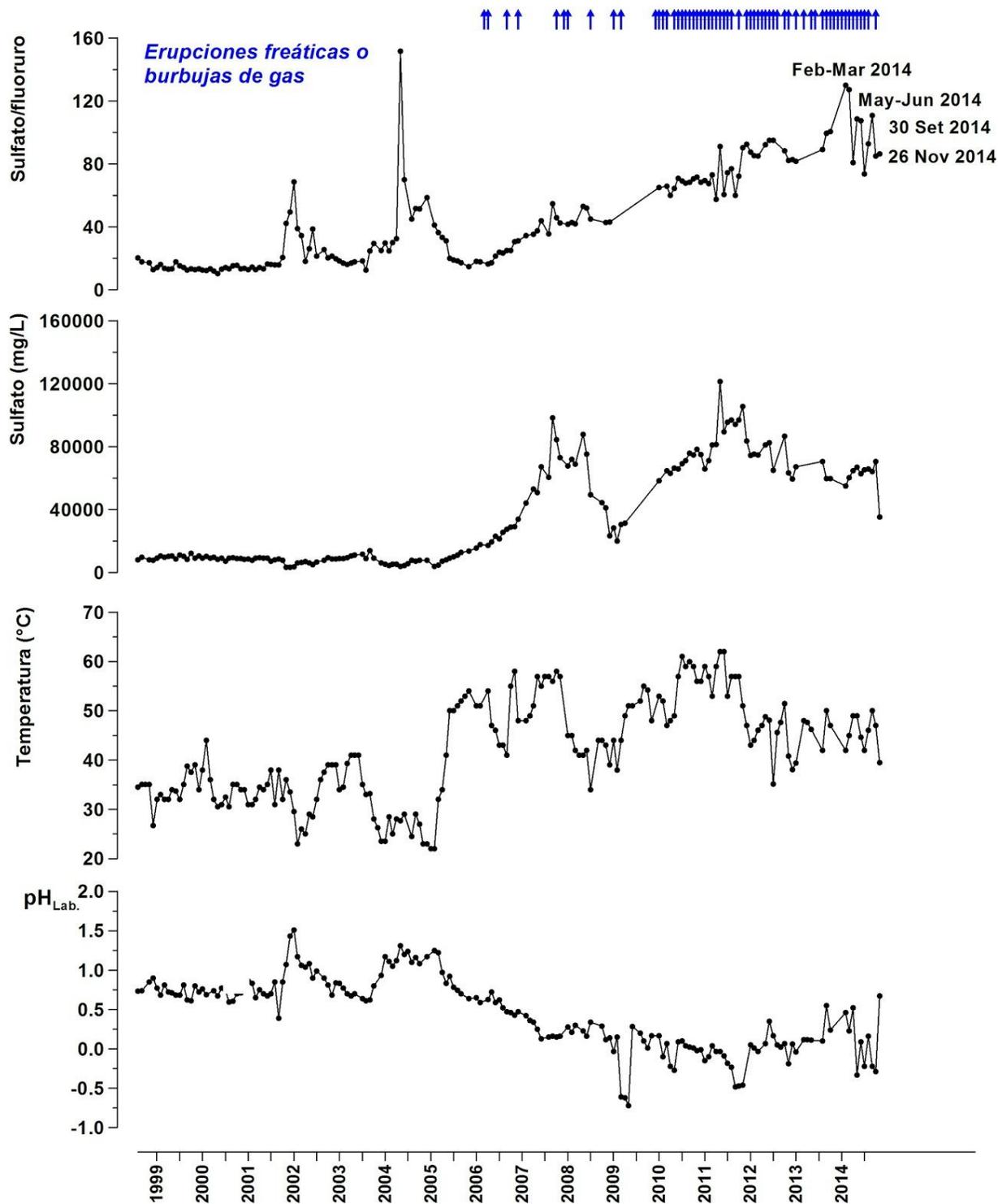


Figura 30. Perfiles geoquímicos (1998 - 26 nov 2014) del lago ultraácido del volcán Poás mostrando disminución significativa de la acidez (pH más alto), temperatura, y de la inyección de gases magmáticos azufrados hacia el lago entre octubre y noviembre 2014.

### 3.4 V.Poás: Gases fumarólicos en el “domo”

#### 3.4.1 Mediciones térmicas

Desde el 23 de octubre y a lo largo de noviembre 2014, el Poás ha mostrado una disminución drástica en la temperatura y flujo de gases en las fumarolas “del domo”. Este cambio estuvo precedido por una exhalación fuerte y súbita de gases magmáticos en combustión a alta temperatura que generaron un “flash de luz” (destello luminoso) (Fig. 31) en el sector norte del “domo” cercano a la superficie del lago. Este “flash de luz” tuvo una duración de 2 minutos y 24 segundos y fue el resultado de la combustión espontánea de gases magmáticos a altas temperaturas al entrar en contacto con el oxígeno atmosférico generando reacciones químicas exotérmicas que liberan energía en forma de calor y luz. Posterior a este evento, el flujo de gases a través del “domo” ha disminuido sustancialmente comparado con los flujos observados en el transcurso del año 2014.

Además, no se ha vuelto a percibir emisión de luz (resplandeciente e incandescente) desde entonces en el “domo” lo que indica que la temperatura de fumarolas está por debajo de los 600°C. El 11 de noviembre del 2014, las fumarolas del “domo” registraron una temperatura máxima aparente de 330°C medida en forma remota con cámara térmica FLIR T650sc facilitada por la compañía Termogram S.A. para pruebas de campo.



Figura 31. Exhalación fuerte y súbita de gases magmáticos en combustión “flash” en el domo del Poás registrada el 23 octubre 2014 entre la 01:30:27-01:31:57 a.m. hora local (un lapso de 2 minutos y 24 segundos) por la WebCam ubicada en el borde norte del cráter activo. La combustión de gases a altas temperaturas genera reacciones químicas exotérmicas que liberan energía en forma de calor y luz. La luz resplandece en la pluma de vapor y gas del domo y es reflejada en la superficie del lago. Fuente: WebCam administrada por el OVSICORI-UNA y donada por USAID-OFDA-LAC de Estados Unidos.

## 4. Volcán Arenal

### 4.1 V. Arenal: Gases

Las últimas mediciones de gases en el volcán Arenal se realizaron en abril del 2014 (OVSICORI-UNA, abril 2014). Las temperaturas más altas encontradas registraron 419°C en la parte este del cráter activo C y se deben al calor residual de las rocas en el conducto principal. Las mediciones de concentraciones de gases con un MultiGAS móvil no detectaron la presencia de SO<sub>2</sub> pero detectaron emisiones de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y H<sub>2</sub>O. Esta campaña de mediciones permitió definir que el volcán Arenal emitía actualmente ~98% H<sub>2</sub>O, ~2%CO<sub>2</sub> y ~0.005% H<sub>2</sub>S. En concordancia con las mediciones de MultiGAS, los transectos y escaneos con DOAS y FLYSPEC no detectaron emisiones de SO<sub>2</sub>. Estos datos de gases indican que el volcán Arenal está en un estado de reposo y la desgasificación es débil y de naturaleza hidrotermal. Las temperaturas altas registradas en el cráter activo C en abril 2014 se deben al calor residual de las rocas en el conducto principal. A noviembre 2014, el Arenal se muestra en reposo con actividad fumarólica muy débil. Los vapores que emanan en ocasiones a través de los cráteres C y D son de composición hidrotermal y consiste básicamente de vapor de agua y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### 4.2 V. Arenal: Deformaciones y deslizamientos

Entre los peligros potenciales actuales en el volcán Arenal se tiene principalmente avalanchas de rocas por inestabilidad de sectores del edificio volcánico y como efecto de sismos de magnitud considerable como el terremoto de Nicoya del 5 setiembre 2012. Imágenes satelitales de radar de alta resolución TerraSAR-X(TSX) generadas entre los años 2011-2013 proveen evidencia de la ocurrencia esporádica de avalanchas de rocas y de la existencia de al menos 16 deslizamientos superficiales activos que presentan un movimiento lento desde la región sumital. Se estima que estos deslizamientos tienen un espesor entre 5 y 11 metros y conjuntamente conforman un volumen total de material rocoso de aprox.  $2.4 \times 10^7 \text{m}^3$  (Fig. 33). El estudio de imágenes satelitales de radar también permitió determinar que el terremoto de Nicoya del 5 setiembre del 2012 (Mw7.4) no tuvo un impacto medible en las velocidades de las unidades en deslizamiento, pero sí resultó en un incremento en el área afectada por avalanchas de rocas (Ebmeier *et al.*, 2014).

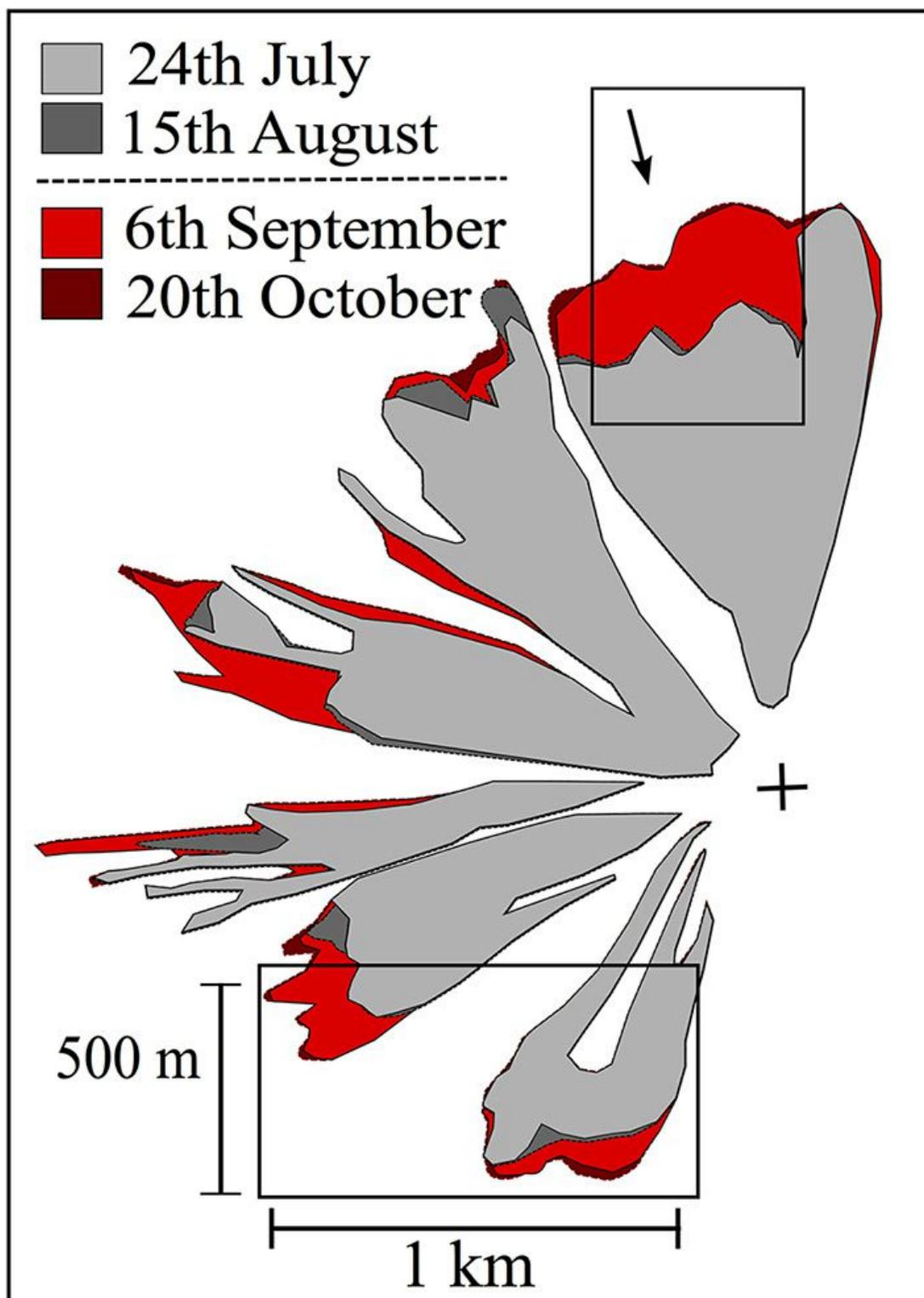


Figura 33. Contornos de áreas del cono volcánico del Arenal cubiertas por avalanchas de rocas entre el 2 de julio y el 20 de octubre 2012 inferidos de imágenes satelitales de radar de alta resolución TerraSAR-X(TSX). Los sectores con ocurrencia de avalanchas de rocas antes del terremoto de Nicoya del 5 setiembre 2012 se muestran en tonos grises, los sectores afectados por avalanchas de rocas en las horas siguientes al terremoto de Nicoya se muestran en rojo. La cruz a la derecha de este diagrama representa la cima del volcán Arenal.

## 5. Volcán Rincón de la Vieja

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

Durante el mes de noviembre no se registró actividad sísmica relevante en el volcán Rincón de la Vieja. Los sismos volcánicos o son muy pequeños para ser registrados o no ocurrieron del todo durante este mes. Por otro lado, el 11 de noviembre se registraron 8 sismos tectónicos cercanos al volcán, pero de una magnitud muy pequeña, por lo que no pudieron localizarse.

### 5.2 V. Rincón de la Vieja: Gases y el lago ultra-ácido

Las últimas mediciones de temperaturas y flujo de gases en las fumarolas y el lago ultraácido del volcán Rincón de la Vieja se realizaron en forma remota en abril y octubre del 2014. La temperatura de las fumarolas en la pared interna oeste del cráter activo que se encuentran parcialmente sumergidas en el lago (Fig. 32) registraron en abril una temperatura aparente de  $\sim 90^{\circ}\text{C}$  con una cámara FLIR SC660. Además, se reportó también en abril 2014 para el lago ultra-ácido una temperatura de  $\sim 29^{\circ}\text{C}$ . Respecto a los gases, se midió un flujo total de  $\text{SO}_2$  de  $\sim 70$  toneladas por día con FLYSPEC V2. Más recientemente, en octubre 2014, las razones de  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  oscilaron entre 3 y 10 con un sistema MultiGAS móvil, sugiriendo una disminución significativa en estos valores cerca de la fecha de ocurrencia de erupciones freáticas en setiembre 2014. El flujo y composición de los gases indica desgasificación moderada con composición entre hidrotermal y magmática a través del cráter activo (OVSICORI-UNA, abril 2014; OVSICORI-UNA, octubre 2014). Para noviembre 2014, las fumarolas de baja temperatura en la pared interna oeste del cráter activo continúan activas pero con un flujo muy bajo y se observa un lago con color turquesa lechoso y un nivel de agua muy alto (Fig. 32).

### 5.3 V. Rincón de la Vieja: Otras observaciones

El 9 de noviembre del 2014 hubo un reporte del avistamiento de una pluma difusa de vapor y gas asomándose sobre el cráter activo del Rincón de la Vieja por parte de don Oscar Alvarado, vecino del Albergue Ecológico Las Bromelias en Dos Ríos de Upala Alajuela (Fig. 33).



Figura 32. Volcán Rincón de la Vieja el 6 noviembre 2014. Nótese el alto nivel de agua del lago y las fumarolas de baja temperatura en la pared interna oeste del cráter activo. Foto: Parque Nacional Volcán Rincón de la Vieja.



Figura 33. Pluma de vapor difusa proveniente del cráter activo donde se aloja el lago ultra-ácido el 9 noviembre 2014 vista desde Dos Ríos de Upala. Foto cortesía del Señor Oscar Alvarado.

Debido al reporte de la pluma de vapor se revisaron los sismogramas del 9 noviembre, sin embargo no se encontró señal sísmica asociada a esta observación en particular. Por tanto, consideramos que posiblemente se trató de una moderada exhalación de vapor de agua y gas.

### **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. Nuestro agradecimiento también a la compañía Termogram S.A. por facilitar en carácter de préstamo el termógrafo infrarrojo FLIR T650sc al OVSICORI-UNA para pruebas de campo en los volcanes.

### **Bibliografía**

- Conde, V., Bredemeyer S., Duarte E., Pacheco J.F., Miranda S., Galle B., Hansteen T.H. 2013. SO<sub>2</sub> degassing from Turrialba volcano linked to seismic signatures during the period 2008-2012. *Int. J. Earth Sci.*, DOI 10.1007/s00531-013-0958-5.
- Ebmeier, S.K., Biggs, J., Muller, C., Avar, G. 2014. Thin-skinned mass-wasting responsible for widespread deformation at Arenal Volcano. *Frontiers in Earth Science Volcanology* 35(2). doi: 10.3389/feart.2014.00035
- Martínez, M. 2008. Geochemical evolution of the acid crater lake of Poás volcano (Costa Rica): Insights into volcanic-hydrothermal processes. Ph.D. thesis, University of Utrecht, the Netherlands.
- OVSICORI-UNA, enero 2010. Actividad del volcán Turrialba entre el 4 y el 8 de enero del 2010. [http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&id=26:prensa-2010&Itemid=54#](http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=26:prensa-2010&Itemid=54#)
- OVSICORI-UNA, abril 2014. [http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=517:estad-o-de-los-volcanes-abril-2014&id=44:2014&Itemid=73](http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=517:estad-o-de-los-volcanes-abril-2014&id=44:2014&Itemid=73)
- OVSICORI-UNA, mayo 2014. [http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=520:estad-o-de-los-volcanes-mayo-2014&id=44:2014&Itemid=73](http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=520:estad-o-de-los-volcanes-mayo-2014&id=44:2014&Itemid=73)
- OVSICORI-UNA, octubre 2014. [http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=554:estad-o-de-los-volcanes-octubre-2014&id=44:2014&Itemid=73](http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=554:estad-o-de-los-volcanes-octubre-2014&id=44:2014&Itemid=73)
- Stewart, C., Horwell, C., Plumlee, G., Cronin, S., Delmelle, P., Baxter, P., Calkins, J., Damby, D., Morman, S., Oppenheimer, C. 2013. Protocol for analysis of volcanic ash samples for assessment of hazards from leachable elements.
- Witham, C.S., Oppenheimer, C., Horwell, C.J. 2004. Volcanic ash-leachates: a review and recommendations for sampling methods. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*

*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

Correo electrónico: [ovsicori@una.cr](mailto:ovsicori@una.cr)

Website: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/>

Facebook: <http://www.facebook.com/OVSICORI?ref=ts>