



Sismólogo.
Investigador en
el Observatorio
Vulcanológico
(Ovsicori) de la
Universidad Nacional
(javier.pacheco.
alvarado@una.cr).

Historia eruptiva del volcán Turrialba y sus impactos

..... || **Javier Pacheco y María Martínez**



Geoquímica.
Investigadora en
el Observatorio
Vulcanológico
(Ovsicori) de la
Universidad Nacional
(maria.martinez.cruz@
una.cr).

El volcán Turrialba es un estratovolcán, es decir, se ha construido por superposición de capas compuestas por flujos de rocas, lapilli y cenizas y lavas extruidas por un sinnúmero de erupciones acaecidas durante su corta historia geológica (Soto, 2012). Al igual que otros volcanes de la cordillera Volcánica Central, el Turrialba se yergue sobre los depósitos de antiguos y extintos volcanes, cuya base está constituida por los sedimentos de la cuenca de Limón. Este volcán se ubica en el extremo sureste de la cordillera Volcánica Central; sin embargo, está desplazado 10 km hacia el noreste con respecto al eje de ella. El Turrialba comparte la misma base del volcán Irazú, formando un complejo similar al que conforman el volcán Platanar con el Porvenir, el volcán Poás con el Congo y el volcán Barva con el Cacho Negro (Soto, 2012).

En la cima del Turrialba se distinguen tres cráteres bien preservados, y orientados a lo largo de un eje oeste-este, denominados cráter Oeste, cráter Central y cráter Este (Alvarado, 2010). La composición de las lavas más comunes del volcán corresponde a basaltos andesíticos; sin



Volver al índice

embargo, se encuentran también lavas y flujos con composición desde basaltos hasta dacitas (Reagan et al., 2006). Esto significa que el magma ha tenido diferentes tiempos de residencia dentro de una cámara magmática antes de las erupciones, con lavas más diferenciadas y viscosas (dacitas) para mayores tiempos de residencia, y lavas menos diferenciadas y menos viscosas por menor tiempo de residencia (basaltos).

Soto (1988) y Reagan et al. (2006) estudiaron la geología de la cúspide del volcán encontrando evidencia de por lo menos 20 erupciones; de ellas, las seis más recientes ocurrieron en los últimos 3.400 años. La mayoría de estas erupciones explosivas son pequeñas y de origen freático o freatomagmático con volúmenes de productos eruptados de alrededor de $0,03 \text{ km}^3$; sin embargo, se encontró evidencia de una erupción pliniana ocurrida hace aproximadamente 1.980 años, a la que se le calcula un volumen eyectado cercano a $0,2 \text{ km}^3$.

El periodo activo del volcán, ocurrido entre 1864 y 1866, se caracterizó por erupciones freáticas y freatomagmáticas basalto/basalto-andesíticas, flujos piroclásticos y lahares. Las cenizas llegaron hasta Puntarenas y Nicaragua (Reagan et al., 2006). Debido a la poca densidad de población en la región del Turrialba, a la guerra contra los filibusteros en aquella época y a sus consecuencias, existe muy poca información sobre la actividad del volcán. El científico Karl von Seebach (1865) realizó una recopilación de

información al respecto y, también, elaboró un informe luego de un ascenso al volcán en 1865. Tanto antes como después de la actividad de 1864-66, se reporta esporádicamente la actividad fumarólica en los cráteres oeste y central. Incluso se logra rescatar, en un informe del gobernador Diego de la Haya, el avistamiento de actividad fumarólica en 1723.

Hasta la década de 1990, las fumarolas mostraban temperaturas alrededor de 90°C , lo que indica actividad netamente hidrotermal, donde el agua del acuífero superficial es calentada por un reservorio de calor residual del último periodo eruptivo. Entre finales de dicha década y la del 2000, se empezó a registrar cambios importantes en el comportamiento del volcán; las fumarolas aumentaron en número y se volvieron más vigorosas y, además, se registraron importantes enjambres sísmicos cada vez más frecuentes y prolongados (Vaselli et al., 2010; Martini et al., 2010).

A partir de la década del 2000, se evidencian cambios crecientemente dramáticos hasta que, en 2007, se registran numerosos sismos, que podrían estar relacionados con el rompimiento del sello de cuarzo que aísla los gases que se acumulan en una cámara magmática superficial. Este rompimiento permite el ascenso de volátiles magmáticos hacia la superficie, cambiando radicalmente la composición de los gases que escapan por las fumarolas, evolucionando desde una fase dominada por fluidos hidrotermales hacia una fase con componentes magmáticos.



J. Pacheco. Volcán Turrialba visto desde Coliblanco, Capellades, Cartago.

Vaselli et al. (2010) y Hilton et al. (2009) determinan cambios importantes en la composición de los gases en las fumarolas en el período 2001-2009, que reflejan un mayor aporte de gases magmáticos y calor hacia el sistema hidrotermal. Es a partir de este momento que se empieza a divisar desde lejos –desde el valle Central y Turrialba– altas columnas de gas y vapor ascendiendo sobre la cima del volcán. La emisión de gases magmáticos muestra un marcado incremento: El flujo de SO_2 estimado con DOAS móvil fue de apenas 1 tonelada por día en marzo de 2002, y entre 700-1.000 toneladas por día en abril de 2008 (Martini et al., 2010),

En 2009 se acelera el proceso; a mediados de ese año se incrementa la sismicidad (principalmente temblores) y se observa

un aumento paulatino en la cantidad de SO_2 emanado por el volcán (Conde et al., 2013), hasta alcanzar unas 4.000 toneladas diarias. Luego de un corto periodo de relativa calma sísmica observada en diciembre de 2009, el 5 de enero de 2010 se produce la primera erupción freática, arrojando fragmentos de roca, gases y ceniza. La mayoría de las cenizas se precipitaron en las cercanías del volcán, aunque la fracción más fina de la ceniza fue transportada por los vientos hacia el valle Central, afectando el área metropolitana por primera vez (Ovsicori, 2010). El 6 de enero de 2010 el flujo de SO_2 alcanzó el monto de 5.000 toneladas por día (Campion et al., 2012). Otras erupciones freáticas discretas sucedieron en 2011, 2012 y 2013, años en que la actividad sísmica

mostró una disminución general y la emisión de SO_2 se redujo paulatinamente hasta valores alrededor de 300 toneladas por día (Conde et al., 2013).

La persistente emisión de gases magmáticos (principalmente SO_2 , HCl , HF , HBr) ha generado una problemática de acidificación severa del ambiente desde el año 2007. La depositación ácida (seca y húmeda) constante ha generado un proceso rápido de acidificación y alteración de la calidad del aire y los suelos, produciendo muerte de la vegetación (De Bock, 2013), deterioro de infraestructura y afectación de las tierras usadas para las actividades agrícolas y de pastoreo, principalmente en las inmediaciones del Parque Nacional Volcán Turrialba y en el sector oeste del volcán, donde se encuentran las fincas La Central, La Silvia y La Picada. Muchas de estas tierras de pastoreo tuvieron que ser abandonadas por la disminución de la calidad de los pastos y la rápida corrosión de las viviendas, lecherías, cercas y utensilios metálicos. Entre los años 1984 y 1986, la lluvia en La Central y La Silvia registraba un nivel de acidez normal con pH entre 5,3 y 6,4 y razones $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ entre 2,3 y 49,0. Actualmente, entre 2014 y 2015, el pH ha fluctuado entre 2,8 y 3,1 y las razones $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ se mantienen debajo de $\leq 0,5$.

El 29 de octubre de 2014 se inició un cambio radical del comportamiento del volcán Turrialba, marcado por una erupción freática que produjo una columna de cenizas, gas y rocas calientes de aproximadamente 2 km de altura, precedida por

13 horas de tremor continuo de gran amplitud. A partir de este evento, las erupciones freáticas han sido más frecuentes, algunas de ellas han alcanzado aproximadamente 6.000 metros de altura sobre el nivel del mar, lanzando cantidades moderadas de ceniza que se han depositado principalmente al oeste del volcán y el valle Central. Esta actividad ha afectado la salud humana y animal, la ganadería, la agricultura, la industria alimentaria y de bebidas y la producción de otros bienes de valor agregado, e incluso ha obligado al cierre temporal del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.

Las cenizas eruptadas el 29 y el 30 de octubre de 2014 resultaron ser sumamente ácidas (pH entre 3,2 y 4,4) y con un alto contenido de volátiles magmáticos adsorbidos en su superficie (mg del anión/kg de ceniza): fluoruro entre ≈ 400 y 800, cloruro entre ≈ 1.400 y 3.100, bromuro entre ≈ 60 y 120 y sulfato entre ≈ 26.600 y 35.000. En forma grosera, estimamos que el Turrialba erupió en esos dos días 2×10^9 kg de cenizas, lo que equivale a aproximadamente $1,5 \times 10^6$ kg de fluoruro emitido al ambiente (Martínez et al., 2015).

En vista de que los halogenuros presentes en las cenizas son extraídos fácilmente por el agua y son potencialmente tóxicos, es de suma importancia evaluar el grado de exposición y de ingestión de cenizas -o sus componentes- por parte de personas y animales. Igualmente, es imprescindible determinar y vigilar la calidad del agua y los alimentos de consumo humano y animal, principalmente en la



J. Pacheco. Erupción sostenida del volcán Turrialba vista desde la carretera al Irazú.

región comprendida entre los volcanes Turrialba e Irazú, que es donde ha caído la mayoría de la ceniza. La ceniza erupcionada contiene una cantidad significativa de aluminio (entre 1.400 y 5.000 mg Al/kg ceniza), que tiene potencial toxicológico para organismos vivientes. En contraste, contiene también elementos químicos que son beneficiosos para la fertilidad de los suelos y el buen desarrollo de la vegetación, tales como (mg del catión/kg

de ceniza): Na (600-1.300), K (0,5-7,0), Ca (19.000-30.000), Mg (250-900), Fe (20-90), Mn (30-35) y elementos traza como Cu, Cr, Zr, Pd, Zn, Ni.

El comportamiento mostrado por el volcán Turrialba desde 1996 se asemeja a la fase inicial del periodo eruptivo de hace 150 años, de acuerdo a las secuencias estratigráficas de las cenizas y tefras de ese tiempo (Reagan et al., 2006) y a lo descrito por el naturalista von Seebach (1865). Además, sabiendo que en los últimos casi 7.000 años la mayoría de las erupciones de tal volcán han sido freáticas-freatomagmáticas, en la actualidad podría esperarse la ocurrencia de erupción freatomagmática, si el magma logra entrar en contacto con el acuífero su-

perficial del volcán, y repetidas erupciones estrombolianas o vulcanianas por un periodo de al menos un año.

Tales erupciones afectarían los sectores oeste-noroeste próximos al volcán y gran parte del valle Central por caída de cenizas constantes, perjudicando la vida diaria, la operación del aeropuerto, la producción industrial, la infraestructura y el turismo. Además, afectarían a personas con deficiencias respiratorias o

sensibilidad a contaminantes presentes en el ambiente, principalmente niños y adultos mayores, así como animales. La mayor afectación se produciría en los alrededores del volcán, principalmente hacia el oeste (Soto, 2012). Caída de cenizas y flujos piroclásticos podrían impactar áreas hasta a 2 km del cráter activo. Los flujos piroclásticos, producto del colapso de colum-

nas eruptivas, se componen de gases, cenizas y fragmentos de roca (con temperaturas arriba de los 400 °C) que bajan por las laderas de los volcanes a velocidades mayores a 100 km/hora, arrasando y destruyendo todo a su paso.

Los 2 km alrededor del cráter activo del volcán Turrialba fueron declarados parque nacional en 1955, con la misma ley que creó el Instituto Costarricense de Turismo. Hoy el parque cuenta con 1.256,56 ha, terrenos que por ley deberían estar dedicados a la conservación de la naturaleza y, al mismo tiempo, a evitar la construcción de infraestructura en una zona de alto peligro volcánico. Sin embargo, un 78 % de los terrenos están todavía en manos privadas y son utilizados para pastizales y siembra de hortalizas (ACCVC



E. Duarte. Volcán Turrialba

y Onca, 2008). La mayoría de quienes se dedican a la ganadería y la agricultura no son dueños de esas tierras sino subarrendantes.

Entre 2010 y 2014, durante las crisis volcánicas del Turrialba, el Estado dio ayuda material a varias personas a cambio de movilizarse a lugares más seguros donde pudieran desarrollar su actividad productiva. Sin embargo, esas tierras siguen siendo subarrendadas. El Estado no ha hecho lo que debiera: adquirir los terrenos ubicados en el sector con más alto riesgo y más impactado por la actividad volcánica. Los territorios más afectados, incluyendo sectores fuera de los 2 km alrededor del cráter activo, estarán sometidos a los efectos negativos del vulcanismo por varios años más hasta que cese la actividad del Turrialba. Luego de esto, le tomará a la naturaleza décadas regenerar

un ecosistema diverso y saludable. Aun en estas circunstancias, la expansión del área de conservación representaría una gran oportunidad para unir, a través de corredores biológicos, los parques y reservas aledaños al Parque Nacional Volcán Turrialba y cubrir las zonas de más alto riesgo volcánico.

Referencias

- ACCVC y Onca Natural. (2008). *Ministerio del Ambiente y Energía, Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Área de Conservación Cordillera Volcánica Central: Plan de Manejo del Volcán Turrialba*. pp. 96.
- Alvarado-Induni, G. E. (2011). *Los volcanes de Costa Rica: geología, historia, riqueza natural y su gente*. Primera reimp. de la 3ª ed. San José: Euned. p. 267-277.
- De Bock, B. (2013). *Acidification des sols volcaniques en région tropicale: étude de cas au volcan Turrialba, Costa Rica*. Diplome dissertation Université Catholique de Louvain. Belgium.
- Campion, R., Martínez, M., Lecocq, T., Caudron, C., Pacheco, J., Pinardi, G., Hermans, C., Carn, S. & Bernard, A. (2012). Space and ground based measurements of sulphur dioxide emissions from Turrialba volcano (Costa Rica). *Bull. Volcanol* 74, 1757-1770.
- Conde, V., Bredemeyer, S., Duarte, E., Pacheco, J. F., Miranda, S., Galle, B & Hansen, T. H. (2013). SO₂ degassing from Turrialba Volcano link to seismic signatures during the period 2008-2012. *International Journal of Earth Sciences* 1-16, doi: 10.1007/s00531-013-0958-5
- Hilton, D. R., Ramírez, C., Mora, R. A., Fischer, T. P., Furi, E., Barry, P. H. & Shaw, A. M. (2010). Monitoring of temporal and spatial variations in fumaroles helium and carbon dioxide characteristics at Poás and Turrialba volcanoes, Costa Rica (2001-2009). *Geochemical Journal* 44: 431-440.
- Martínez, M., de Moor, J. M., Avard, G., Keizer, M., Berrocal, M., Osorno, D. & Herrera, J. (2015). Magmatic volatiles in ash leachates and environmental impact assessment of the 29-30 October 2014 eruption of Turrialba volcano. *Abstract of Symposium Environmental and Health Effects of Natural Mineral Dusts of the 26th IUGG General Assembly 2015 Prague Czech Republic*.
- Martini, F., Tassi, F., Vaselli, O., Del Potro, R., Martínez, M., van der Laat, R. & Fernández, E. (2010). Geophysical, geochemical, and geodetical signals of reawakening at Turrialba volcano (Costa Rica) after almost 150 years of quiescence. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol 198, 416-432.
- Ovsicori (2010). *Estado de los volcanes enero 2010*. http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=18:2010&Itemid=73 Última consulta: 22 mayo 2015.
- Reagan, M., Duarte, E., Soto, G. & Fernández, E. (2006). The eruptive history of Turrialba volcano, Costa Rica, and potential hazards from future eruptions. *Geological Society of America, Special Paper* 412, 235-253.
- Soto, G. (1988). Estructuras volcano-tectónicas del volcán Turrialba, Costa Rica, América Central. *Actas Quinto Congreso Geológico Chileno, Santiago*. p. 163-175.
- Soto, G. (2012). *Preparación de mapas de peligros volcánicos y restricción de uso de la tierra en el volcán Turrialba. Mapa de peligros volcánicos del volcán Turrialba, informe final*. San José: Fundevi. pp. 183.
- Vaselli, O., Tassi, F., Duarte, E., Fernández, E., Poredda, R. J. & Delgado, A. (2010). Evolution of fluid geochemistry at the Turrialba volcano (Costa Rica), from 1998 to 2008. *Bulletin of Volcanology*, vol 72, 397-410.
- Von Seebach, K. (1865). Volcanes situados al norte de las tierras altas de Costa Rica: Turrialba, Irazú y Tenorio. En: *Karl von Seebach y sus estudios sobre Costa Rica*. San José: Publicaciones del Liceo de Costa Rica n° 9, 1922: 9-28.