

Boletín de Vulcanología
Estado de los Volcanes de Costa Rica
Octubre 2015



Volcán Turrialba el 31 octubre 2015 a la 1:07 pm. desde Santa Teresa cerca del Sapito. La altura de la pluma eruptiva se estimó en aprox. 1.8 km sobre el Cráter Oeste. Foto: Josué Araya Bonilla.

Elaborado por:

*Dr. Javier Fco. Pacheco, Ing. Cyril Muller, Dr. Geoffroy Avard, Dr. Maarten de Moor,
Ing. Ana Lucía Garita, Dra. María Martínez, MSc. Monserrat Cascante*

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

Resumen del estado actual de los volcanes de octubre 2015

Volcán Turrialba:

Los sismos asociados a la actividad del volcán se empiezan a incrementar desde el mismo 1 de octubre y alcanzan el máximo el día 16. El día 16 se produce una gran erupción y el 23 se inicia una secuencia de emisiones de ceniza que se prolonga hasta el 31 de octubre. La mayor actividad se reportó el día 13 de octubre. Luego se incrementó la actividad con tres tipos de sismos, de baja frecuencia (LP), de muy baja frecuencia (VLP) y de doble fase. La deformación muestra globalmente un patrón radial hacia afuera del edificio volcánico, además de un levantamiento. El volcán se levantó entre 10 y 20 mm con respecto al Valle Central. Los sitios que muestran el levantamiento más importante son VTCA y VTSY con 20 ± 2 mm y 33 ± 24 mm, respectivamente. A pesar de una actividad importante, el flujo de SO_2 emitido por el volcán no presenta anomalías significativas en octubre del 2015 con valores máximos alrededor de 1000 t/d. La estación Multi-GAS, ubicada en la cima del volcán Turrialba, registró valores muy altos de $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2$ (>2) al inicio del mes de octubre. Después de la erupción del 16 de octubre, los valores de H_2/SO_2 bajaron hasta <1 . Se observó un depósito característico de flujo piroclástico.

Volcán Irazú:

La actividad sísmica en el volcán Irazú se debe principalmente a sismos tectónicos dispersos alrededor del macizo y más allá de este. Es probable que muchos de los sismos registrados se deban al aumento de presión discutido en la sección del volcán Turrialba y pequeños deslizamientos que siguen ocurriendo, principalmente en el flanco oeste de la cima, pero también hacia el norte del cráter principal. En cuanto al monitoreo del deslizamiento ubicado al costado suroeste del volcán Irazú se calcularon velocidades y su incertidumbre, los sitios ubicados al oeste de la grieta muestran velocidades con un promedio de 20 cm anual hacia el noroeste, siendo mayor al norte de la zona que al sur. Verticalmente, esos sitios subsiden con una velocidad entre 30 y 40 cm/año. Los sitios ubicados hacia el este de la grieta se mantienen relativamente estables. No se observó anomalía térmica en el cráter principal en octubre del 2015.

Volcán Poás:

La actividad en el volcán Poás se mantiene con bajos niveles de sismicidad. Los pocos sismos que se registran son de muy pequeña amplitud. Se continúan registrando tremores cortos muy monocromáticos, con frecuencias dominantes entre 2 y 3 Hz. Los dos sitios GNSS del volcán habían detectados un esfuerzo entre los dos borde del cráter al inicio del año, la distancia 3D entre los dos sitios había aumentado de 5 mm en 4 meses. Después la distancia se estabilizó alrededor de 2162.707 m y el último mes se detectó una ligera reducción. El lago presentó un descenso de su nivel al inicio del mes, así como estabilización de su temperatura alrededor de los 30°C y del pH medido in situ alrededor de 0.4. El flujo de SO_2 del volcán Poás era muy bajo en el mes de octubre, con el flujo de las fumarolas estimado a menos de 50 T/día SO_2 . El flujo de SO_2 del lago era < 10 T/día.

Volcán Arenal:

Durante el mes de octubre no se registra actividad sísmica-volcánica relevante asociada al Arenal. El 2 de octubre 2015, pobladores en los alrededores del volcán Arenal notaron la presencia de fumarolas algo vigorosas en la cima del volcán (Cráter C).

Volcán Tenorio:

El 16 octubre 2015 se realizó una gira al Río Celeste del volcán Tenorio para medición y muestreo de gases y aguas. La concentración de CO₂ en Los Borbollones del Río Celeste excede los 20,000 ppm.

Volcán Rincón de la Vieja:

La actividad en el volcán Rincón de la Vieja se mantiene con bajos niveles de sismicidad. En el mes de octubre la actividad dominante fue la ocurrencia de pequeñas erupciones freáticas. Se tiene el registro de al menos 10 erupciones freáticas entre pequeñas y moderadas. Se registran unos pocos sismos LP de muy baja amplitud. El lago ultraácido indica un lago con aspecto lechoso, con celdas de convección vigorosas y evaporación fuerte en su superficie (OSIVAM-ICE). El 8 octubre el lago registró una temperatura de 45,7°C. Se reportó también abundante emisión de gas azulado rico en SO₂ a través del lago. Entre el 4 y el 16 octubre 2015 se observa un ligero aumento de la conductividad eléctrica en la fuente termal Santuario en Sensoria. La fuente termal Blue River mostró temperaturas con pocas fluctuaciones alrededor de los 60 °C.

1. Volcán Turrialba

1.1 V. Turrialba: Sismología

Se registra un incremento de la actividad sísmica durante el mes de octubre en el volcán Turrialba (Fig. 1 y 2). Los valores de RSAM (raíz media cuadrática de la amplitud del sismograma) se incrementan a partir del 16 de octubre y vuelven a caer a partir del 1 de noviembre, 2015 (Fig. 1). Mientras que los sismos asociados a la actividad del volcán se empiezan a incrementar desde el mismo 1 de octubre, para alcanzar el máximo el día 16. El día 16 se produce una gran erupción, que por las condiciones climáticas no fue posible apreciarla, y el 23 se inicia una secuencia de emisiones de ceniza que se prolonga hasta el 31 de octubre. Inicialmente los sismos volcano-tectónicos, tanto los distales (dVT) que se venían registrando desde junio, como los sismos proximales (pVT) se incrementaron desde las primeras semanas del mes. La mayor actividad se reportó el día 13 de octubre con un enjambre de sismos pVT, ubicados bajo el cráter activo y hacia el noreste. Los sismos se ubican entre la superficie y el nivel medio del mar (Fig. 3). Estos sismos se asocian a fallamiento por movimiento relativo entre dos bloques que conforman una falla geológica. La actividad en estas fallas se incrementa por un aumento de presión interna debido a la acumulación de fluidos en alguna cavidad interna a profundidad, estos fluidos podrían ser magma intruido en la cavidad, proveniente de una mayor profundidad, o gases en expansión por exsolución de los mismos de magma previamente intruido. El aumento de presión genera una migración de fluidos del sistema hidrotermal que ayudan en la lubricación de las fallas, bajando los esfuerzos normales e incrementando su propensión a romper.

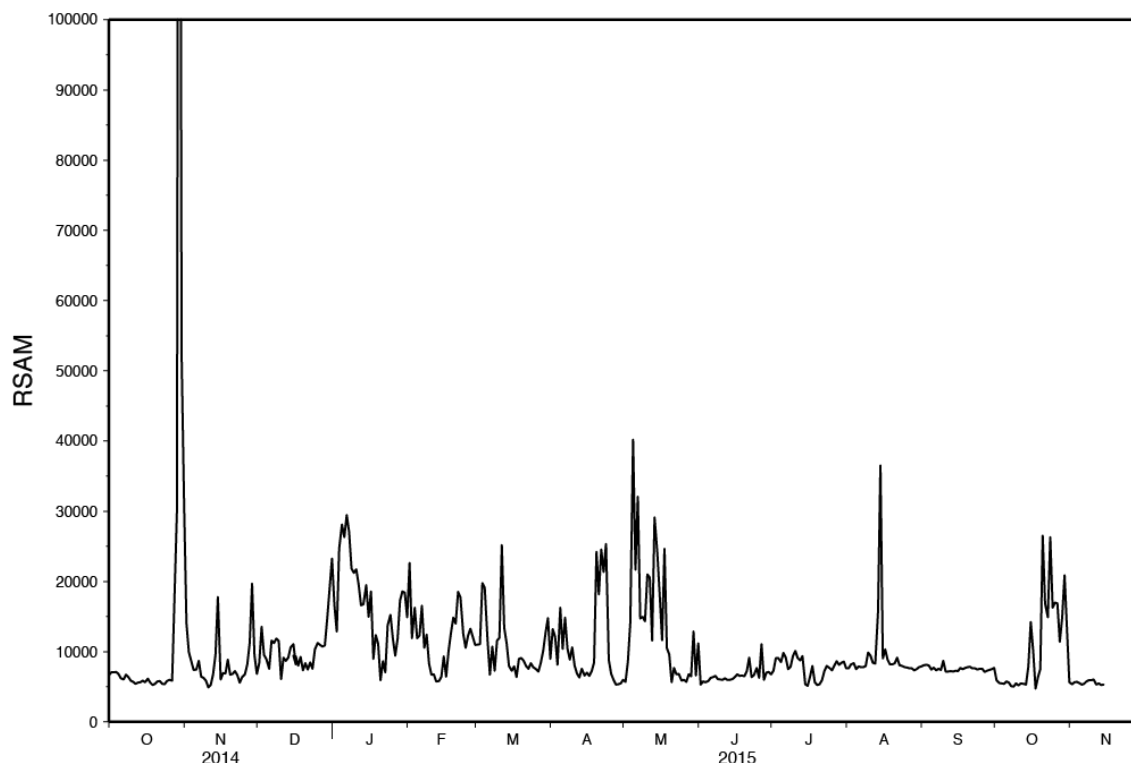


Figura 1. Amplitud media cuadrática (RSAM) de los registros sísmicos, en la estación VTUN, promediada cada 10 minutos. Se grafican los valores de RSAM desde octubre 2014 hasta noviembre 2015.

La actividad volcano-tectónica anormal indica un aumento de presión que puede deberse a la intrusión de un cuerpo magmático o a la acumulación de gases magmáticos dentro de un reservorio. En ambos casos se produce desestabilización dentro del volcán y por lo tanto son precursores de una posible erupción. En este caso, la actividad volcano-tectónica, principalmente el enjambre de sismos proximales el 13 de octubre, fueron precursores de la erupción del 16 de octubre.

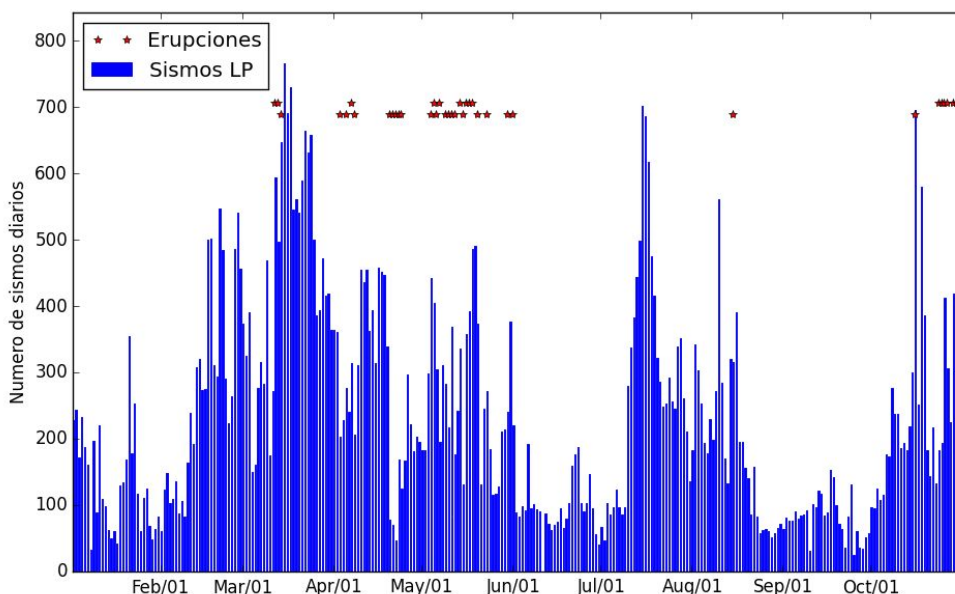


Figura 2. Número de sismos volcánicos registrados diariamente, asociados a la actividad del volcán Turrialba. Los asteriscos muestran los días con emisiones de ceniza.

Luego del enjambre de sismos pVT del 13 de octubre se incrementó la actividad con tres tipos de sismos; sismos de baja frecuencia (LP) con una banda de frecuencias estrecha, sismos de muy baja frecuencia (VLP) y sismos de doble fase (Fig. 4). El incremento de este tipo de sismos volcánicos indica movimiento de fluidos con apertura y cierre de cavidades (VLP), paso de fluidos por conductos (LP) y salida de gases a presión (doble fase). Los sismos de doble fase, con gran amplitud, estuvieron asociados a explosiones durante la crisis del Turrialba entre marzo y junio, mientras que los sismos VLP se asociaron más tarde con erupciones y exhalaciones durante la actividad entre el 23 y 31 de octubre.

La erupción del 16 de octubre fue similar a otras erupciones registradas desde finales de octubre del 2014, con un inicio y un final explosivos que produjeron la expulsión de balísticos y un tremor intermedio que indica la emisión de gases y ceniza volcánica acompañada de fragmentos de lapilli (Fig. 5). Sin embargo, esta erupción fue la más energética que se ha registrado después de la primera erupción acaecida el 30 de octubre del 2014 (Fig. 6). La mayor parte de la ceniza eruptada durante la erupción cayó en la cima y las cercanías de la cima del volcán Turrialba (Finca La Central, Los Quemados) y parte se dirigió hacia el noroeste en la dirección predominante de los vientos a la hora de la erupción. Se reportó caída de ceniza en muy poca cantidad en partes del Valle Central como la Unión y Concepción de Tres Ríos, Montes de Oca, San Rafael de Coronado, y Moravia. Olor fuerte a azufre fue reportado en Tierra Blanca, Pacayas, Moravia, y Guadalupe.

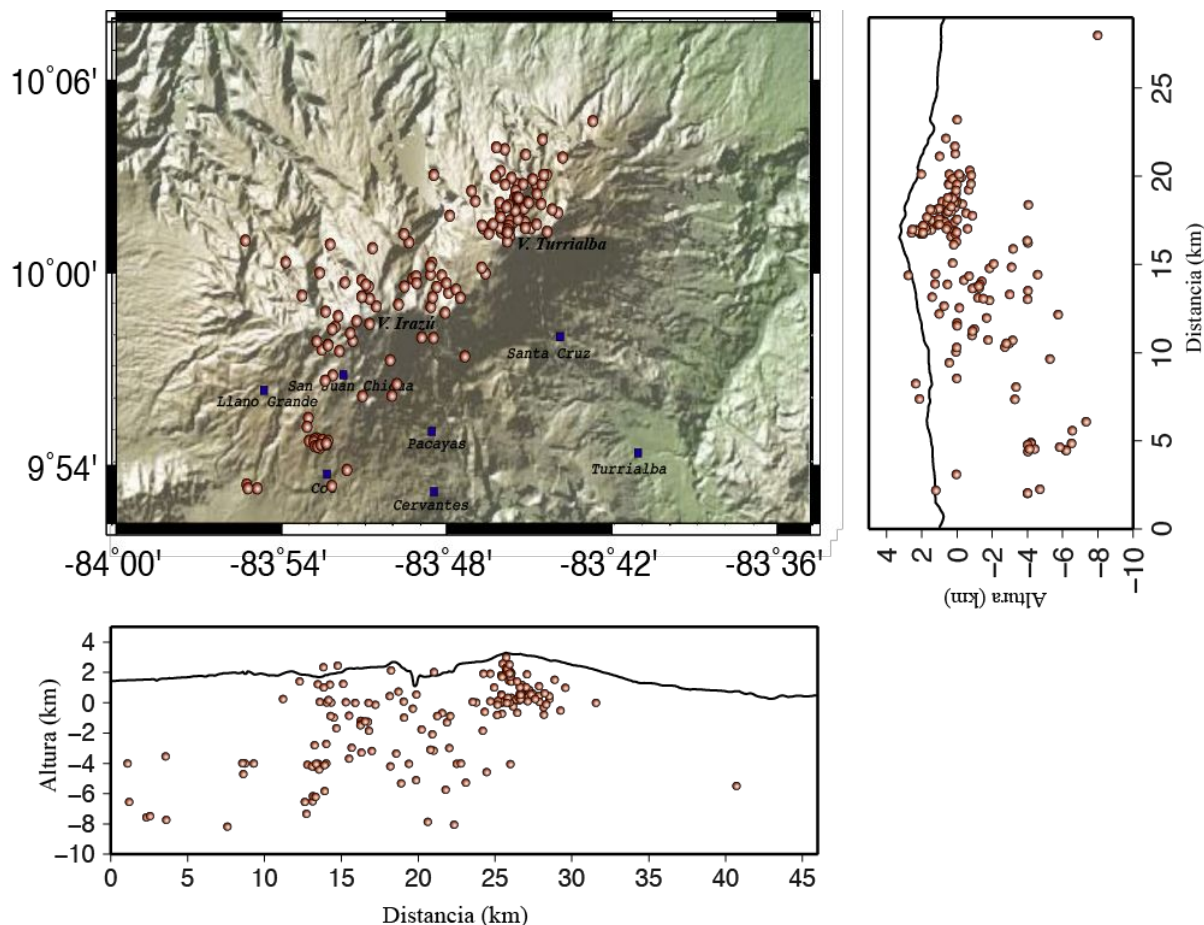


Figura 3. Mapa muestra los epicentros de los sismos tectónicos registrados durante el mes de octubre, 2015. Las secciones transversales pasan por el cráter activo del volcán Turrialba.

A partir de la erupción del 16 de octubre se incrementan los sismos VLP hasta el 23 de octubre cuando estos mismos eventos son seguidos por un tremor asociado a la emisión de gases y ceniza, a veces acompañados de flujos piroclásticos. Este tremor se registra entre 60 y 120 segundos después del sismo VLP. La diferencia de tiempo entre el sismo VLP y la expulsión de gases y ceniza puede deberse a la profundidad a la que se produce la apertura y cierre de la cavidad. Durante este período, entre el 23 y 31 de octubre, se registraron 57 exhalaciones pequeñas y 120 erupciones de muy diverso tamaño y características. La figura 7 muestra la energía liberada por todas las erupciones registradas en octubre, 2015. La energía total liberada por las erupciones registradas entre el 23 y 31 de octubre, en total 120, no es la mitad de la energía liberada durante la primera erupción del 16 de octubre. En la figura 7 se observan 2 períodos eruptivos; el primero entre el 24 y 27 de octubre y un segundo entre el 29 y 31 de octubre.

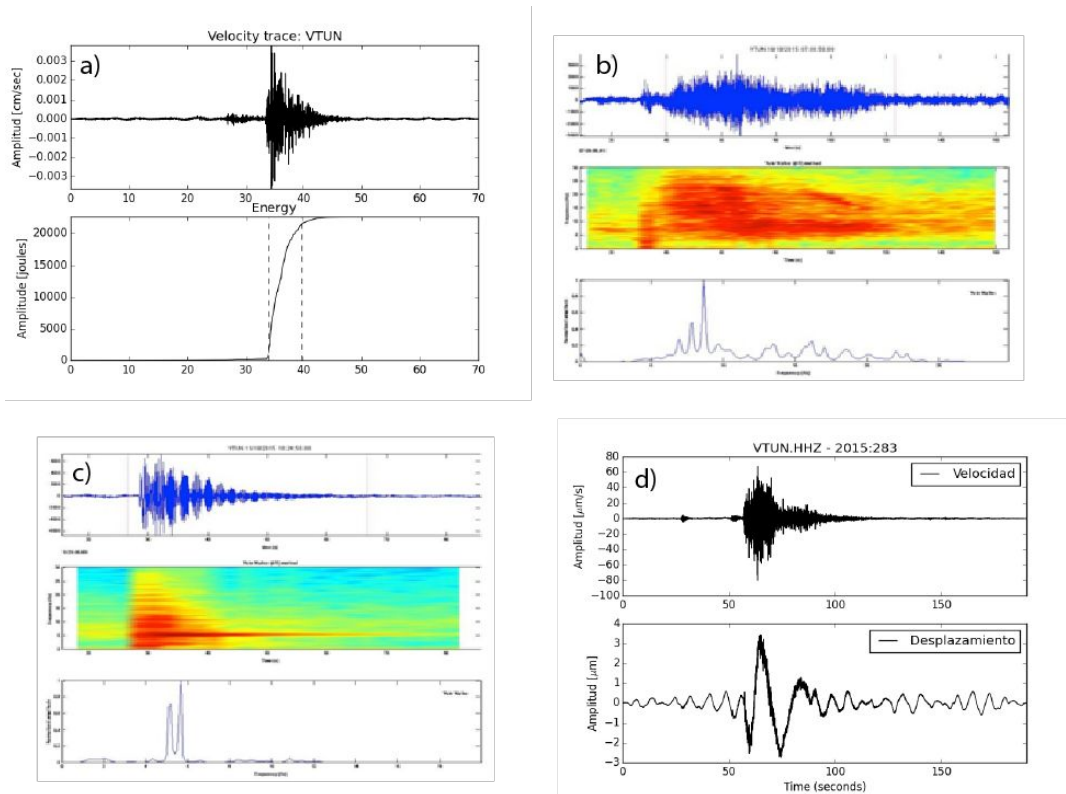


Figura 4. Registros de sismos característicos de este período. a) Sismo de doble fase con un inicio emergente y una segunda parte de mayor amplitud (Arriba: sismograma, abajo: energía sísmica acumulada). b) Tremor volcánico de alta frecuencia (Arriba: sismograma, centro: espectrograma y abajo: espectro de frecuencias). c) Sismo LP o baja frecuencia (Arriba: sismograma, centro: espectrograma y abajo: espectro de frecuencias). d) Sismo VLP o de muy baja frecuencia (Arriba: registro de velocidad, abajo: registro de desplazamiento del suelo).

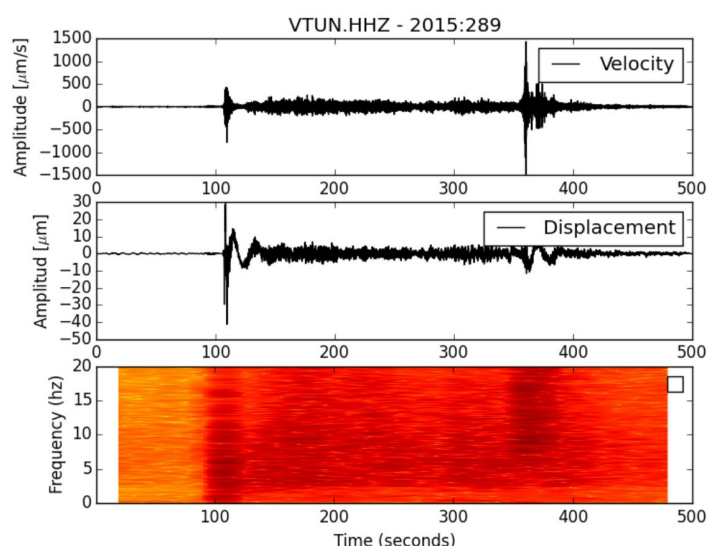


Figura 5. Registro Sísmico del evento ocurrido a las 17:48 del 16 de octubre, 2015. Arriba se muestra el sismograma de velocidad, centro muestra el desplazamiento donde se distingue claramente las explosiones inicial y final. Abajo se muestra el espectrograma donde los colores más oscuros muestran las mayores amplitudes.

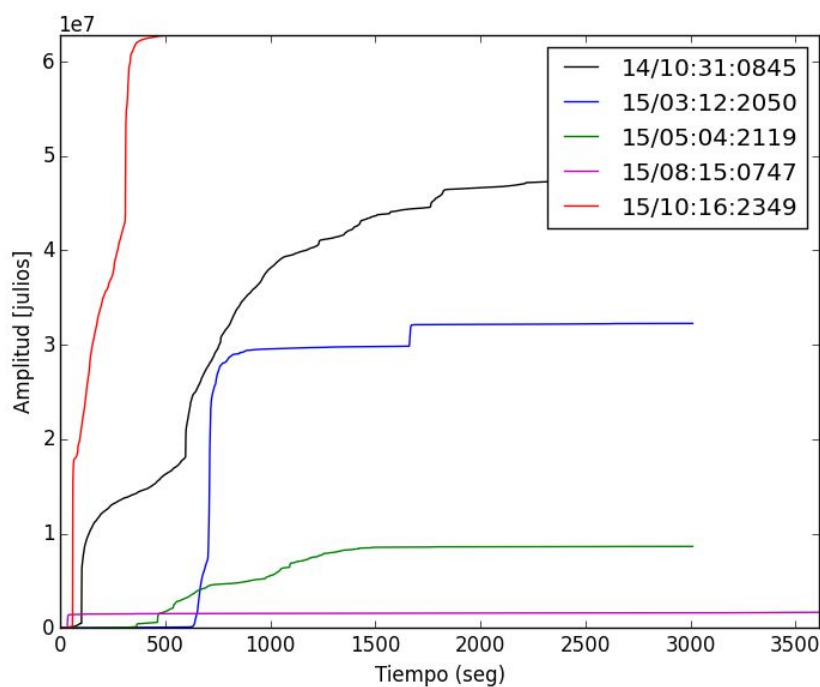


Figura 6. Energía liberada por la erupciones más grandes durante los periodos: entre octubre y diciembre, 2014, entre marzo y junio 2015, la pequeña erupción del 15 de agosto, 2015 y la erupción del 16 de octubre, 2015.

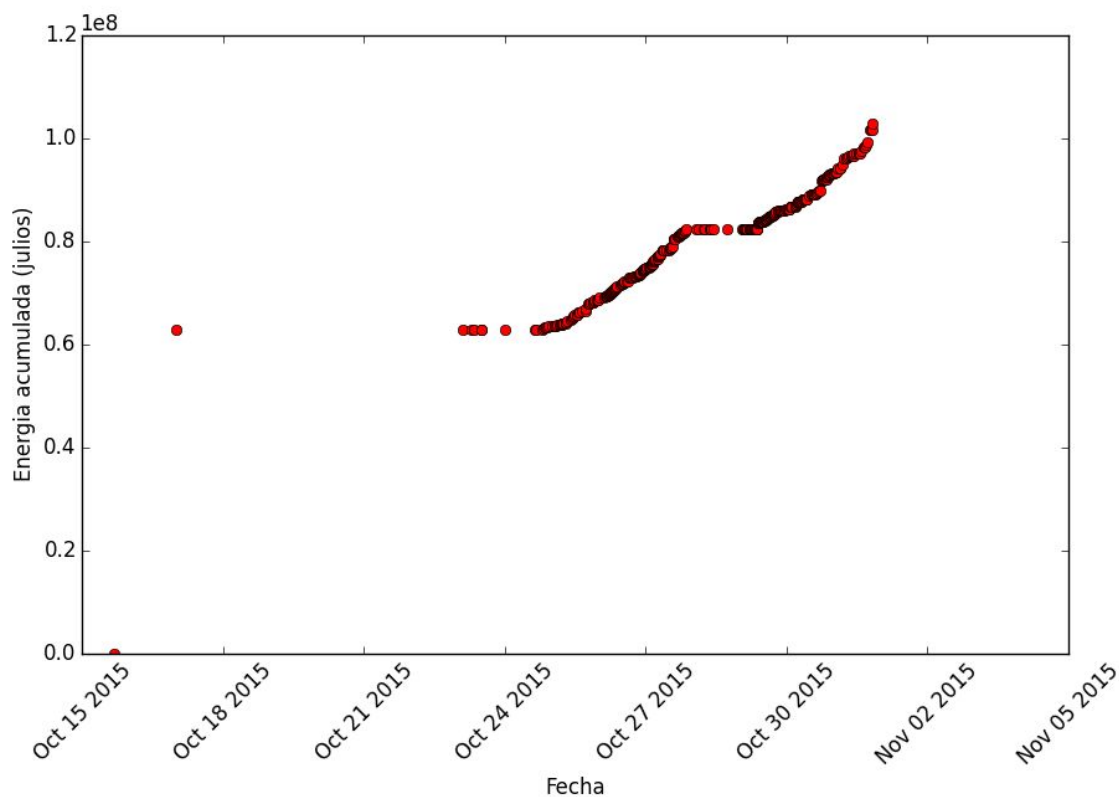


Figura 7. Valor acumulado de energía liberada durante las erupciones ocurridas durante el mes de octubre, 2015.

1.2 V. Turrialba: Deformación

La deformación de estos 4 últimos meses fue moderada con un pico de velocidad en los sitios alrededor de la central durante este mes. La deformación sobre los 6 sitios permanentes y los 4 sitios de tipo campañas muestra globalmente un patrón radial hacia afuera del edificio volcánico, además de un levantamiento. El volcán se levantó entre 10 y 20 mm en los recientes 4 meses con respecto al Valle Central (Fig. 8). Los sitios que muestran el levantamiento más importante son VTCA y VTSY con 20 ± 2 mm y 33 ± 24 mm, respectivamente. Observamos un incremento de la distancias de $42 \text{ mm} \pm 23 \text{ mm}$ entre los sitios VTCE y VTSY. En base a los sitios permanentes, se ve una continuación de la inflación con tasas igual o más importantes para VTGP.

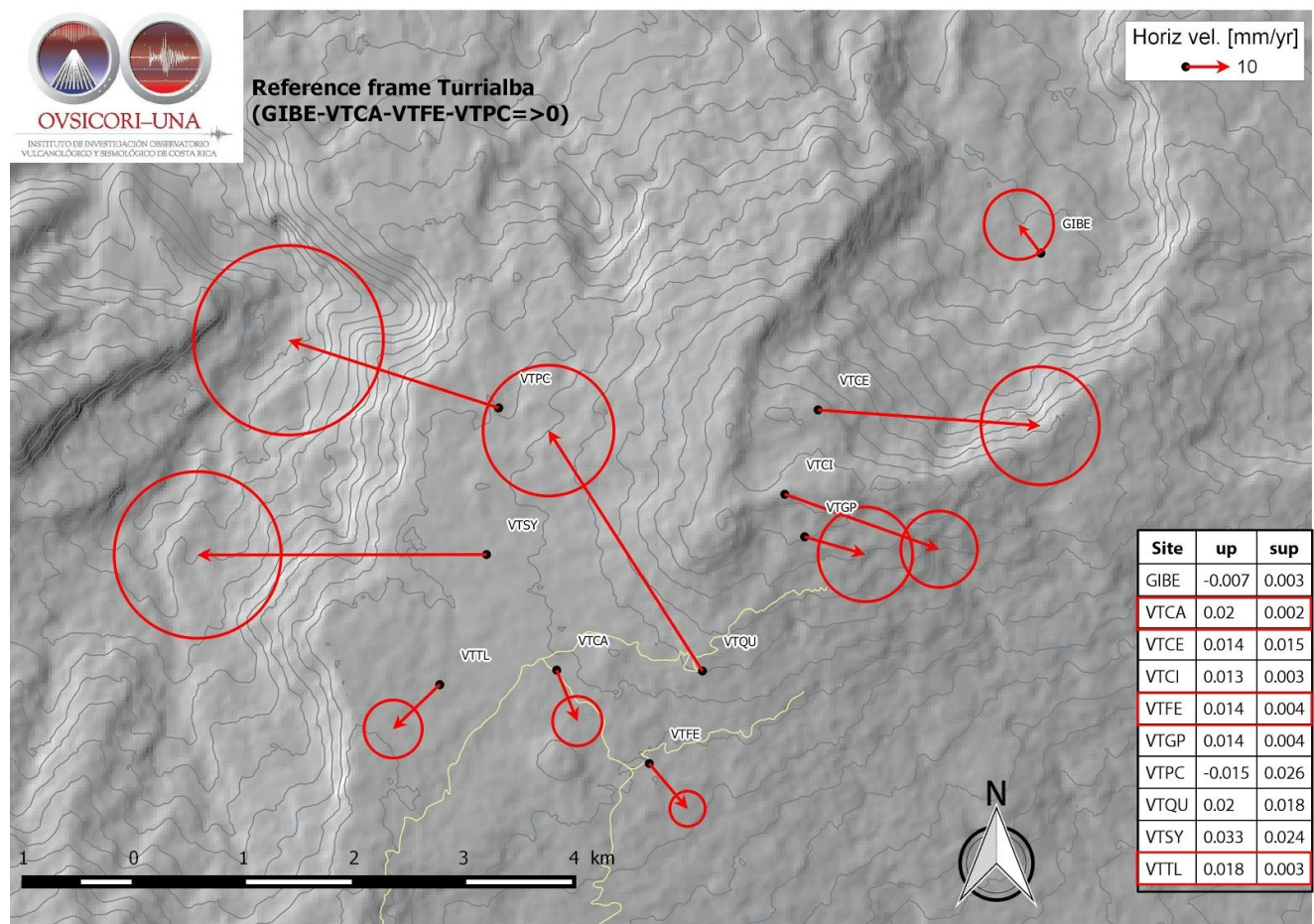


Figura 8. Mapa de los desplazamientos de los sitios GPS permanente y de campaña por el periodo julio-inicio de noviembre 2015 en volcán Turrialba. Las flechas de color rojo representan los movimientos horizontales. Los círculos muestran la incertidumbre de cada vector (1 sigma). La tabla presenta los movimientos verticales con sus incertidumbres respectivas.

1.3 V. Turrialba: Monitoreo de los gases

A pesar de una actividad importante, el flujo de SO₂ emitido por el volcán no presenta anomalías significativas en octubre del 2015 con valores máximos alrededor de 1000 t/d (Fig. 9). Sin embargo, las condiciones meteorológicas no fueran a favor de mediciones de calidad como es generalmente el caso en esta época del año.

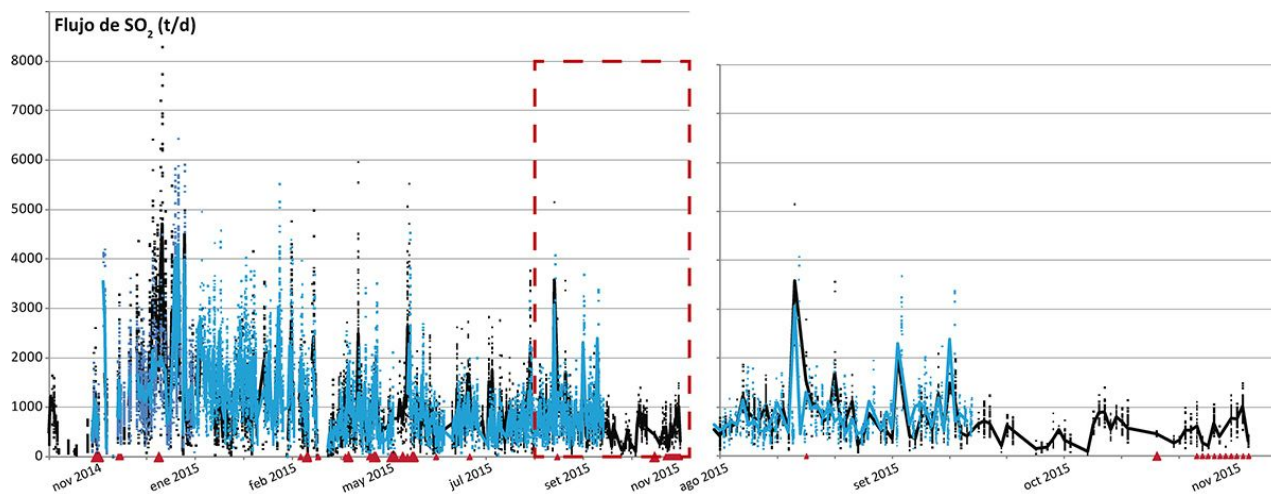


Figura 9. Evolución del flujo de SO₂ emitido por el volcán Turrialba durante el último año (izquierda) y últimos 3 meses (derecha).

La estación Multi-GAS, ubicada en la cima del volcán Turrialba, registró valores muy altos de H₂S/SO₂ (>2) al inicio del mes de octubre. Después de la erupción del 16 de octubre, los valores de H₂/SO₂ bajaron hasta <1. Estos cambios son interpretados como producto de grandes perturbaciones entre el sistema magmático y el sistema hidrotermal. Antes de la erupción de 16 octubre hubo un pico distinto en CO₂/St, que hemos visto también en octubre 2014 y marzo 2015. Esta señal precursor puede ser útil para pronósticos futuros.

1.4 V. Turrialba: Materiales sólidos emitidos

Las erupciones de octubre del 2015 fueron de pequeña amplitud y las zonas de impactos de fragmentos (Fig. 10a) o de caída de ceniza fueron principalmente limitadas a la parte alta del edificio volcánico. La erupción del 16 de octubre fue la más importante con la destrucción de un panel solar a 300 m de distancia (Fig. 10b) y un espesor de cenizas máxima de 8 cm (Fig. 10c) en el borde del cráter activo (Fig. 10). Se observó también un depósito característico de flujo piroclástico (Fig. 10d y e). Es importante notar que aún pequeñas erupciones como las del fin de octubre tiran balísticos peligrosos (Fig. 10f). La ceniza recolectada en octubre presenta una proporción de material alterado/fresco similar a los meses anteriores con una dominante de material removilizado (Fig. 10 derecha).

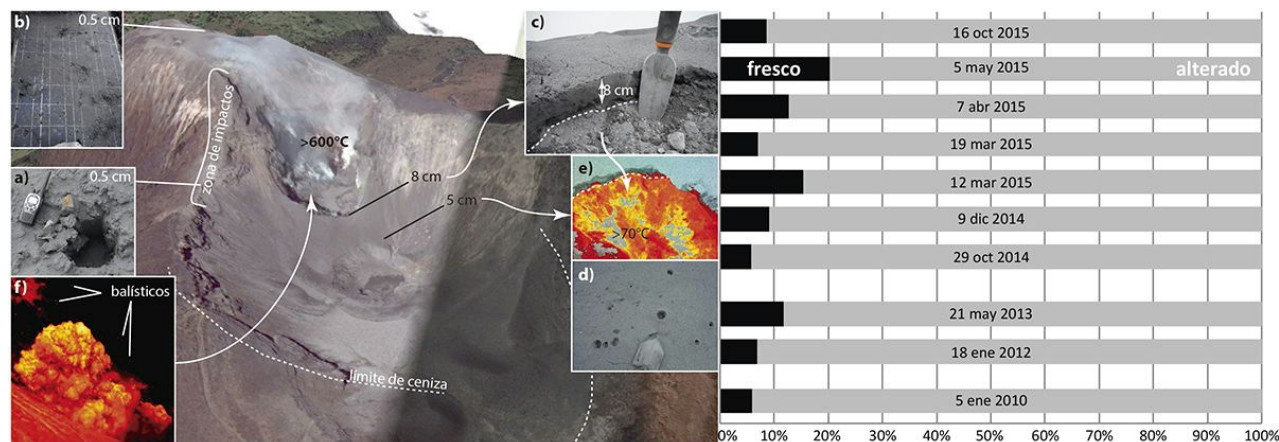


Figura 10. Izquierda: Representación en Google Earth de la caída de material por la erupción del 16 de octubre. a) impacto de 20 cm de diámetro, b) panel solar destruido por los impactos, c) espesor de ceniza, d) depósito de flujo piroclástico, e) material caliente depositado por el flujo piroclástico, f) imagen térmica de una erupción el 26 de octubre (Fotos: G.Avard). Derecha: Evolución de la proporción de material fresco/alterado en la ceniza entre 2010 y octubre del 2015.

2. Volcán Irazú

2.1 V. Irazú: Sismología

La actividad sísmica en el volcán Irazú se debe principalmente a sismos tectónicos dispersos alrededor del macizo y más allá de este (Fig. 3). Es posible que muchos de los sismos localizados alrededor del volcán Irazú, principalmente aquellos localizados hacia el este del macizo se deba al aumento de presión discutido en la sección del volcán Turrialba, y por lo tanto puede que muchos de estos eventos sean sismos distales del volcán Turrialba y debidos a la actividad del Turrialba, por lo que no tienen relación con el Irazú. Por otro lado, este mes de octubre muestra mayor sismicidad hacia el oeste del Irazú y sigue registrándose actividad somera bajo el cráter activo.

Otro tipo de evento frecuente son los pequeños deslizamientos que siguen ocurriendo, principalmente en el flanco oeste de la cima, pero también hacia el norte del cráter principal. La figura 11 muestra uno de estos eventos registrado en la estación VICA, ubicada en la cima, entre el cráter de la HAYA y el cráter activo.

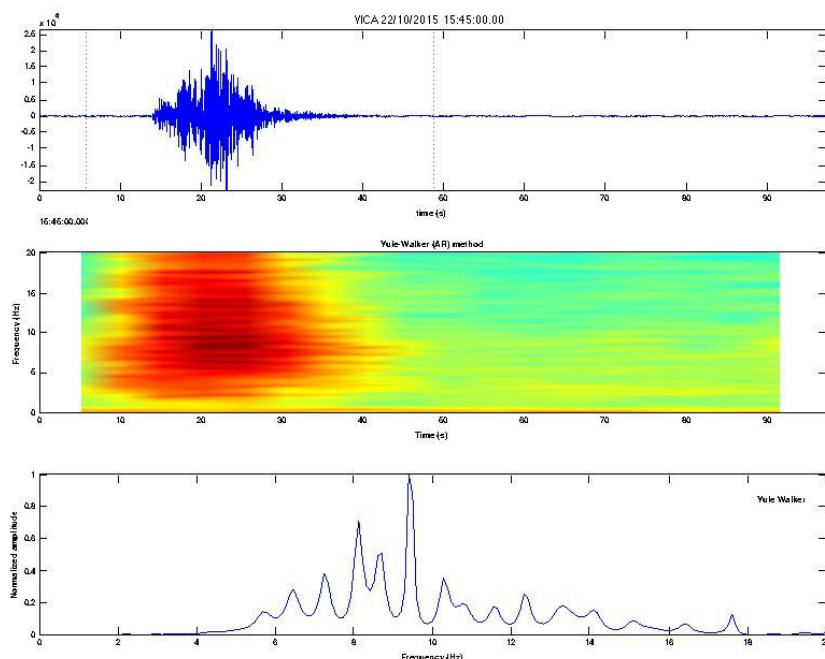


Figura 11. Mayor deslizamiento ocurrido el 22 de octubre, 2015, y registrado por la estación sísmica VICA. Arriba se muestra el sismograma, al centro el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias.

2.2 V. Irazú: Deformación

En el mes de octubre se realizó una campaña de medición GNSS para el monitoreo del deslizamiento ubicado al costado suroeste del volcán Irazú. Además, en esta oportunidad se densificó cuatro sitios localizados al este del deslizamiento con el propósito de extender el área de estudio (VI23, VI24, VI25 y VI26). A las mediciones realizadas, luego de ser procesadas y referidas al sitio VI65, se les calculó velocidades y su incertidumbre, este último cálculo se omitió para los sitios nuevos. Los sitios ubicados al oeste de la grieta (Fig. 12) muestran velocidades con un promedio de 20 cm anual hacia el noroeste, siendo mayor al norte de la zona que al sur. Verticalmente, esos sitios subsiden con una velocidad entre 30 y 40 cm por año. Se observa una ligera aceleración de las velocidades, sin embargo quedan dentro el margen de error. Se observa que las velocidades son también subparalelas en el plano este-altura (Fig. 13). Los sitios ubicados hacia el este de la grieta se mantienen relativamente estables.

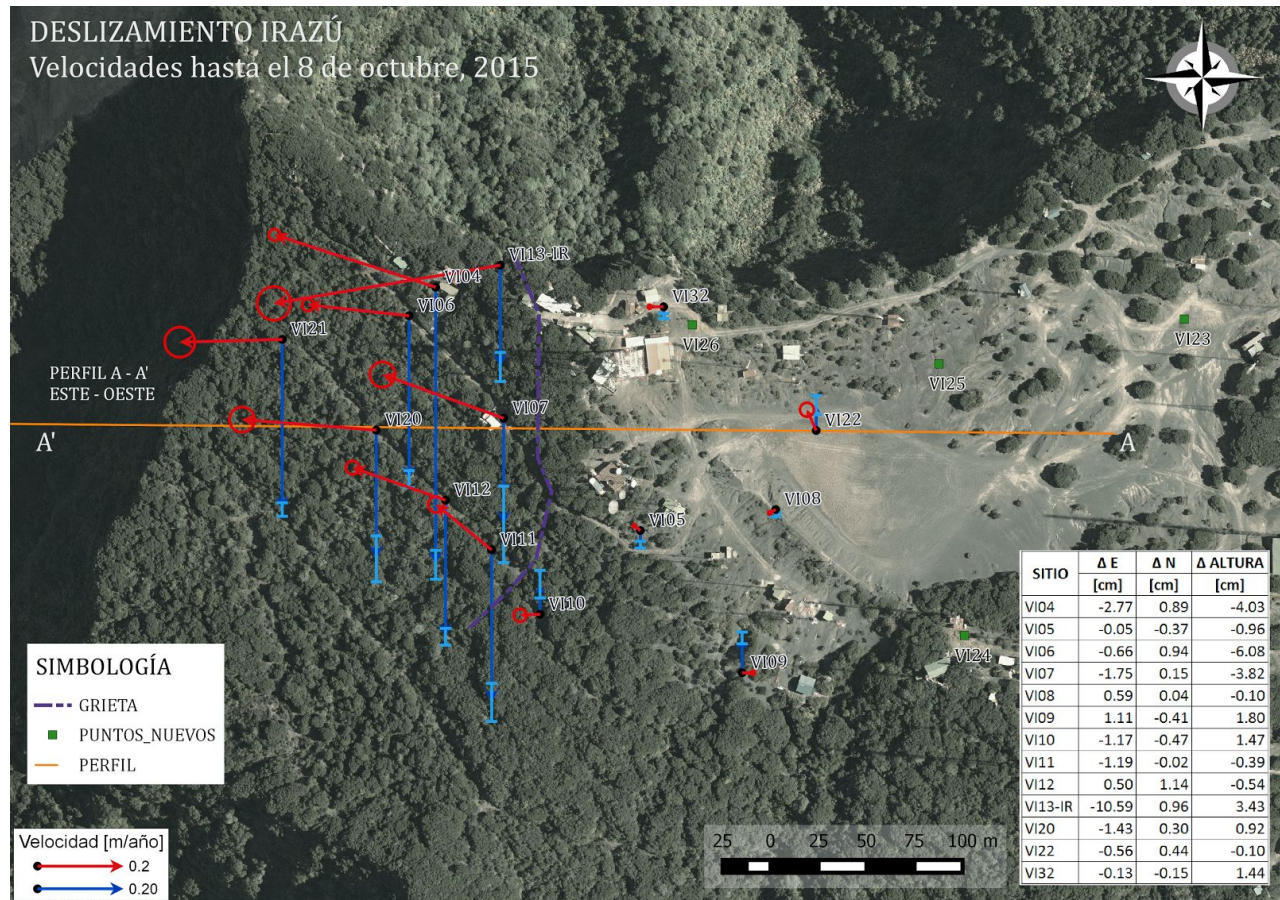


Figura 12. Mapa de velocidades anuales en metros de los sitios GNSS ubicados sobre la zona próxima al deslizamiento en el volcán Irazú. Las flechas de color rojo muestran las velocidades en las componentes este y norte, con su incertidumbre en un círculo del mismo color; además las velocidades en la componente altura están representadas por flechas de color azul oscuro y su incertidumbre por barras de color celeste. La línea de color anaranjado representa la localización del perfil topográfico, el cual lleva dirección este-oeste (A-A') (Fig. 13). Los cuadros de color verde ubican los puntos nuevos de monitoreo. Finalmente, la tabla contiene los desplazamientos en centímetros registrados entre el 19 de setiembre hasta el 8 de octubre de 2015.

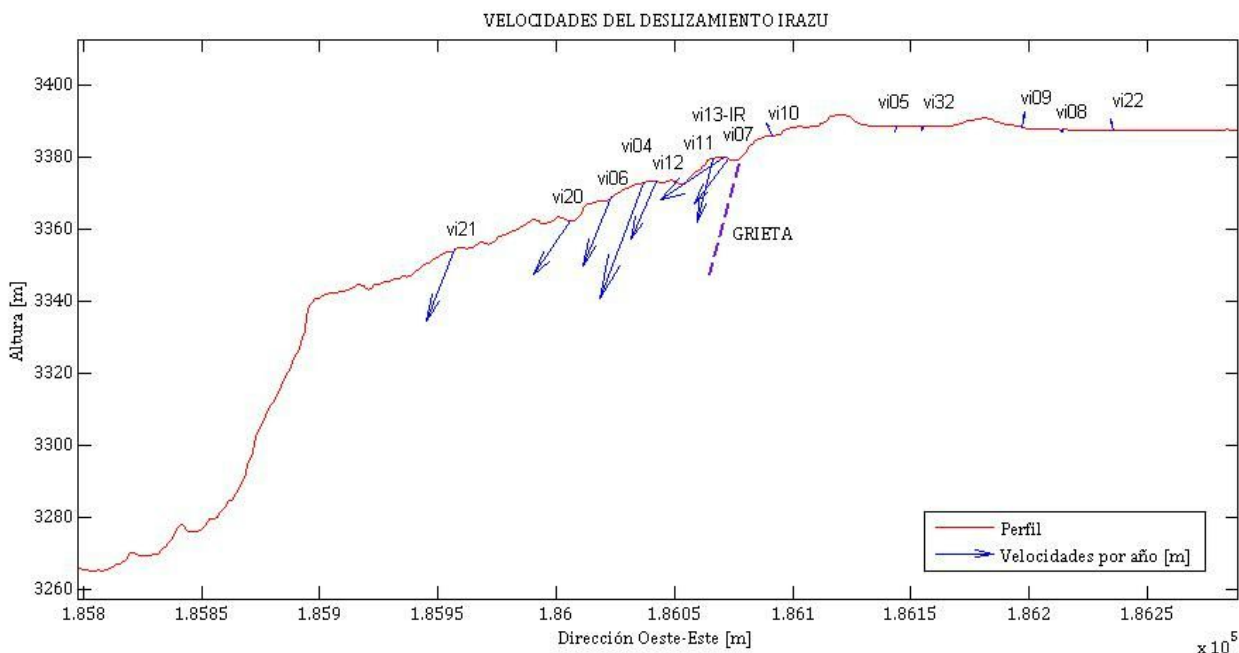


Figura 13. Perfil topográfico realizado en base al modelo digital de terreno proporcionado por la empresa Aerodiva S.A., en el cual se muestra en color azul las velocidades en las componentes este y altura para cada uno de los sitios medidos en las campañas GPS (velocidades en metros por año escaladas a 0.5). Este perfil ubica todos los sitios sobre una línea en la que se omite la componente norte.

2.3 V. Irizú: Monitoreo de la temperatura

No se observó anomalía térmica en el cráter principal en octubre del 2015 (Fig. 14).

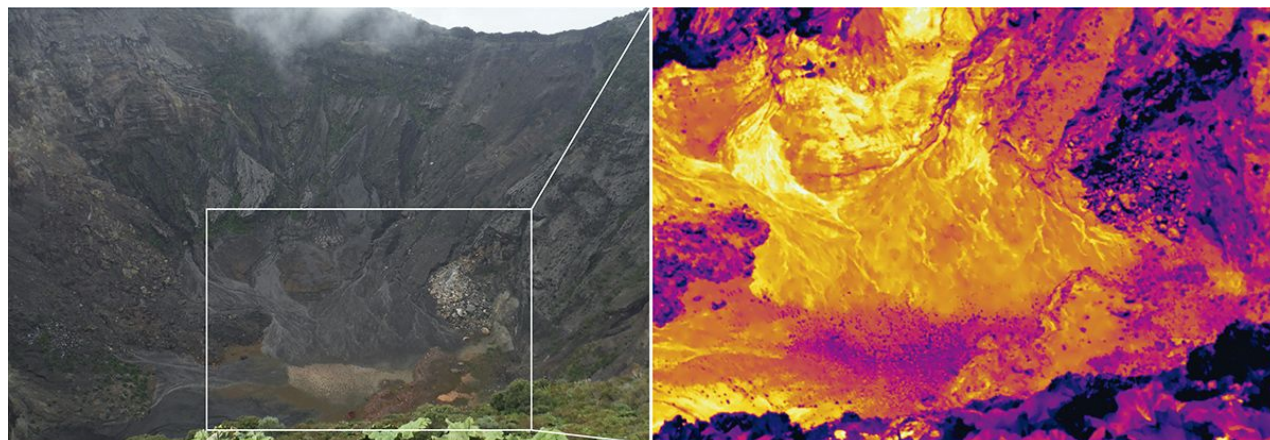


Figura 14. Izquierda: Foto del Cráter Principal del Irizú. Derecha: Imagen térmica que no muestra ninguna anomalía (Fotos: G.Avard, 26 oct 2015).

3. Volcán Poás

3.1 V. Poás: Sismología

La actividad en el volcán Poás se mantiene con bajos niveles de sismicidad (Fig. 15). Los pocos sismos que se registran son de muy pequeña amplitud. Se continúan registrando tremores cortos muy monocromáticos, con frecuencias dominantes entre 2 y 3 Hz. La figura 16 muestra el registro del mayor tremor ocurrido en octubre, 2015.

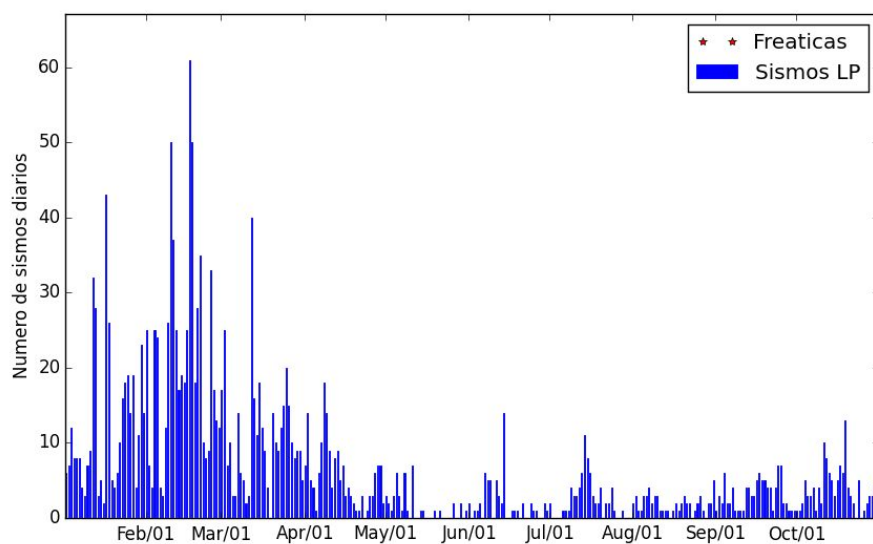


Figura 15. Número de sismos volcánicos registrados durante el año 2015 en el volcán Poás.

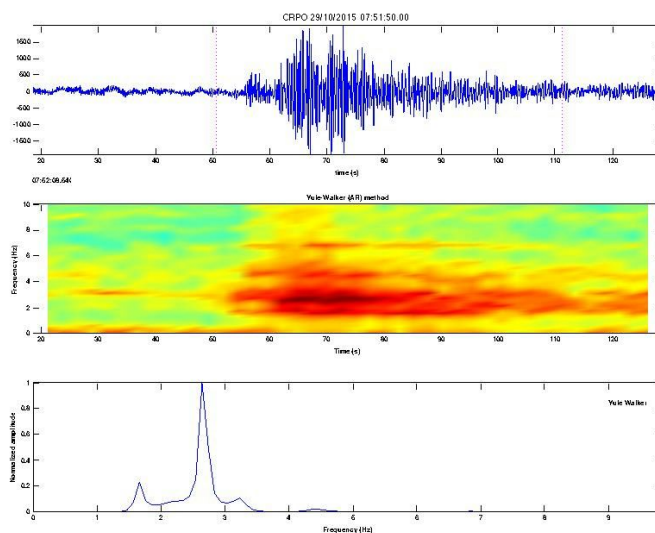


Figura 16. Sismograma (arriba) de un tremor registrado el 29 de octubre en la estación CRPO. Al centro se muestra el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias.

3.2 V. Poás: Deformación

Los dos sitios GNSS del volcán habían detectados un esfuerzo entre los dos borde del cráter al inicio del año, la distancia 3D entre los dos sitios había aumentado de 5 mm en 4 meses. Después la distancia se estabilizó alrededor de 2162.707 m y el último mes se detectó una ligera reducción (Fig. 17). La dirección de los vectores al respecto a ETCG (UNA, Heredia) muestran que la cumbre se mueve en dirección del sur-este con una velocidad ligeramente mas rapida en VPCR aunque este sitio tiene un error más grande.

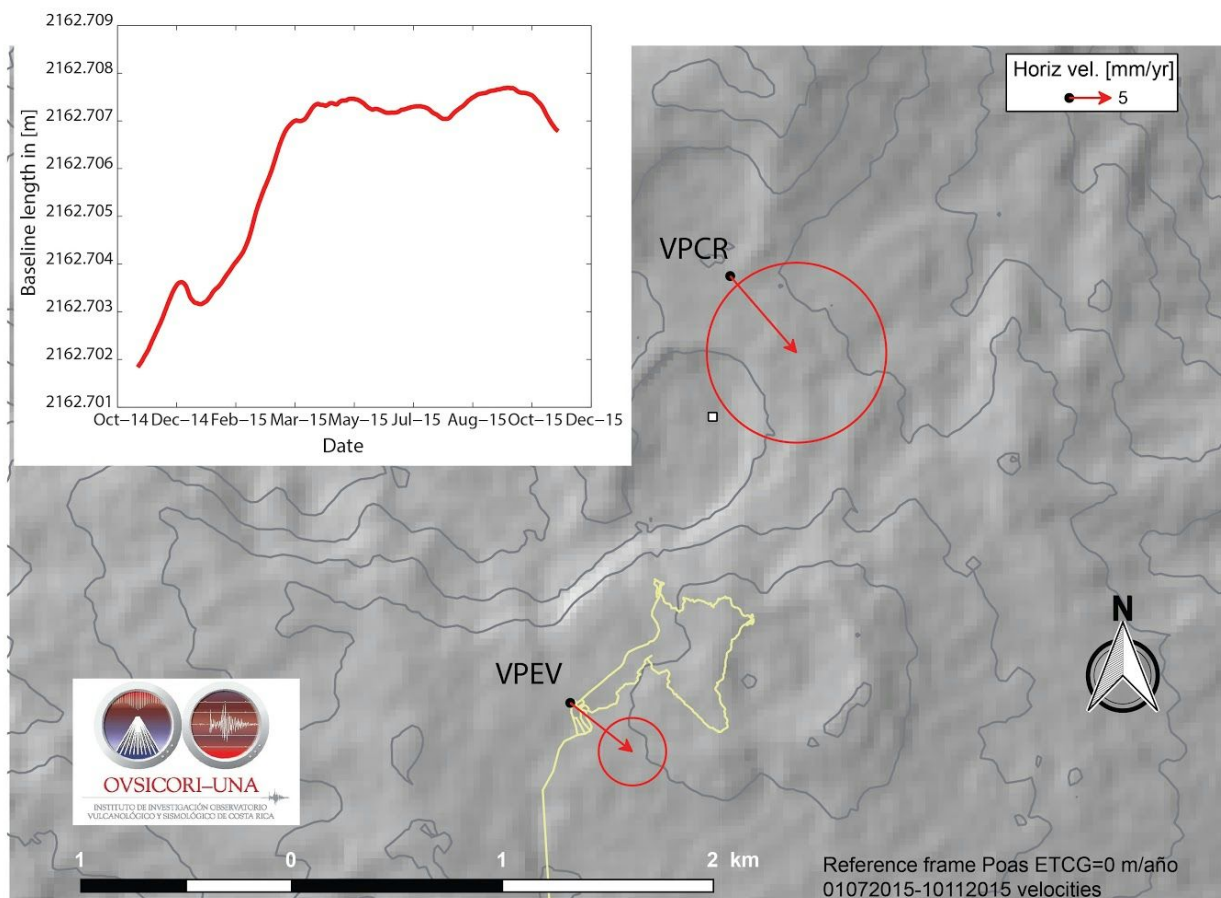


Figura 17. Situación y velocidad de los sitios GNSS del volcán Poás y variación de la distancias 3D entre los dos sitios. Las flechas de color rojo muestran la velocidad en las componentes este y norte, con su incertidumbre en un círculo del mismo color.

3.3 V. Poás: El lago ultra ácido

El lago presentó un descenso de su nivel al inicio del mes, así como estabilización de su temperatura alrededor de los 30°C y del pH medido *in situ* alrededor de 0.4 (Fig. 18)

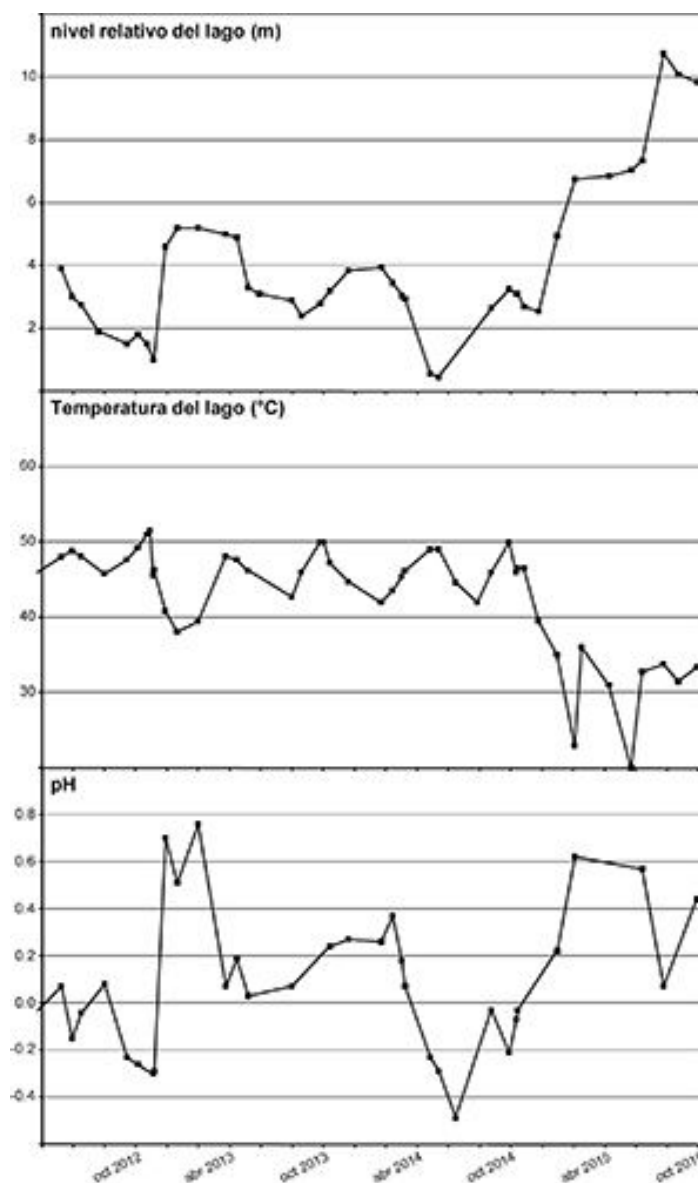


Figura 18. Evolución de las mediciones de campo del nivel relativo, de la temperatura y del pH para el lago del volcán Poás.

3.4 V. Poás: Monitoreo de los gases

El flujo de SO_2 del volcán Poás era muy bajo en el mes de octubre, con el flujo de las fumarolas estimado a menos de 50 T/día SO_2 . El flujo de SO_2 del lago era < 10 T/día. También había una diferencia grande entre la razón CO_2/SO_2 del gas emitido por el lago ($\text{CO}_2/\text{SO}_2 > 5$) comparado al gas emitido por las fumarolas ($\text{CO}_2/\text{SO}_2 \sim 1.7$), que es un indicador que hay poco gas y calor magmático llegando al lago. Por eso, el lago no está generando erupciones freáticas. Además, los gases emitidos por el domo salen a una temperatura moderada de $\sim 400^\circ\text{C}$ (Fig. 19).

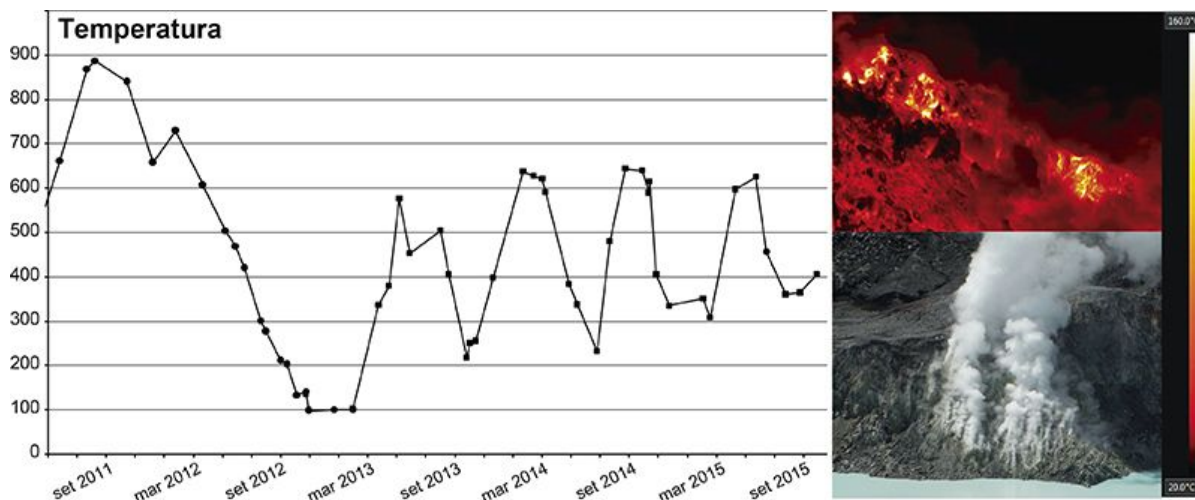


Figura 19. Evolución de la temperatura de las fumarolas del domo.

4. Volcán Arenal

4.1 V. Arenal: Sismología

Durante el mes de octubre no se registra actividad sísmica-volcánica relevante asociada al Arenal.

4.2 V. Arenal: Gases y vapores

El 2 de octubre 2015, pobladores en los alrededores del volcán Arenal notaron la presencia de fumarolas algo vigorosas en la cima del volcán (Cráter C) que estuvo activo hasta octubre 2010 (Fig. 20). Estas fumarolas solo mostraron un incremento leve en su vigor y consisten en plumas difusas de vapor de agua y gases hidrotermales de baja temperatura. El vigor de las fumarolas podría haber sido inducido por la penetración de agua de lluvia hasta zonas en el interior del cráter donde las rocas aún están suficientemente calientes para vaporizar el agua de lluvia.



Figura 20. Volcán Arenal el 2 octubre 2015. Foto cortesía de Víctor Chavarría.

5. Volcán Tenorio

5.1 V. Tenorio: Los Borbollones y el Río Celeste

El 16 octubre 2015 se realizó una gira al Río Celeste del volcán Tenorio para medición y muestreo de gases y aguas (Figs. 21 y 22). La concentración de CO₂ en Los Borbollones del Río Celeste excede los 20,000 ppm, concentraciones que en espacios con poca circulación de aire como cuevas o cavidades puede asfixiar pequeños animales como aves, insectos, serpientes. Las aguas recolectadas en el Río Buenavista, la Quebrada Agria, y el Río Celeste (corriente abajo de la confluencia de Buenavista y Agria) registraron los siguientes valores (Castellón *et al.*, 2013):

Río Buenavista: pH=7.04; potencial eléctrico= -18mV; conductividad=122μS/cm (16 oct 2015)

pH=6.80; conductividad=152μS/cm (feb 2012)

Quebrada Agria: pH=3.67; potencial eléctrico= 175 mV; conductividad=468μS/cm (16 oct 2015)

pH=3.10; conductividad=691μS/cm (feb 2012)

Río Celeste: pH=6.47; potencial eléctrico= 15 mV; conductividad=182μS/cm (16 oct 2015)

pH=5.00; conductividad=309μS/cm (feb 2012)

Los valores de los parámetros potenciométricos de las aguas de estos 3 sitios registrados en octubre 2015 son similares a los medidos en febrero 2012.

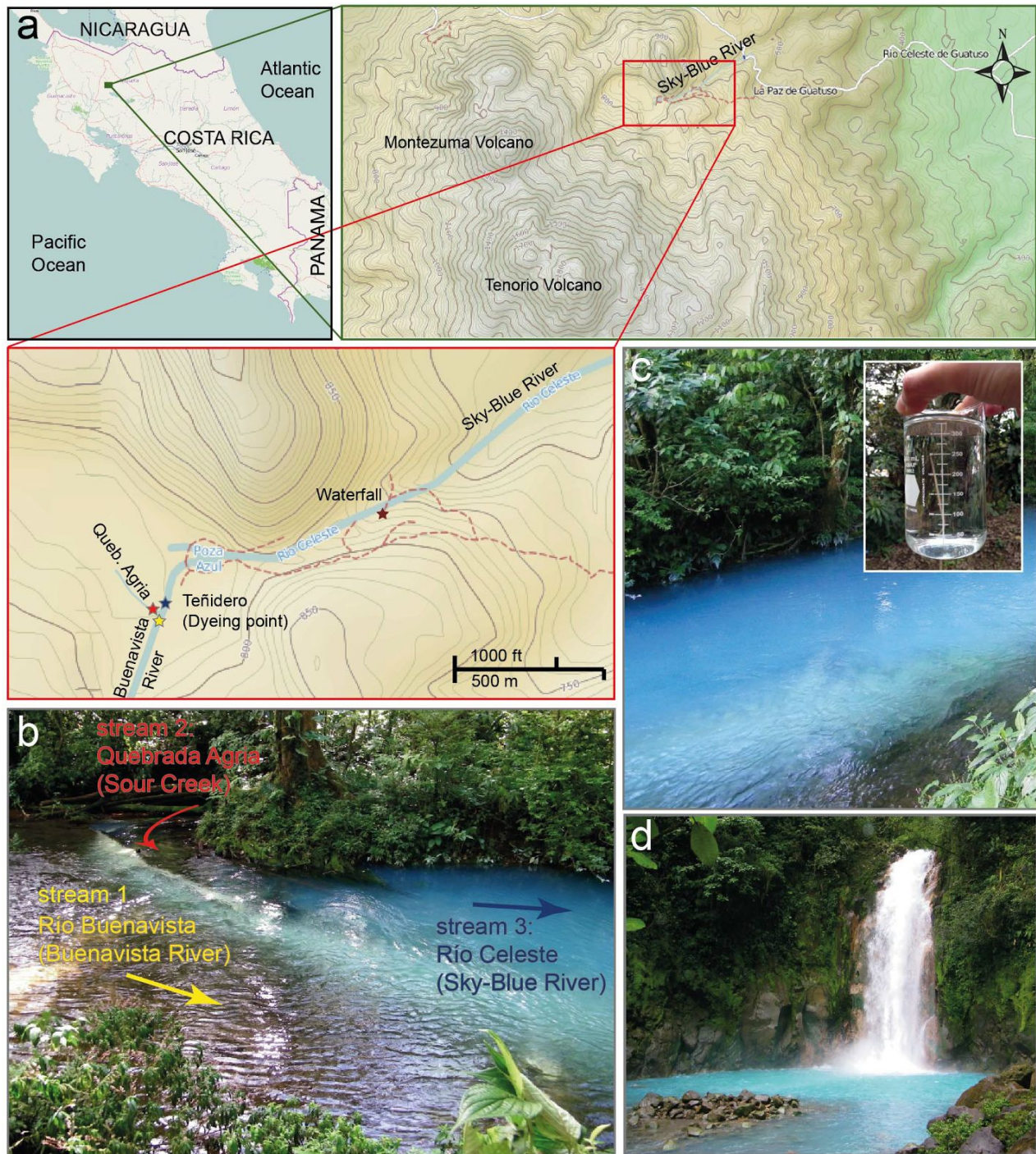


Figura 21. Ubicación del Río Celeste Volcán Tenorio y las nacientes que le dan origen, Río Buenavista y Quebrada Agria. El color del Río Celeste aparece inmediatamente en la confluencia de los dos cursos de agua. El Río Celeste mantiene su particular color a lo largo de una distancia de más de 14 km incluyendo la Catarata Río Celeste (tomado de: Castellón *et al.*, 2013).



Figura 22. Campaña de muestreo y medición de gases y aguas en Los Borbollones del Río Celeste Volcán Tenorio el 16 octubre 2015 con estudiantes y profesores de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica y personal de vulcanología del OVSICORI-UNA.

6. Volcán Rincón de la Vieja

6.1 V. Rincón de la Vieja: Sismología

La actividad en el volcán Rincón de la Vieja se mantiene con bajos niveles de sismicidad. En el mes de octubre la actividad dominante fue la ocurrencia de pequeñas erupciones freáticas. Se tiene el registro de al menos 10 erupciones freáticas entre pequeñas y moderadas. Las mayores erupciones lanzaron materiales del fondo del lago hacia las laderas al lado norte del cráter. Las intensas lluvias lavaron estos materiales produciendo pequeños lahares en los ríos que drenan las laderas hacia el norte del volcán. La figura 25 muestra la pluma producida por una de estas pequeñas erupciones el día 4 de octubre. La mayor erupción registrada ocurrió el 21 de octubre (Fig. 23). Otras erupciones menores pudieron haber ocurrido sin dejar registros en la estación sísmica de referencia del OVSICORI, que se ubica a 5km del cráter activo. También se registran

unos pocos sismos LP de muy baja amplitud. La actividad volcano-tectónica se mantiene baja, con pocos sismos registrados, pero no es posible localizarlos debido a su baja amplitud.

La actividad sísmico-volcánica más importante ocurrió el 16 de octubre con un tremor bastante monocromático que se prolonga por 1300 segundos, de moderada amplitud, que terminó con un enjambre de sismos LP (Fig. 24) y probablemente acompañado por una erupción freática moderada al final. Esta actividad se extendió por 7 horas entre las 18 horas (hora local) del 15 de octubre y la 1 am (hora local) del 16 de octubre.

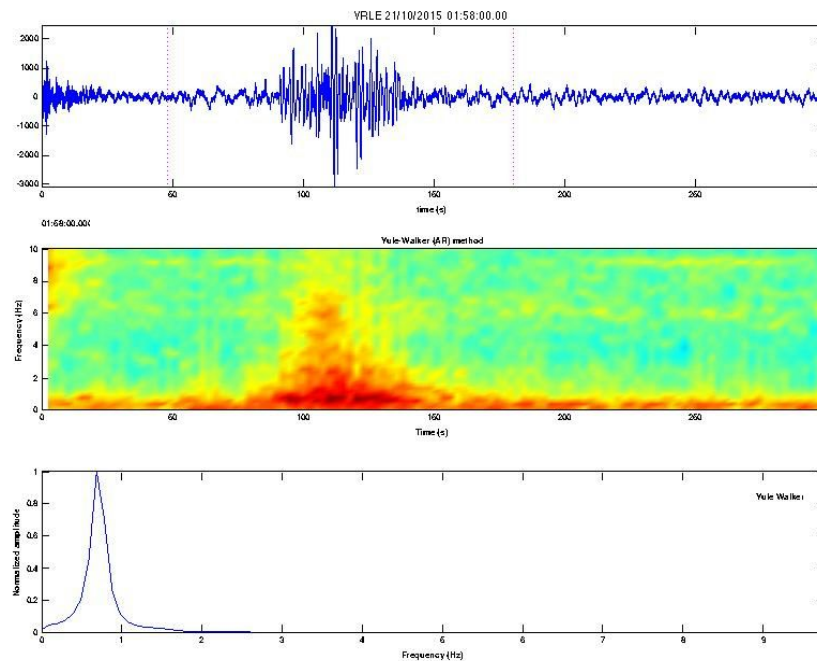


Figura 23. Registro de la mayor erupción freática del 21 octubre 2015 registrada por la estación sísmica VRLE, ubicada a 5km del cráter activo. Arriba se muestra el sismograma, al centro el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias.

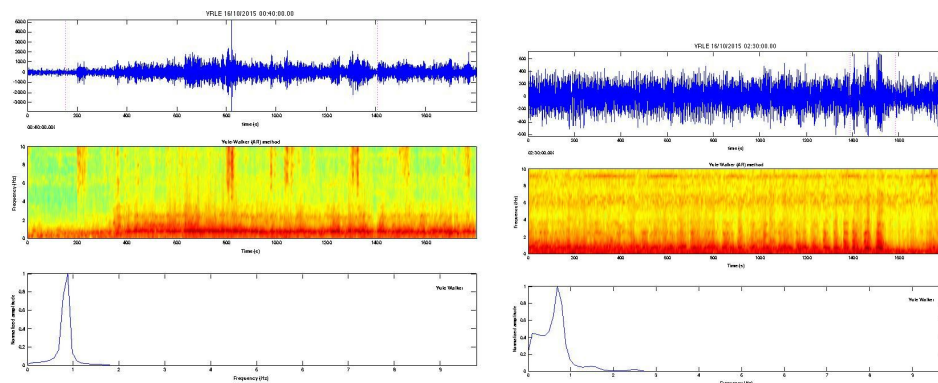


Figura 24. Izquierda: registro del tremor prolongado del 16 de octubre. Derecha: al final el tremor se convierte en un enjambre de sismos LP que termina con 2 erupciones freáticas pequeñas. Arriba se muestra el sismograma, al centro el espectrograma y abajo el espectro de frecuencias.



Figura 25. Rincón de la Vieja visto desde Finca Los Ahogados el 4 octubre 2015 a las 6:24 a.m. Se observa pluma de gases rica en vapor de agua posiblemente asociada a erupción freática en el cráter activo. Foto cortesía de Christian Mauricio López Mairena.

6.2 V. Rincón de la Vieja: Lago ultraácido

El lago ultraácido del Rincón fue visitado el 8 octubre 2015 por grupo de funcionarios del OSIVAM-ICE. El reporte de campo del OSIVAM-ICE (2015) indica un lago con aspecto lechoso, con celdas de convección vigorosas y evaporación fuerte en su superficie. El 8 octubre el lago registró una temperatura de 45,7°C (medida en el borde del cráter en muestra de agua sacada rápidamente del lago con termómetro convencional) significativamente mayor que la temperatura de 39°C registrada el 23 abril del 2015. Se reportó también abundante emisión de gas azulado rico en SO_2 a través del lago, comparativamente mayor que la observada en abril 2015. La emisión de gases generó irritación de ojos y garganta a los vulcanólogos mientras se encontraban en el borde este del cráter realizando muestreo y mediciones del lago. En los alrededores del borde este del cráter se notó la presencia de materiales “lodosos” (sedimentos y fragmentos de roca alterados)

eyectados del lago posiblemente por erupción freática moderada que tuvo lugar el 4 de octubre a las 6:24 hora local.

El 17 octubre 2015 Federico Chavarría Kopper sobrevoló alrededor del Cráter Principal del Rincón de la Vieja y notó el lago ácido con convección y evaporación más fuertes que las observadas el 8 de octubre desde el borde del cráter por el personal del OSIVAM-ICE. En las fotos aéreas se aprecia material lodoso eyectado del lago y depositado en el borde norte del cráter (Fig. 26).



Figura 26. Volcán Rincón de la Vieja: vista aérea desde el este el 17 octubre 2015 a las 9:00 a.m. El lago ultraácido se muestra lechoso, con fuertes celdas de convección transportando azufre, sedimentos, y gases a través de su superficie. Nótese los sedimentos y otros materiales del lago depositados sobre el flanco superior norte por erupciones freáticas ocurridos entre el 4 y el 16 octubre 2015. Foto cortesía de MSc. Federico Chavarría Kopper.

En términos generales, desde el año 2001, el volcán Rincón de la Vieja ha mostrado cambios notorios en la composición y acidez del lago ácido y las emisiones de gases que están en el cráter activo. Entre los años 2010-2015, el lago ha presentado aguas con una composición aún más rica en especies químicas provenientes del magma y de la roca, lo que indica una mayor interacción entre gas magmático, agua, y roca. Los cambios observados en el lago entre el 2001 y el 2010 fueron seguidos por un incremento sustancial en la actividad volcano-tectónica en el año 2011 que culminó con actividad vigorosa fumarólica y convectiva dentro del lago ácido causando varias erupciones freáticas entre pequeñas y moderadas en agosto-setiembre 2011. Una de las erupciones de setiembre causó un pequeño lahar que descendió por las quebradas Zanjón y Azufrada (afluentes de los ríos Pénjamo y Pizote) afectando la vida acuática, especialmente muerte de un número importante de peces nativos. Más recientemente, entre octubre 2014 y octubre 2015, se ha observado un aumento en la acidez (disminución del pH) y concentración de especies químicas disueltas en el lago. También se observa un aumento en la razón sulfato versus fluoruro que

sugiere la inyección de más gases desde el sistema magmático-hidrotermal hacia el lago. Coincidiendo con estos cambios se han reportado varias erupciones freáticas también pequeñas que han afectado de forma inmediata solo las zonas altas alrededor del cráter activo. Entre abril-noviembre 2015, se ha visto una tendencia al aumento en la actividad fumarólica y freática dentro del cráter activo. El 23 abril 2015 el lago ácido registró 39 °C mientras el 8 octubre 2015 la temperatura fue de 45,7 °C (Fig. 27). Así, variables volcánicas de relevancia como la actividad sísmico-volcánica, la composición del lago ácido, y la temperatura en todos los sectores monitoreados sistemáticamente por el OVSICORI-UNA han presentado fluctuaciones moderadas que han culminado con periodos de erupciones freáticas pequeñas hasta el momento.

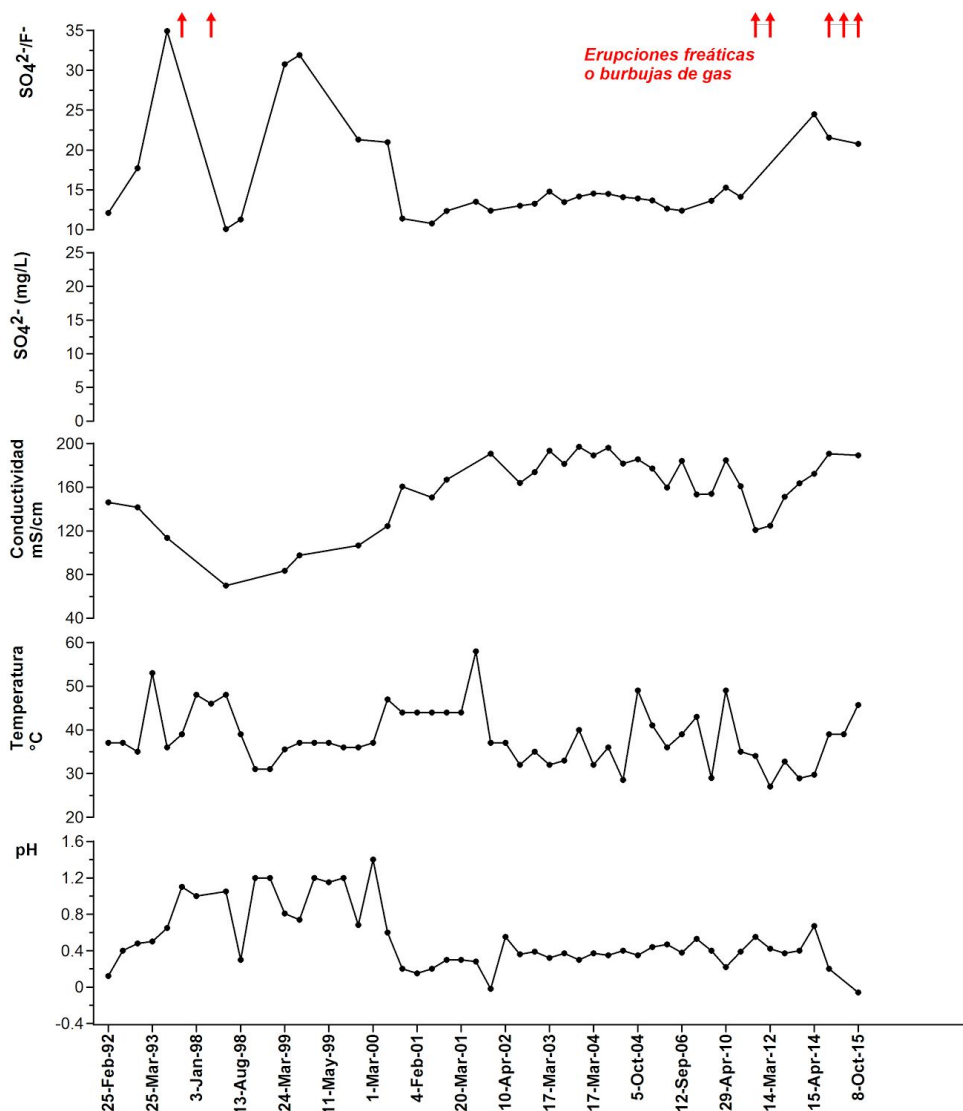


Figura 27. Perfiles de pHLab, temperatura, concentración de sulfato, y las razones sulfato versus fluoruro del lago ultraácido del Rincón de la Vieja en el período 1992-8 octubre 2015. Datos: Laboratorio de Geoquímica Volcánica “Dr. Eduardo Malavassi Rojas” del OVSICORI-UNA.

6.3 V. Rincón de la Vieja: Fuentes termales

6.3.1 V. Rincón de la Vieja: Fuente termal Santuario Sensoria

Entre el 4 y el 16 octubre 2015 se observa un ligero aumento de la conductividad eléctrica en la fuente termal Santuario en Sensoria. Entre el 10 y el 16 de octubre la temperatura presenta fluctuaciones que sugieren aporte de calor hacia el sistema hidrotermal que alimenta el lago ultra-ácido en el cráter activo y las fuentes termales tibias al norte del volcán Rincón de la Vieja (Fig. 28). Por otra parte, los días 9 y 16 octubre 2015 la temperatura de Santuario cayó rápida y drásticamente 2°C y 1°C, respectivamente. Esta disminución abrupta en la temperatura sugiere pérdida rápida de calor del sistema hidrotermal posiblemente mediante convección o explosiones hidrotermales a través del lago ultra-ácido. Sin embargo, la disminución de temperatura como la observada requiere de más estudio para comprender su significado.

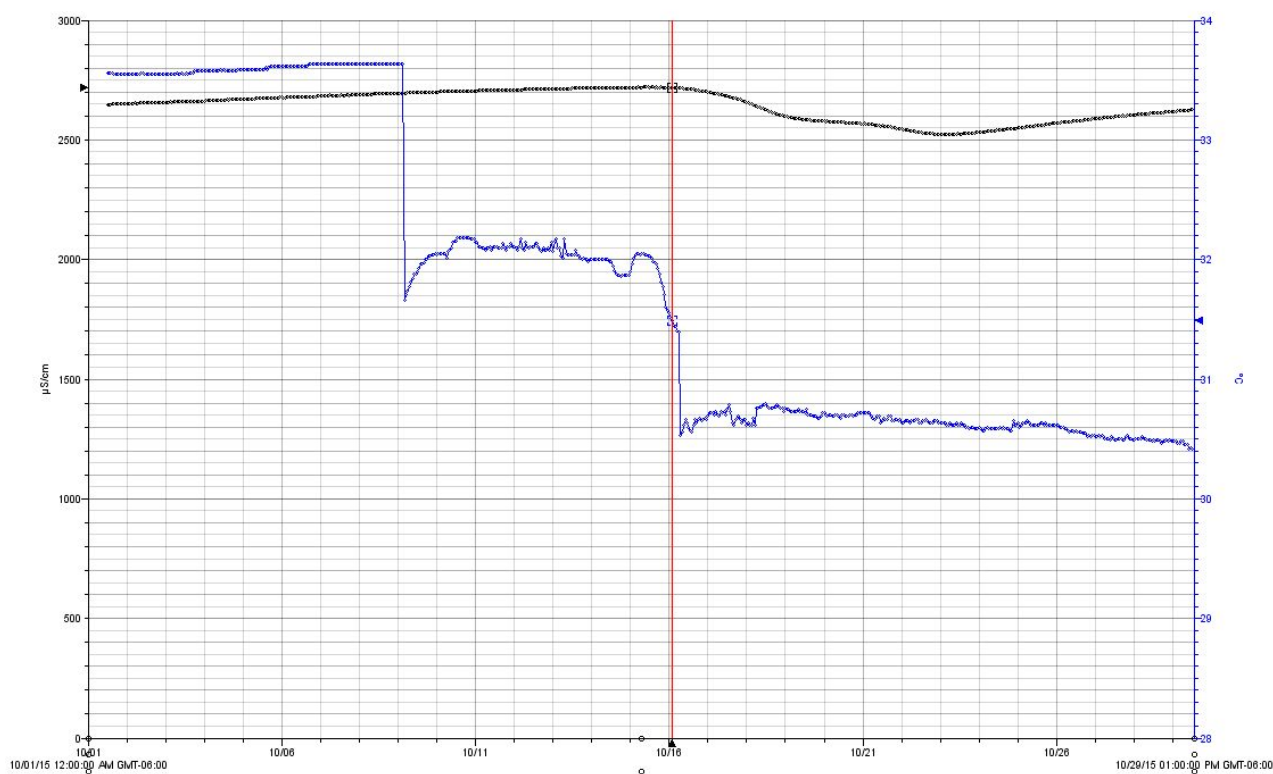


Figura 28. Perfiles de conductividad eléctrica y temperatura de las aguas de la naciente Santuario Sensoria aprox. 4km al norte del volcán Rincón de la Vieja. Datos de temperatura del 1 al 29 de octubre 2015. Información generada en forma conjunta por el OSIVAM-ICE y el OVSICORI-UNA con datalogger HOBO del Laboratorio de Geoquímica Volcánica “Dr. Eduardo Malavassi Rojas del OVSICORI-UNA.

6.3.2 V. Rincón de la Vieja: Fuente termal Blue River

La fuente termal Blue River mostró temperaturas con pocas fluctuaciones alrededor de los 59.7°C en la primera quincena de octubre 2015. Sin embargo, entre el 13 y el 18 oct, la temperatura se mantuvo arriba de los 60°C alcanzando un máximo de 61.3°C ($\delta T = +1.6^\circ\text{C}$) entre el 15 y 17 de octubre decayendo posteriormente en forma sostenida casi 3°C (Fig. 29).

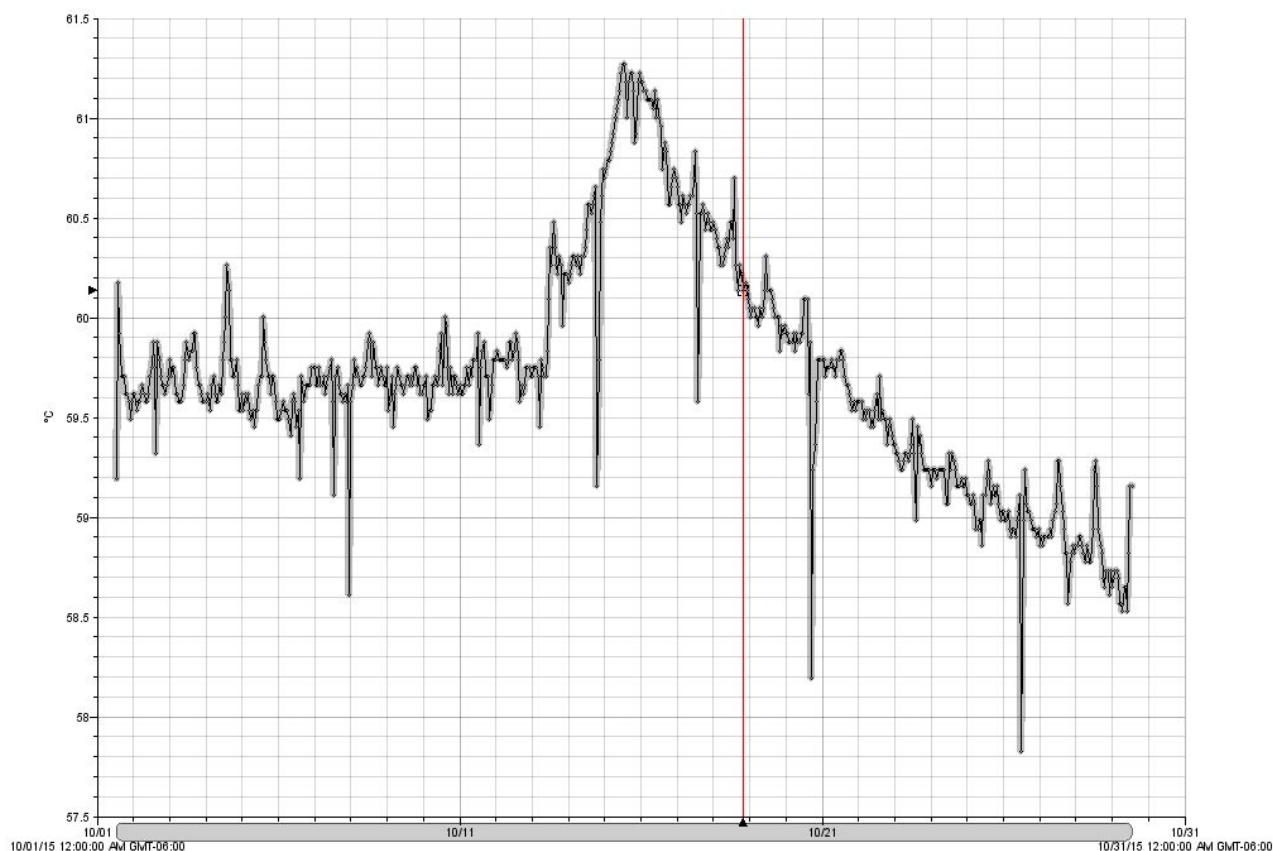


Figura 29. Perfil de temperatura de las aguas de la naciente Blue River 7.5km al norte del volcán Rincón de la Vieja. Datos de temperatura del 1 al 29 de octubre 2015. Información generada en forma conjunta por el OSIVAM-ICE y el OVSICORI-UNA con datalogger HOB0 del Laboratorio de Geoquímica Volcánica “Dr. Eduardo Malavassi Rojas del OVSICORI-UNA.

Este aumento en la temperatura de Blue River podría estar relacionado con el tremor de carácter monocromático de 1300 segundos de duración que culminó con un enjambre de sismos LP (Fig. 24) entre las 6 pm del 15 de octubre y la 1 am del 16 de octubre. Los tremores y sismos LP se asocian al movimiento de fluidos en el sistema magmático-hidrotermal. El decaimiento sostenido de la temperatura de la fuente termal observado posteriormente entre el 15-17 octubre podría deberse a liberación sustancial de calor del sistema hidrotermal mediante explosiones hidrotermales pequeñas y moderadas a través del lago. Obviamente más observaciones son necesarias para determinar definitivamente la posible relación entre las variaciones de la temperatura de la fuente termal, la actividad sísmica y las erupciones freáticas en el lago ácido.

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 a todo el personal del OVSICORI-UNA. En particular, se agradece el trabajo de mantenimiento de los equipos sísmicos en el campo a Daniel Rojas, Antonio Mata y Carlos Sánchez; por el mantenimiento de los equipos y sistemas de comunicación al Maestro Hairo Villalobos; por la instalación y generación de datos de deformación cortical al Maestro Enrique Hernández, y por el mantenimiento de los sistemas informáticos de adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos al Maestro Christian Garita.

Agradecimientos especiales al Geólogo Jorge Brenes por contribuir con lecturas de sismogramas digitales de los volcanes Rincón de la Vieja, Miravalles, Arenal y Poás, localización de sismos en Irazú y Turrialba y discusiones sobre la actividad sísmica en los volcanes. Gracias también a Wendy Sáenz por recolección periódica de muestras de lluvia y fuentes termales en los volcanes así como a los estudiantes de la Escuela de Química de la Universidad Nacional Bach. David Osorno Fallas y Mariela Soto por los análisis químicos de las muestras recolectadas en los volcanes que ellos realizan en el Laboratorio de Geoquímica Volcánica “Dr. Eduardo Malavassi Rojas” del OVSICORI-UNA.

Un reconocimiento especial al grupo del OSIVAM-ICE Bach. Henriette Bakkar, Francisco Arias Ulate, MSc. Waldo Taylor, Luis Madrigal, Dr. Guillermo Alvarado, Carlos Trejos Solano, Dr. Mauricio Mora, Dagoberto Boniche Medrano, y Luis Anchía por su arduo trabajo en el campo recolectando datos, muestras, y dando mantenimiento a instrumentos vulcanológicos en el volcán Rincón de la Vieja. Se extiende agradecimiento a Sensoria “Land of Senses” y a Blue River Resort and Spa por su valiosa contribución al monitoreo e investigación de la actividad volcánica del Rincón de la Vieja.

Bibliografía

Castellón, E., Martínez, M., Madrigal, S., Arias, M.L., Vargas, W.E. 2013. Scattering of light by colloidal aluminosilicate particles produces the unusual sky-blue color of Rio Celeste (Tenorio Volcano Complex, Costa Rica). *PLOS ONE* 8(9).

OSIVAM-ICE, 2015. Resumen preliminar de la actividad volcánica reciente en el Rincón de la Vieja, octubre 2015.

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

- Videos:

http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=79

Áreas de Geofísica y Geoquímica 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

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

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