



# Informe de avance sobre la ACTIVIDAD SÍSMICA Y ERUPTIVA VOLCÁN TURRIALBA: ABRIL - MAYO 2016



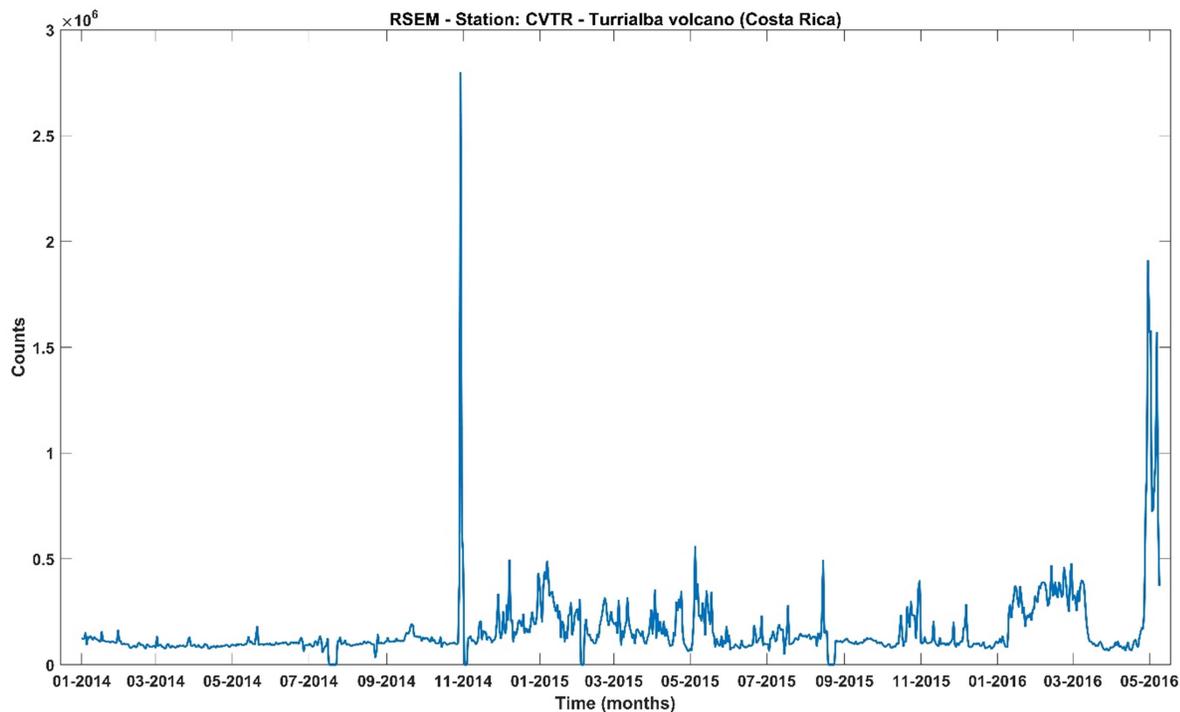
## Informe de avance sobre la actividad sísmica y eruptiva del volcán Turrialba (Costa Rica): Abril-mayo de 2016

Elaborado por: **Dr. Mauricio M. Mora F.**

**Resumen:** Desde 1996, el volcán Turrialba ha mostrado un incremento paulatino en su actividad, el cual se tornó más conspicuo desde el año 2007. Desde entonces se ha caracterizado por una actividad eruptiva cada vez más frecuente e intensa, la cual ha comprendido una etapa de apertura de conductos inicial entre el 2010 y 2012 y 3 ciclos eruptivos entre octubre del 2014 y octubre del 2015, separados por periodos de calma relativa de 2 a 3 meses. El anterior de los ciclos eruptivos tuvo lugar entre el 16 y 31 de octubre de 2015, el cual contabilizó 232 señales sísmicas típicas de eventos eruptivos y algunas emanaciones de ceniza más exhalativas, de las cuales 116 fueron confirmadas visualmente. Esto representa casi 3 veces la suma total de erupciones registrada entre octubre del 2014 y agosto del 2015, la cual fue de unas 78. Luego de este ciclo ocurrieron algunas erupciones entre noviembre y diciembre de 2015 en un contexto de baja sismicidad. Del mismo modo ocurrieron algunas emanaciones de ceniza y pequeñas explosiones aisladas entre enero e inicios de abril del 2016. El presente ciclo eruptivo inicia con una sismicidad intensa a partir del 27 de abril y una emanación prolongada de ceniza el sábado 30 de abril. Durante la madrugada del 1º de mayo inicia una actividad eruptiva de carácter explosivo, la cual se ha prolongado hasta el 6 de mayo con una tasa promedio de 3 erupciones por hora. Los vientos dominantes desde el norte han arrastrado la ceniza hacia el sector sur del volcán.

### VARIACIONES DE LA SISMICIDAD PREVIO Y DURANTE EL CICLO ERUPTIVO DE ABRIL-MAYO DEL 2016

Desde el último ciclo eruptivo ocurrido en octubre del 2015 la actividad sísmica decayó y entre noviembre y diciembre de 2015 ocurrieron algunos incrementos asociados con erupciones aisladas. A partir del 10 de enero y hasta el 12 de marzo de 2016, hubo un incremento sostenido en el nivel de actividad sísmica, generado por temores y un aumento en el número de eventos de tipo VLP (eventos de muy largo periodo) y eventos de baja frecuencia (Figura 1). Luego de este periodo el nivel de actividad sísmica disminuyó. Asimismo se empezaron a registrar eventos de baja frecuencia con cola de temores armónicos de frecuencia fundamental variable.

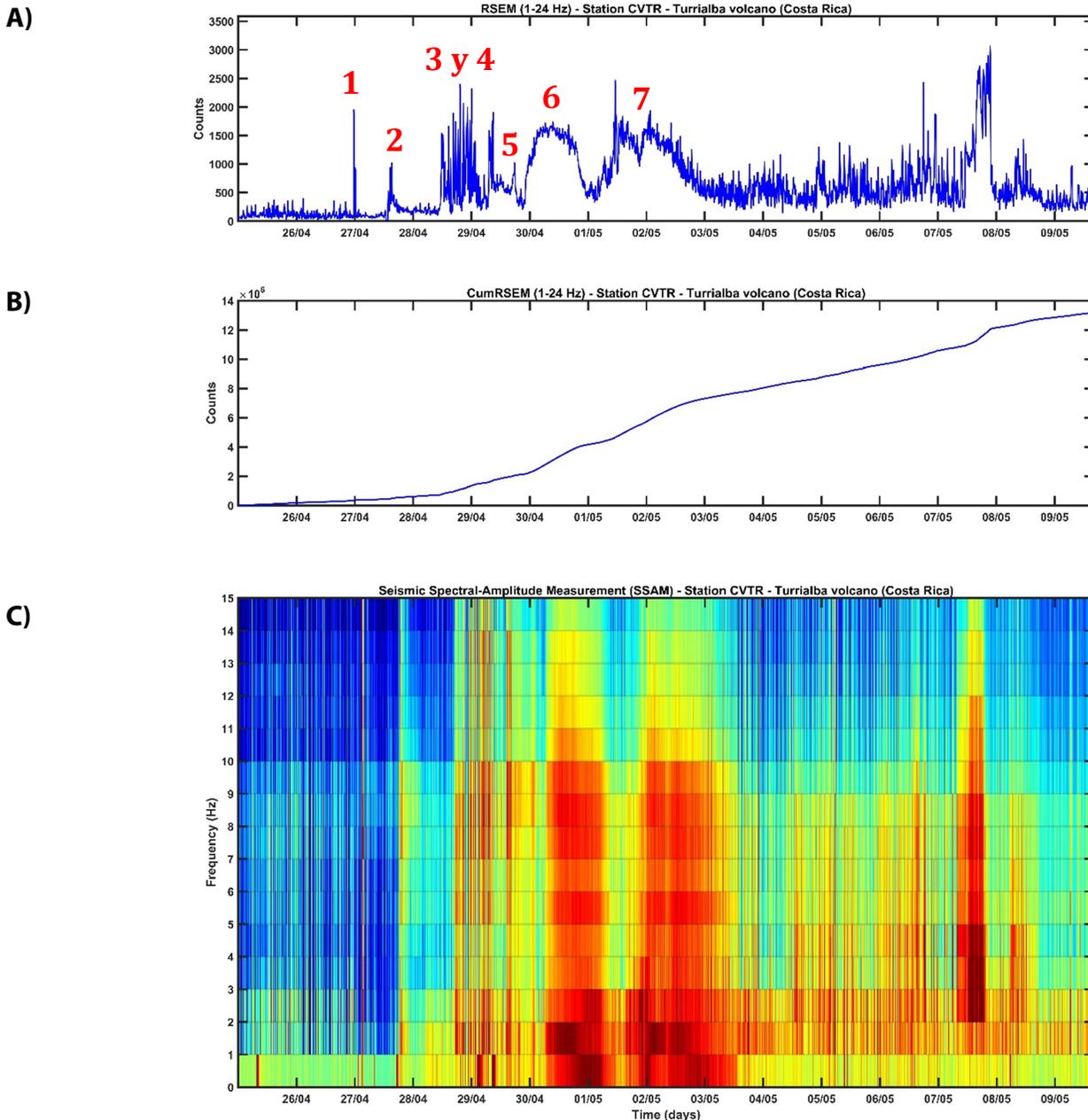


**Figura 1. Nivel de actividad sísmica diario con base en el promedio cuadrático de la amplitud sísmica (RSEM) para el periodo del 2014 a mayo del 2016. Registros de la estación CVTR y CVTC (30 de octubre al 30 de noviembre del 2015) de la Red Sísmológica Nacional (RSN: UCR-ICE). Las partes donde la curva tiene valores de cero significan que no hay datos.**

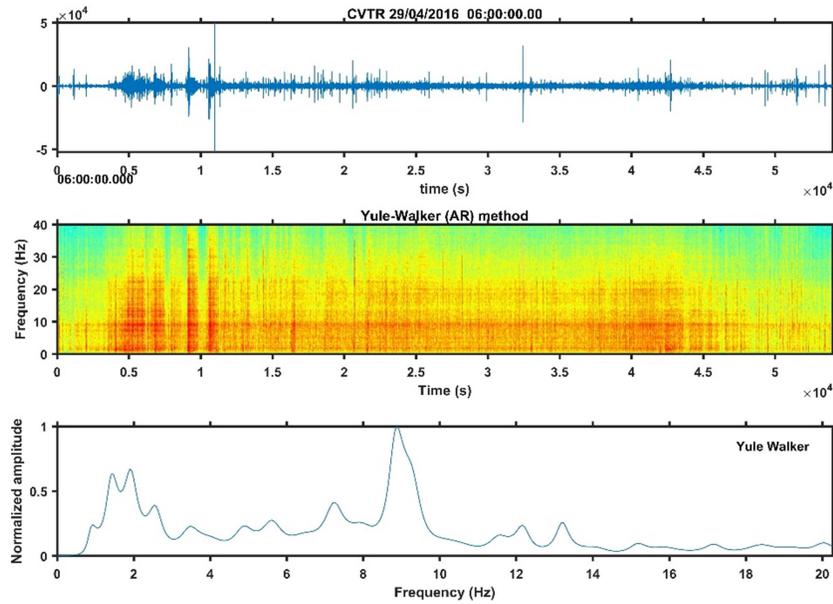
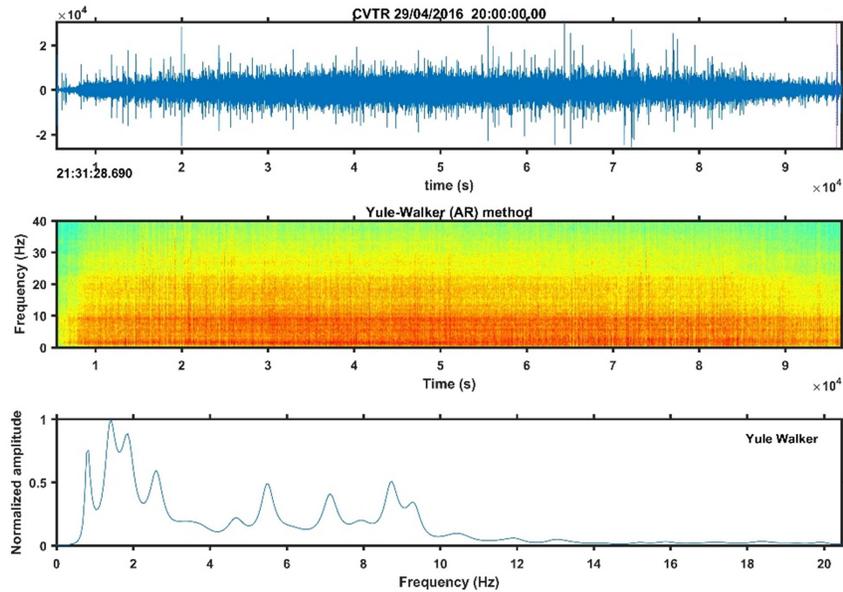
Durante el mes de abril tuvieron lugar al menos 2 enjambres de sismos volcano-tectónicos: el primero alrededor del 15 de abril y el segundo entre las 10:10 p.m. del día 23 y las 12:40 a.m. del día 24. Luego de estos enjambres las variaciones en la sismicidad se pueden diferenciar en 9 etapas (Figura 2), las cuales se describen a continuación (en hora local):

1. **Etapa 1:** Entre las 17:40 y las 19:50 del 26 de abril se registra un enjambre de eventos de doble fase de gran amplitud acompañados de eventos VLP. Luego de este, hay una disminución de la actividad sísmo-volcánica. A niveles mínimos.
2. **Etapa 2:** Se registra un incremento de las señales de baja frecuencia con tremor en la coda y eventos VLP durante el 27 de abril. Entre las 07:00 y las 12 horas se registran aquellas con mayor amplitud.
3. **Etapa 3:** A partir de las 05:00 horas del 28 de abril se incrementa súbitamente el tremor volcánico, con frecuencias entre los 1 y 25 Hz, acompañado por un aumento en la amplitud de los eventos VLP.
4. **Etapa 4:** Entre las 10:28 y las 22:00 del 28 de abril se registran tremores armónicos con frecuencias entre los 0,8 y 1,0 Hz. Se mantienen los eventos VLP.
5. **Etapa 5:** A las 01:09 horas del 29 de abril inicia el primer episodio de tremor de 1-10 Hz de poca amplitud (Figura 3a), pero también con movimientos continuos en el rango de muy baja frecuencia (< 10 Hz), el cual se prolongó hasta la 13:00 horas de ese mismo día. Este episodio se acompañó de una pluma vigorosa de vapor de agua y gases.
6. **Etapa 6:** A las 16:00 horas del 29 de abril inició otro tremor de mayor amplitud que el anterior, con frecuencias dominantes de 1-2Hz, pero también con energía hasta los 10 Hz (Figura 3b). Éste se prolongó hasta las 18:00 horas del 30 de abril (Figura 3a). Poco antes de las 03:00 horas de ese día habría iniciado la emanación de ceniza con base en los primeros reportes de caída de dicho material.
7. **Etapa 7:** Alrededor de las 23:00 horas del 30 de abril, inició un tremor casi armónico con frecuencia dominante entre 1,5 y 2,0 Hz que se mantuvo hasta 09:00 horas del día 4 de mayo. El cese de este tremor fue progresivo, primero disminuyó la energía en altas frecuencias y luego la frecuencia dominante (Figura 3b). En esta etapa también iniciaron las erupciones explosivas durante la

madrugada del 1° de mayo y se prolongaron hasta las 10:00 horas del 8 de mayo a una tasa promedio de 3 eventos por hora, con una breve pausa que inició el 6 de mayo en la tarde y se prolongó hasta la madrugada del 8 de mayo. Durante esta pausa predominaron episodios de tremor de 2-10 Hz, de los cuales el principal se registró entre 05:12 a.m. y las 03:45 p.m. del 7 de mayo. Durante esta etapa se mantienen los VLP, los cuales disminuyeron en cantidad y amplitud durante la tarde del 8 de mayo. Esto marca el fin del ciclo eruptivo.



**Figura 2. A) Promedio cuadrático de la amplitud sísmica (RSEM) calculado con una ventana móvil de 10 minutos. Los números en rojo indican las etapas descritas en el texto. B) curva acumulada del RSEM. C) Promedio de la amplitud sísmica espectral promedio (SSAM) calculado en ventanas de 10 minutos. Periodo del 25 de abril al 09 de mayo de 2016.**

**A)****B)**

**Figura 3. Episodios de tremor correspondientes a las etapas 5 (a) y 6 (b) indicadas en el texto. En ambos se muestra: la forma de onda (arriba); el espectrograma de frecuencia con base en el método de Yule Walker elaborado con una ventana móvil de 5,12 s y un traslape de 2,56 s (medio); el periodograma promediado de Yule Walker (abajo). Figura elaborada a partir del programa de Lesage (2009).**

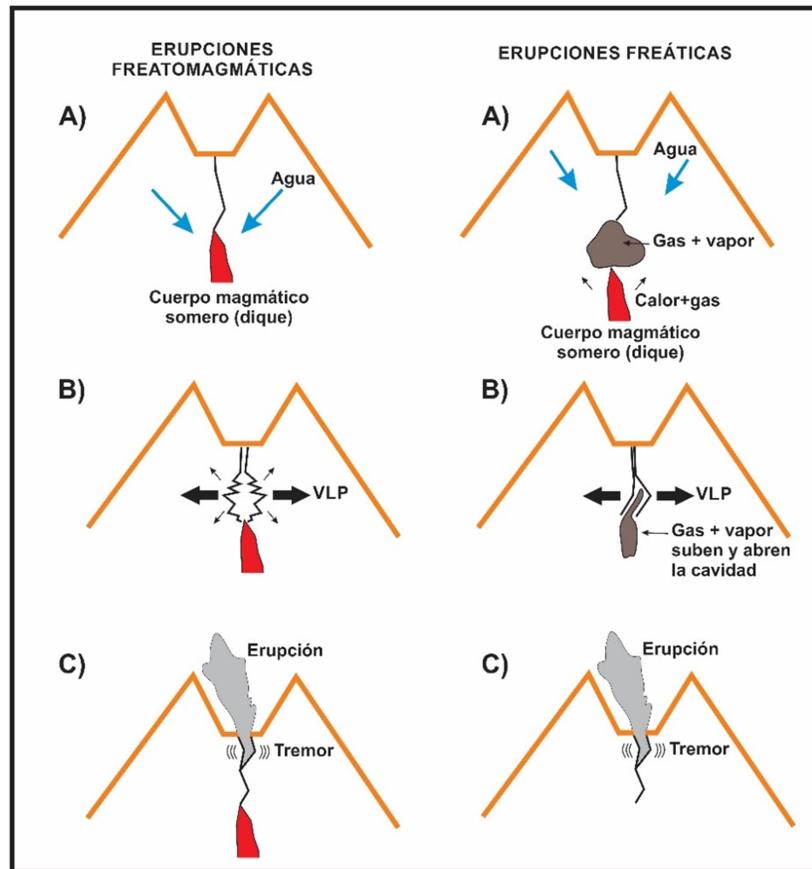
## **Conclusiones: breve retrospectiva e hipótesis preliminares sobre la sismicidad y origen de la actividad eruptiva de abril-mayo de 2016**

Desde 1996, el Turrialba ha mostrado un incremento paulatino en su actividad, el cual se tornó más conspicuo desde el año 2007 y alcanzó un clímax en enero de 2010, cuando ocurrió una crisis freática-fumarólica con erupción de ceniza no magmática a través de una nueva boca fumarólica abierta. A partir de esa crisis, el volcán inició un periodo de actividad hidrotermal intenso, caracterizado por una actividad fumarólica profusa y cambios morfológicos frecuentes producto de la presión del sistema y la fuerte alteración hidrotermal, lo cual propició la erosión y el fracturamiento interno. Lo anterior generó que el sistema se inestabilizara y produjera las subsiguientes crisis freático-fumarólicas entre los años 2011 y 2012. Este despertar habría sido generado por ascenso de nuevo magma, al menos desde el 2007, a niveles someros de la corteza (4-7 km de profundidad) y posteriormente a niveles más superficiales (cerca de los 3 km) de manera que intrusiones cada vez más someras habrían dado origen a las erupciones del 2010-2013 y los posteriores ciclos eruptivos. Este ascenso hasta la superficie es complejo y puede ocurrir a través de pequeños cuerpos (diques) que poco a poco logran abrirse paso, lo que genera una profusa actividad volcano-tectónica y otros tipos de señales, que se ha venido presentando durante los últimos años. Entre la etapa eruptiva del 2014 y la etapa del 2015 se pudo constatar que el pequeño cuerpo de magma habría alcanzado un nivel relativamente somero, lo que propicia dos cosas: 1. Su desgasificación final y explosión, 2. Su interacción con el complejo sistema de acuíferos superficiales (sistema hidrotermal). Lo segundo habría propiciado la relativa alta explosividad de las erupciones generadas principalmente entre octubre y diciembre del 2014, entre marzo y junio del 2015, en octubre del 2015 y el ciclo actual.

Durante la etapa eruptiva de octubre del 2015 y la actual, habrían podido converger dos procesos: 1. En primera instancia el ascenso magmático que ha sido constatado por los diferentes datos (gases, deformación y sismicidad volcano-tectónica dados a conocer por diferentes entes de investigación volcanológica), el cual se daría a través de pequeños cuerpos, tipo diques; 2. Las precipitaciones. En ambos ciclos ocurrieron enjambres de sismos volcano-tectónicos y de eventos de doble fase previos como precursores. Asimismo, durante ambos ciclos se generaron tremores de alta frecuencia muy probablemente asociados con la rápida vaporización del agua, que permitiría su salida a presión, pero que, al haber conductos abiertos, le es posible salir de forma pasiva, lo que propicia la vibración de las cavidades y el consecuente temblor volcánico de alta frecuencia. La diferencia radica en la manera en el inicio del ciclo eruptivo. El ciclo de octubre del 2015 inició con una fuerte erupción, contrario a lo ocurrido en este ciclo, el cual empezó con una emanación pasiva de ceniza que se prolongó por varias horas. Esto podría deberse a condiciones internas del sistema, el cual habría estado sellado antes de octubre del 2015 pero no en el actual ciclo (abierto o semiabierto), por cuanto hubo actividad eruptiva entre noviembre e incluso inicios de abril, lo cual habría propiciado que el sistema se mantuviera relativamente abierto. Esto último podría repercutir en el comportamiento de la sismicidad precursora, ya que para el ciclo de octubre del 2015 el incremento en eventos VLP (muy baja frecuencia) y LF (baja frecuencia) fue muy marcado, contrario a lo ocurrido en el actual ciclo, ya que los eventos VLP y LF estuvieron presentes con altibajos desde enero.

En el contexto anterior, la actividad eruptiva actual podría ser explicada, preliminarmente, por medio de dos procesos (Figura 4): 1. Ascenso de un cuerpo magmático pequeño (dique), 2. Precipitaciones que habrían propiciado la percolación de agua, rápida vaporización, presurización y expansión de volumen del medio fracturado por la interacción directa con una pequeña parte del cuerpo magmático somero, 3. La percolación de agua y rápida vaporización debido a la alta temperatura y genera presión en el extremo inferior de la fisura que conecta con la superficie, la posterior apertura súbita y finalmente la salida a presión del gas y arrastre del material sólido fragmentado en el extremo superior de la fisura. Aunque las erupciones en general fueron de baja energía, tanto en el ciclo de octubre del 2015 como en el actual, sí mostraron cierta explosividad, por lo que la interacción del agua del sistema hidrotermal con el pequeño cuerpo de

magma somero es plausible, lo que favorece el mecanismo freatomagmático para el origen de la mayoría de las erupciones generadas en el presente ciclo. La ceniza oscura vista en las columnas eruptivas y la generación de los pequeños flujos piroclásticos tanto en octubre del 2015 como el ciclo actual apuntan hacia dicha interpretación, así como los análisis de las cenizas efectuados tanto por funcionarios de la RSN, el OVSICORI-UNA e investigadores extranjero (e.g. Martínez et al., 2015).



**Figura 4. Esquemas que muestran hipótesis de mecanismos de origen de las erupciones de los ciclos de octubre del 2015 y el actual de abril - mayo del 2016 en el volcán Turrialba y su relación con la sismicidad observada. En ambos escenarios se muestra: A) Incorporación de agua al sistema hidrotermal somero. B) La presurización y expansión del medio o cavidad que genera el sismo tipo VLP. C) La liberación de la presión que genera la consecuente erupción con el arrastre del material fragmentado. Este material, en el caso freatomagmático, contiene magma fragmentado o juvenil y en el caso freático, contiene sólo material pre-existente y alterado por la acción hidrotermal.**

Durante el presente ciclo eruptivo la afectación se concentró en el flanco sur del volcán Turrialba, debido a la dirección predominante de los vientos desde el norte que prevaleció durante esos días. Esta afectación si bien no es frecuente y obedeció a condiciones climáticas particulares, no es ajena a los estudios de amenaza volcánica del Turrialba y, por lo tanto, era un escenario previsto según los mapas de peligro volcánico elaborados por Soto (2012). La distribución y el consecuente impacto de la caída de ceniza depende de dos aspectos fundamentales: las condiciones climatológicas y, sobretudo, el volumen y tamaño de la erupción. Los dos últimos ciclos eruptivos del Turrialba han generado erupciones relativamente pequeñas. Asimismo, si bien la erupción de octubre del 2014 y las ocurridas entre marzo y junio del 2015 fueron mayores que los últimos dos ciclos, el potencial eruptivo es mayor. Esto considerando que el escenario esperable hasta ahora es uno similar al de la última erupción histórica en el siglo XIX durante la cual generó erupciones mayores y más voluminosas comparadas con las que se han observado hasta el momento. Aunque también está el

escenario de continuar con pequeños ciclos eruptivos hasta que de nuevo entre en reposo. Esto no es posible pronosticarlo, por lo tanto la auscultación constante, el avance en la investigación y la mejora de los sistemas de monitoreo son fundamentales para entender la dinámica del volcán Turrialba.

Todas las etapas de actividad observadas en el volcán Turrialba reflejan un proceso normal de reactivación de un volcán que desde su última erupción en el siglo XIX había estado en reposo (excepto fumarolas y leve sismicidad de fondo) y es de esperar nuevos ciclos eruptivos.

## Referencias

Martínez, M., J. Pacheco, G. Avaró, C. Muller, M. de Moor, A. Garita (2015). Boletín de Vulcanología: Estado de los volcanes de Costa Rica, octubre 2015. OVSICORI-UNA.

Lesage, P. (2009). An interactive MATLAB software for the analysis of seismic volcanic signals. *Computers and Geosciences*, 35 (10), 2137-2144.

Soto G.J. (2012). Preparación de mapas de peligros volcánicos y restricción de uso de la tierra en el volcán Turrialba. Informe final. FUNDEVI. San José, Costa Rica. (p. 186).

## Agradecimientos

Se agradece al Geól. Gerardo J. Soto las sugerencias, comentarios y discusiones que, de forma desinteresada, ha compartido y aportado sobre este, y anteriores informes así, como de la actividad eruptiva. De igual manera, se agradece las discusiones y numerosos intercambios de información y experiencias con el Dr. Javier Fco. Pacheco, Dra. María Martínez, Dr. Cyril Müller, Dr. Geoffroy Avaró, y Dr. Marteen de Moor del OVSICORI-UNA. Estas discusiones han propiciado un crecimiento científico importante. Sin duda alguna, el aporte del Ing. Luis Fernando Brenes, Jean Paul Calvo y el Geól. Wilfredo Rojas Q. para el mantenimiento de la instrumentación, adquisición de datos y conectividad es fundamental, así como el trabajo de la Geol. María Cristina Araya en el mantenimiento de los sistemas de adquisición de la RSN. Este trabajo está soportado por los proyectos de investigación: "Patrones sísmicos: una ventana a la comprensión de la dinámica interna de los volcanes activos de Costa Rica" (N°113-B4-082) y "Geofísica y geodinámica interna del arco volcánico en Costa Rica" (N° 113-B5-A00), inscritos en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. El mantenimiento de la red sísmica a nivel nacional, de la cual las estaciones volcánicas son parte también, es soportado por el proyecto "Vigilancia sísmica de Costa Rica" (N°113-B5-704) también de la Universidad de Costa Rica.

**Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica de la Escuela Centroamericana de Geología,**

**Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José,**

**Apdo. 214-2060, teléfono 2511-4226.**

**E-mail: [redsismologica.ecg@ucr.ac.cr](mailto:redsismologica.ecg@ucr.ac.cr).**

**Sitio web: <http://www.rsn.ucr.ac.cr/>**