

PROCESOS SÍSMICOS Y VOLCÁNICOS EN LOS SIGLOS XVII Y XVIII: CASOS ESPECÍFICOS DE AMÉRICA CENTRAL

Giovanni Peraldo Huertas
Mauricio M. Mora Fernández

Fecha de entrega: 30 de junio de 2015
Fecha de aceptación: 8 de agosto de 2015

Resumen

El objetivo de este trabajo es mostrar cómo el encuentro entre la Historia y la Geología abren conjuntamente una ventana hacia una mejor comprensión de las implicaciones de las manifestaciones geológicas, tales como el volcanismo y la sismicidad, en la cosmovisión de la sociedad, ya que se involucra al ser humano como actor principal de ese complejo marco geológico y social existente en América Central. Nos enfocaremos, desde la sismología histórica, en la compleja relación que existe entre los procesos sísmicos y eruptivos en el contexto de ambientes volcánicos activos, y para ello se revisarán las erupciones del volcán San Salvador (El Salvador) en 1658, la del volcán de Fuego (Guatemala) en 1717, la del volcán Pacaya (Guatemala) en 1775 y la del volcán Irazú (Costa Rica) en 1723.

Palabras clave

Volcanismo, Sismicidad, Actividad eruptiva, Geología

Seismic and volcanic processes in the seventeenth and eighteenth centuries: specific cases of Central America.

Abstract

The aim of this paper is to show how the encounter between History and Geology jointly open a window to a better understanding of the implications of the geological manifestations such as volcanism and seismicity, in the worldview of society, as it involves the human being as the main actor in this complex geological and social framework existing in Central America. We will focus, from the historical seismology, on the complex relationship between seismic and eruptive processes in the context of active volcanic environments, and for that the eruptions of the volcano San Salvador (El Salvador) will be reviewed in 1658, the

volcano Fuego (Guatemala) in 1717, the Pacaya (Guatemala) volcano in 1775 and Irazu (Costa Rica) volcano in 1723 .

Keywords

Volcanism, Seismicity, Eruptive activity, Geology.

Introducción

De todos los procesos geológicos, el volcanismo es el que más asombro y temor produce en el ser humano. Con las manifestaciones ígneas surgen los lamentos de las almas condenadas al fuego eterno, según así lo veían los ojos piadosos del siglo XVI, cuando miraban a través de los terroríficos cráteres que no en vano los creían como verdaderos pasajes al inframundo diabólico. En Nicaragua, los españoles llamaron al volcán Masaya o Popogatepe (que significa en idioma chorotega “*montaña que arde*”) la “boca del infierno”.

Los volcanes desatan, por lo tanto, sentimientos encontrados por la sola vista de su bella, pero al mismo tiempo, peligrosa actividad eruptiva. Los volcanes han sido, por ejemplo, uno de los temas geológicos más utilizados como inspiración en el arte, la numismática, la literatura y el cine de catástrofes. En Costa Rica, particularmente, varios artistas han plasmado la temática de los volcanes en sus obras, como por ejemplo, Lola Fernández, Pedro Arrieta, Roberto Lizano, Rudy Espinoza, Luis Chacón, Emilia Cersósimo y Jacques Quillery. En el mural del Salón Dorado del Museo de Arte Costarricense, el artista francés Louis Feron recrea pasajes importantes en el desarrollo histórico costarricense, uno de ellos, en el que Juan Vázquez de Coronado funda la ciudad de Cartago con el paisaje al fondo de un volcán Irazú humeante. Por otro lado, monedas y billetes de Costa Rica por mucho tiempo lucieron alegorías o imágenes de los volcanes.

En la literatura universal y centroamericana, la temática ígnea ha inspirado obras tales como *El amante del volcán* de Susan Sontag, (DEBOLSILLO, 2013), *La estirpe del volcán* de Rocío Pazos Baldioceda (EUNED, 2002), *Ceniza* de Guillermo Castro Echeverría (EDITORIAL BORRASÉ, 1977) y la muy conocida obra *Los últimos días de Pompeya* del barón E. Bulwer-Litton, la cual ha sido adaptada en numerosas ocasiones para el teatro, cine y televisión. En estas obras, las tramas se tejen en torno al volcán, como telón de fondo necesario para integrar la vida de una sociedad que es de alguna manera impactada en su cotidianidad por la actividad volcánica. Otras novelas recrean fantasías en torno a hipotéticos volcanes que hacen erupción en un género

más de aventura, tal como ocurre en *Una colonia sobre un volcán*, de James Fenimore Cooper (EDICIONES G.P., 1958). El premio Nobel Miguel Ángel Asturias en su libro, *Leyendas de Guatemala* (ALIANZA EDITORIAL, 2011) dedica una de sus leyendas al tópico ígneo en la Leyenda del volcán. Por otra parte, los volcanes son un tópico casi permanente en la obra del escritor nicaragüense Sergio Ramírez de quien destaca su ensayo sobre la cultura centroamericana titulada *Balcanes y volcanes* (EDITORIAL NUEVA AMÉRICA, 1983).

La industria cinematográfica, por su parte, ha explotado de manera frecuente el tema volcánico mientras juega con los temores y el morbo del gran público. Películas tales como “*Volcano*” (1997, el título no tiene traducción al español), “*Miami Magma*” (2011, el título no tiene traducción al español) y “*SuperEruption*” (2011, Súper Erupción) recrean erupciones volcánicas desde una óptica totalmente descontextualizada de la realidad geológica. En la primera surge un nuevo volcán bajo la ciudad de Los Ángeles (Estados Unidos), lo cual geológicamente no es lo más probable al estar en un contexto de límite de placa transformante, en tanto la segunda desafía todo paradigma geológico actual y ubica un volcán bajo la ciudad de Miami (Estados Unidos), donde geológicamente es improbable que esto ocurra. La tercera película es otro desafío más osado a dichos paradigmas y muestra cómo una gran erupción del volcán Yellowstone es controlada por el ser humano a través de medios tecnológicos. Con este tipo de películas se genera un temor gratuito hacia los volcanes y permite que se desarrolle en el gran público una visión distorsionada y aberrante en torno al tema de los volcanes, su actividad y sus consecuencias. La película “*Dante’s Peak*” (titulada en Hispanoamérica como “*El pico de Dante*,” con la excepción de Venezuela donde se tradujo como “*La furia de la montaña*,” año 1997), contrasta en cierta forma con las tres anteriores ya que tiene, al menos, un sustento un poco más realista aunque igualmente peca por mezclar actividad explosiva ácida y efusiva basáltica, lo cual es geológicamente contradictorio. La película tiene lugar en una localidad ficticia ambientada en la cordillera de las Cascadas y se basa parcialmente en las erupciones reales de los volcanes Saint Helens en 1980 y Pinatubo en 1991. Estos aspectos la hacen interesante por cuanto recrea, como telón de fondo de una típica historia “*hollywoodesca*” aderezada con miedos, heroísmos y romanticismos inverosímiles, toda la secuencia de una erupción volcánica explosiva, desde los estadios iniciales en los que se manifiestan signos precursores hasta que se desencadena la erupción. Esta película recrea, particularmente, la ocurrencia de un terremoto concomitante con el inicio de la erupción, lo cual sirve

de condimento para un imaginario colectivo que ve en los procesos sísmicos y volcánicos una estrecha relación y que es, precisamente, el tema que nos ocupa en este artículo desde un enfoque histórico.

Ya sea entonces por la tradición, la religión, las creencias, las leyendas, la literatura o el cine, los habitantes que conviven con las manifestaciones candentes de las entrañas terráqueas, han llegado a tejer en su imaginario individual y colectivo gran cantidad de explicaciones no formales y saberes populares en torno a estos ardientes colosos y sus procesos. En Costa Rica, por ejemplo, la cognición popular de “*vena volcánica*” elude a una serie de ramificaciones volcánicas subterráneas que se extienden bajo cualquier lugar, la cual se ha usado y se usa todavía para explicar el origen de las fuentes termales o bien el origen de los sismos. También se utilizó en documentos científicos oficiales, tal y como sucedió en 1889, cuando el entonces director del Instituto Físico-Geográfico de Costa Rica, el Dr. Henry Pittier usó el concepto de manera solapada y sugiere que el volcán Poás “...*tenía gran parte de la culpabilidad...*” por la ocurrencia del Terremoto de Fraijanes (Alajuela, Costa Rica) el 30 de diciembre de 1888. El concepto de “*vena volcánica*” se le haya mencionado también en Chile, por ejemplo, en escritos científicos como el de Huidobro (1862), quien hace una discusión muy interesante sobre la relación sismos-volcanes y se pregunta si “...*La ruptura de una vena volcánica por la fuerza expansiva de los gases, ¿puede ocasionar un movimiento?...*” a lo cual responde negativamente. Sin embargo, en sus conclusiones deja entrever diferencias entre la sismicidad percibida en Chile y su relación o no con las erupciones volcánicas, al indicar que “...no puedo dejar de admitir que aquellos temblores que preceden las erupción de los volcanes i que se circunscriben su reducido espacio, sean producidos por ellos; pero de ninguna manera los que se estienden a tanta distancia i los que nos asaltan en Chile.” Podemos ver cómo el autor hace una diferencia entre la sismicidad que ocurre por los procesos de subducción y que generalmente es de gran magnitud y es percibida en una gran área, de la que tiene lugar próxima o en los volcanes y que actualmente entendemos que es generada por fallamientos corticales y rupturas en el interior de los macizos volcánico, muchos de los cuales son en efecto, volcánicos, o bien disparados por el esfuerzo diferencial del magma en el sistema tectónico. El concepto de vena volcánica se utilizó también en crónicas no especializadas de épocas pasadas como la de Wilhelm Marr, quien en su “*Viaje a Centroamérica*” en 1863, describe que “...*La*

situación o la dirección de las aberturas de los cráteres en los países del sur de Centroamérica señalan, por lo tanto, exactamente el curso de la gran vena volcánica que rodea el mar Caribe por las Antillas.” En este caso en particular, la descripción posee un trasfondo más realista por cuanto el autor describe con ese concepto una génesis común para los volcanes de América Central, lo cual, entre los años 50 y 60 del siglo XX se vendría a entender como una zona de subducción dentro del paradigma de la Tectónica de Placas. En los casos anteriores el trasfondo del concepto de vena volcánica es más ficticio.

El objetivo de este trabajo es mostrar cómo el encuentro entre la Historia y la Geología abren conjuntamente una ventana hacia una mejor comprensión de las implicaciones de las manifestaciones geológicas, tales como el volcanismo y la sismicidad, en la cosmovisión de la sociedad, ya que se involucra al ser humano como actor principal de ese complejo marco geológico y social existente en América Central, tal y como lo señalan Peraldo y Mora (1995). Nos enfocaremos en la compleja relación que existe entre los procesos sísmicos y eruptivos en el contexto de ambientes volcánicos activos, y para ello se revisarán las erupciones del volcán San Salvador (El Salvador) en 1658, la del volcán de Fuego (Guatemala) en 1717, la del volcán Pacaya (Guatemala) en 1775 y la del volcán Irazú (Costa Rica) en 1723. Estas erupciones fueron analizadas por Peraldo y Mora (1995) desde un enfoque de la amenaza volcánica y la influencia que tienen los procesos volcánicos en el desarrollo sociocultural, y por Peraldo y Montero (1999) desde un enfoque de la sismología histórica. La erupción del volcán San Salvador de 1658, particularmente, ha sido relatada por Lardé (1960), Feldman (1994) y recientemente por Peraldo (2014). La erupción del volcán de Fuego de 1717 y la sismicidad ocurrida ese mismo año es analizada por Peraldo y Montero (1996) y Hutchison et al. (2014). Se incluye además, el caso de la historia reciente de la erupción del volcán Arenal (Costa Rica) en 1968, a partir de información de Sáenz (1977), Alvarado (2011), Alvarado et al (2006) y fuentes hemerográficas de la época, la cual provee un marco de referencia para comparar la actividad volcánica y sísmica histórica analizada ya que se cuenta con datos más precisos de ella, y además presenta similitudes interesantes, desde el punto de vista del proceso eruptivo, con los casos de los volcanes San Salvador y Pacaya. La **figura 1** muestra la ubicación de los volcanes así como las poblaciones que se citan en el texto.

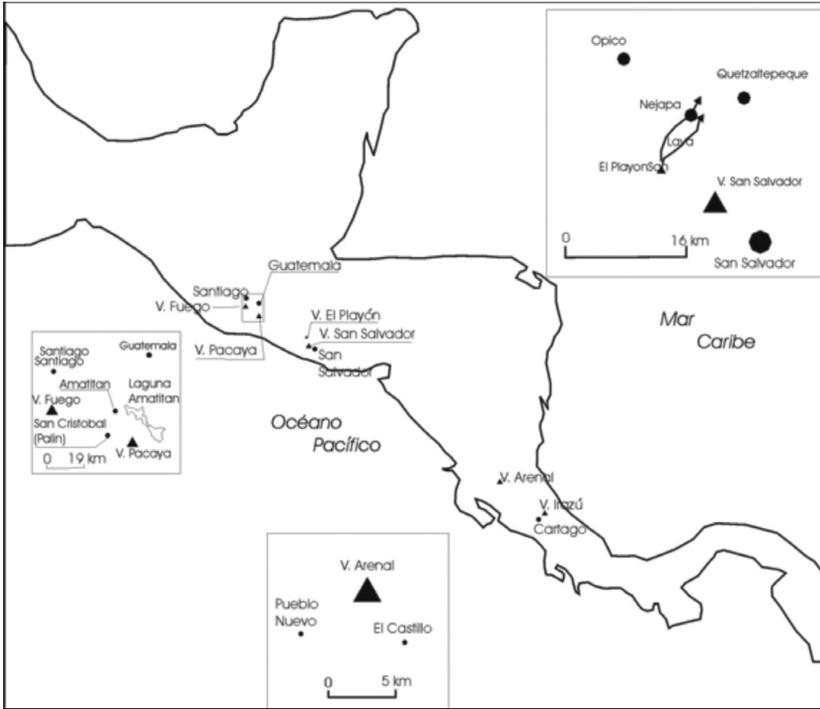


Fig 1: Ubicación de volcanes y poblaciones que se citan en el texto.

Historia, geología y sismología

A inicios de la década de 1990, la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica fue sede de una investigación sobre sismicidad histórica en América Central, que representaba la oportunidad única de construir el conocimiento a partir de fuentes documentales primarias ubicadas en el Archivo General de Indias (Sevilla, España), el Archivo General de Centro América (Guatemala) así como otros archivos eclesiásticos y hemerográficos en Costa Rica. En ese entonces, la historiadora Claudia Quirós Vargas, quien participó en esa pesquisa documental, decía que *“En el marco, tanto de la coyuntura social, que con carácter de catástrofe origina la ocurrencia de terremotos, como el de la consecuente búsqueda de soluciones a dichos problemas sociales, se produjo un necesario encuentro entre la Historia y la Geología.”* (Quirós, 1992). La historia aporta, entonces, la

metodología inicial necesaria para una investigación que usa fuentes documentales primarias y extrae evidencias que se pueden denominar “no tradicionales en geología” que permitan a la geología interpretar los procesos sísmicos. La incursión desde la geología en la sismicidad histórica implica el desarrollo de habilidades tales como saber buscar, leer e interpretar en función del momento histórico en el que se originó el documento y extraer la información de interés geológico que se requiere. También se debe aprender a confrontar diversos discursos documentales con el fin de extraer los aspectos que a veces no son evidentes o bien eliminar las distorsiones producidas por las percepciones, interés o política. Es acá donde debe intervenir la persona especialista en historia.

Mediante una metodología adecuada se pueden conocer datos explícitos tales como daños, percepción del evento, área de impacto y de percepción, y efectos colaterales en la sociedad impactada, a partir de los cuales se hacen cálculos empíricos de magnitud, profundidad e intensidad sísmicas. Adicionalmente se puede rescatar información implícita dentro del discurso documental, como por ejemplo información sobre daños o sobre el proceso sísmico que pudieron ser manipulados al servicio de intereses particulares. Es por ello que, en este punto, Quirós (1992) reflexiona y advierte: “...los geólogos y sismólogos no se limitan a registrar fríamente cada evento sísmico, su origen, área epicentral, intensidad, etc., como si se tratara de un fenómeno aislado de la sociedad; precisamente aquí radica la importancia que tiene la Sismicidad Histórica para el científico social, al insertar a la sociedad como protagonista del drama que genera cada terremoto o cada evento sísmico.”

Siguiendo a Quirós (1992), Peraldo (2013) define sismicidad histórica como el estudio de la evolución de los escenarios de riesgo sísmico desde el enfoque teórico de sistemas abiertos, en otras palabras sistemas que interactúan y se modifican. Realmente no podemos separar el estudio del sismo de la comprensión del escenario de riesgo histórico, pues ambos elementos están íntimamente relacionados, en tanto debemos entenderlos como espacios sociales en constante evolución, lo que significa que si analizamos la sociedad actual, debemos hurgar en su pasado para comprenderla dentro de esa dimensión temporal.

Fuentes de información utilizadas y método de trabajo

Para este artículo se utilizaron las fuentes documentales procedentes de información primaria localizada en los fondos Audiencia de Guatemala del Archivo General de Indias (Sevilla, España) y en el Archivo General de Centroamérica (Ciudad Guatemala, Guatemala), extractados por Claudia Quirós y Giovanni Peraldo en 1992. Los documentos provenientes de estos archivos son, en general, ricos en detalles, lo que refleja la aguda observación de las personas que se interesaron profundamente por lo que describían. La información para cada volcán se organiza en el **Apéndice 1** y la información contenida en él soporta la descripción de los procesos que se analizan, información referente al inicio y la evolución de los procesos sísmicos o volcánicos, sus características, entre otros. También se investigaron en fuentes secundarias (relatos, crónicas de viajeros, recopilaciones de información sísmica y volcánica, documentación científica, entre otras) que hacen referencia a información relativa a las erupciones y los eventos sísmicos. Sisniega Muñoz (2006) provee una valiosa y completa transcripción de testimonios recabados por el notario Don Joseph Garín para los eventos de 1717 y que están contenidos en el legajo 305 del Archivo General de Indias de Sevilla, España y de la cual extraemos algunos pasajes importantes.

La primera parte del trabajo consistió en extraer y poner en orden cronológico los pasajes que hacían referencia a la actividad sísmica y volcánica. En ese punto es que surgen las fuentes de incertidumbre, las cuales conviene aclarar. La primera consiste en la determinación de las horas en que ocurría cada proceso, por cuanto se debe considerar que: 1) los documentos históricos corresponden con comunicados que hacían los escribanos a las autoridades superiores, ya sea políticas o eclesiásticas, sobre los acontecimientos y no necesariamente eran testigos de esos procesos, sino fuentes secundarias (algunas elaboradas por escribanos alejados del sitio de actividad geológica); 2) las dificultades de comunicación de la época, donde generalmente grandes áreas afectadas estaban casi deshabitadas; 3) la poca precisión en la medición del tiempo, por ejemplo medido en avemarías o credos; 4) problemas inherentes a las percepciones de los actores, entre otros. La segunda fuente de incertidumbre proviene de la reconstrucción de la geografía histórica, donde: 1) La ubicación de algunas poblaciones se torna complicada porque ya no existen o fueron trasladadas, 2) las

referencias a la nomenclatura de rasgos geográficos esenciales como los volcanes o poblados, mismos que no corresponden a como se conocen hoy en día, 3) errores generados por los escribanos, 4) errores provenientes de la transcripción de los documentos originales por parte de la persona investigadora, entre otros. También juega un papel importante el manejo de las distancias, lo cual se hacía antiguamente por medio de la “legua” que generalmente rondaba entre los 4 y 7 km. La RAE (2014) define la legua en 5572,7 m según el sistema antiguo español.

La segunda parte de la investigación consistió en la reconstrucción e interpretación de los procesos geológicos a la luz del conocimiento actual y según el contexto histórico en que fueron descritos los eventos.

Reconstrucción histórica de las erupciones. Erupción del volcán El Playón en 1658

Actividad volcánica

La erupción inicia el 3 de noviembre de 1658, pero no hay claridad en la hora, por cuanto de los documentos solo es posible establecer un rango entre las 11 a.m. y las 2 p.m. de la tarde. La erupción tuvo lugar en el cerro El Playón (**ver figura 1**) cercano al volcán San Salvador, y se interpreta a partir de la documentación que esta fue antecedida por un desprendimiento de una parte del flanco noreste que generó una avalancha cuyo flujo, según se indica, se habría dirigido cerca de Opico. Este evento había sido interpretado por Peraldo y Mora (1995) como la destrucción del cono producto de las erupciones, lo cual no es muy preciso. Geomorfológicamente, el cerro El Playón se encuentra desportillado hacia el noreste, lo cual denota que hubo un gran deslizamiento de ese sector. Por lo tanto, no es claro que la avalancha producto del desprendimiento del flanco del volcán se haya dirigido al nor-noroeste tal como las fuentes refieren, hacia donde se encuentra Opico con respecto a El Playón. Esta incongruencia tampoco es posible resolverla por cuanto solo un texto hace referencia a ese suceso.

La actividad eruptiva continuó entre las 10 p.m. del 3 de noviembre y la medianoche del 4 de ese mes. Para entonces ya se habrían formado, al menos, 6 nuevos cráteres, aunque los documentos no precisan en cuánto tiempo sucedió. Estos cráteres se formaron en dirección sureste del cerro El Playón, es decir, en dirección a la cúspide del volcán

San Salvador. De ellos solo quedaría uno activo, que se interpreta que sería la “boca” que alcanzó la mayor altitud sobre el flanco nor-oeste del volcán, por cuanto se veía activa desde varios puntos. Es posible que la actividad alcanzara el cráter cuspidad del volcán San Salvador, pues se decía que “la llama” se podía observar desde la ciudad de San Salvador, lo cual no sucede con el cerro El Playón (**figura. 2 a**). Un tercer pulso eruptivo, se habría dado el 4 de noviembre entre las 10 a.m. y las 11 a.m., el cual no habría sido tan explosivo como los anteriores, ya que la población de Opico no se percató sino hasta que salió de la iglesia. La actividad eruptiva se habría prolongado hasta mediados del mes de diciembre según se desprende de los documentos.

Uno de los principales procesos asociados con esta erupción y descritos en los documentos es el flujo de lava que avanzó bifurcada en dos direcciones: la primera hacia el Noreste, hacia el pueblo de Nejapa y la segunda hacia el Noroeste, en dirección al pueblo de Opico. En Peraldo y Mora (1995) así como en Lardé y Larín (1978), se indica que el pueblo de Nejapa fue rodeado por esta colada de lava. Sin embargo, en el análisis de los documentos se desprende una descripción interesante que deja entrever que la colada de lava habría podido impactar Nejapa directamente, aunque no queda claro tampoco si la destruye por completo: *“Luego sucesivamente vino labrando por toda la falda del volcán cogiendo para abajo pasó diez leguas dejando las sabanas en mal país; de tal suerte que llegó a la orilla del Río Nejapa, y de tal suerte que pasó todo el camino real del pueblo de Nejapa pasó el río y serró el camino...”*(Archivo General de Centroamérica, A1.1, Exp.2, Leg. 1). Otro efecto secundario producto de la colada de lava fue el represamiento del “Río Nejapa”, actual río Sucio, lo que formó posteriormente una laguna (Lardé y Larín, 1978; Ferrés et al., 2011).

Actividad sísmica

De los documentos se desprende que durante la mañana del 3 de noviembre de 1658 hubo actividad sísmica precursora de la erupción volcánica que luego aumentó. Empero, no es posible elucidar si el aumento fue en el número de eventos sísmicos, en su magnitud o en ambos. Los documentos nos hablan también por un lado, que hubo un sismo importante que acompañó el inicio de la erupción entre las 11 a.m. y el mediodía del 3 de noviembre, en tanto que otros pasajes de los documentos se refieren a uno o varios temblores entre la 1 y las 2 pm. Uno de ellos es más específico e indica que luego

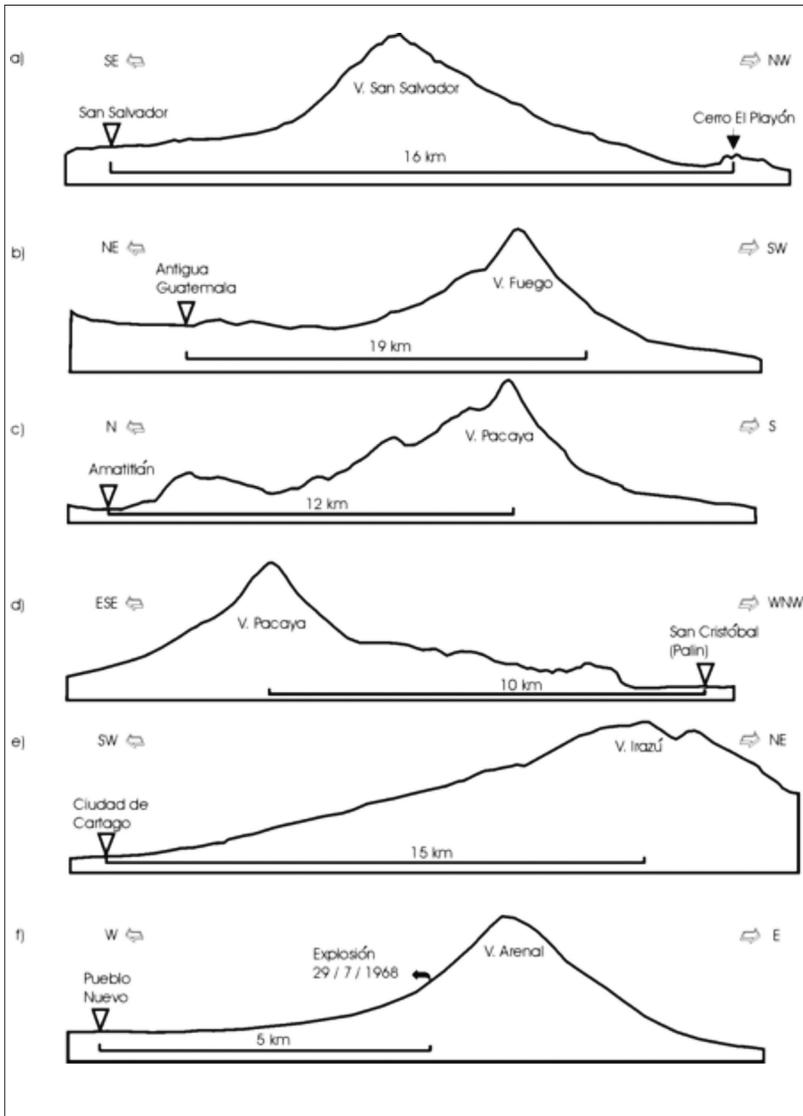


Fig. 2: Perfiles de los volcanes descritos en el texto
Muestra la distancia a las poblaciones citadas.

de un sismo grande a eso de la 1 pm se suceden otros, así como la actividad eruptiva. Se desprende de ello una incertidumbre de unas cuatro horas en torno al inicio, tanto de la erupción, como del evento sísmico concomitante.

Seguidamente en los documentos se habla de un terremoto a las 10 p.m. de la noche del 3 de noviembre, sin que se asocie actividad eruptiva alguna. Al respecto habrían dos posibilidades: 1) la hora está equivocada por ser una fuente basada en un testigo no presencial y por lo tanto corresponda con la erupción de la medianoche; 2) cabe la posibilidad de que se tratara de un sismo volcano-tectónico de magnitud moderada (se desprende del texto que fue corto, pero fuerte) y que pudiera ser precursor de la fase eruptiva reportada a eso de la medianoche que acompañaría la segunda erupción y generaría daños en la ciudad de San Salvador.

En cuanto al impacto de la sismicidad en la ciudad de San Salvador, es interesante que en las descripciones no se le dé tanta importancia al primer sismo ocurrido entre las 11 y las 3 pm, lo cual sugiere que la primera erupción no habría sido tan grande, lo que representaría una ruptura parcial del conducto. Es posible, eso sí, que el sismo pudiera haber generado daños parciales en la ciudad de San Salvador. A esto se agrega también la poca claridad sobre los daños generados por el segundo sismo ocurrido a las 10 la noche, el cual es descrito que ocurrió de manera instantánea y que si hubiese durado más tiempo (“un credo mas”) hubiese derribado templos y casas. En contraste, para el evento de la medianoche se indica que habría derribado edificios y casas. Cabe la posibilidad, en suma, que los daños en la ciudad de San Salvador podrían haber sido severos y parciales, de manera que eventualmente algunas estructuras como casas cayeran pero no al punto de destruir completamente la ciudad. Asimismo, por la descripción de los hechos, la hipótesis de que el sismo de las 10 de la noche fuera diferente y un precursor de la actividad de la medianoche es más probable.

Erupción del volcán de fuego en 1717

Actividad volcánica

En los documentos se reporta que desde la ciudad de Santiago (actualmente Antigua Guatemala) durante la mañana del 27 de agosto de 1717 el volcán empezó a “humear” más de lo que lo venía haciendo previamente, lo cual sugiere que desde hace algún tiempo ya había desgasificación y que esta iba en aumento (**figura 2 b**). Más tarde, a eso de las 7 de la noche del 27 de agosto de 1717 se habría iniciado la erupción, la cual *va in crescendo* hasta que entre la medianoche y la 1 a.m. del 28 de agosto de 1717 alcanza un clímax. Posteriormente, la actividad eruptiva disminuye, pero se mantiene todo el día 28 de agosto hasta que un nuevo pulso eruptivo, posiblemente mayor que el inicial, tiene lugar

después de las 6 p.m. y seguidamente continúa con altibajos hasta la media noche. De los textos se desprende que la actividad continuó hasta el día 29 de agosto de 1717, por lo menos durante la mañana. Los testimonios recogidos en la época por el notario Joseph Garín, contenidos en el Legajo 305 del Archivo General de Indias (Sevilla, España) y transcritos por Sisniega Muñoz (2006) contienen una riqueza descriptiva que permite confirmar esta secuencia eruptiva. De estos documentos se extrae el testimonio don Joseph González Batres, vecino de la ciudad de Guatemala, quien describe lo siguiente:

“...que la noche del día veinte y siete de Agosto passado de este año vio desde la Ciudad de Guatthemala donde se hallaba, que desde prima (sic) noche empezó uno de los volcanes de fuego a-ercharlo lentamente, y a la una de la medianoche tanto que parecía querer consumir el anvito que tiene la Ciudad y toda su comarca, que como a las tres de la madrugada paró, y se mantubo todo el día con obscuridad de nubes y humo hasta que puesto el sol a-veinte y ocho de d.ho mes de Agosto se descubrió el fuego con mas orror, y abundancia que la noche antessedente, pues del que arrojaba para avajo en ruedo piedras y llamas, que-endezaba para la Región parecía un volcan sobre otro todos de insendios los que pasaron a-las diez oras dela noche, interpu- estas oraciones, patente en ambas noches...volviendo dicho volcan a-el arrojio de-sus llamas con mas fuerza cerca de las cinco de la mañana del día Domingo veinte y nueve de dicho mes...”(Archivo General de Indias, Gobierno de Guatemala, Legajo 305).

En forma más resumida, pero contundente, el capitán don Miguel de la Barrera también vecino de la ciudad de Guatemala describió:

“...Dijo que vio echar fuego el volcan de-este nombre, las noches de-veinte y siete y veinte y ocho de Agosto passado de-este año, y la madrugada del día veinte y nueve con-tal violencia en tres ocasiones que juzgaron todos acavaria con la Ciudad...”(Archivo General de Indias, Gobierno de Guatemala, Legajo 305).

Las descripciones sobre actividad volcánica durante el mes de septiembre sugieren que esta habría disminuido considerablemente, lo cual es soportado por uno de los textos que describen que todavía para el 19 de septiembre el volcán seguía “echando humo” pero que agradecían a Dios por haberlos librado del fuego. Sin embargo, en el siguiente extracto es posible también suponer que la actividad volcánica y sísmica se habría prolongado hasta el mes de noviembre de 1717, según el testimonio del mismo capitán don Miguel de la Barrera el cual indica lo siguiente:

“...y hasta oy seis de Noviembre se-an-ido repitiendo tres espacios de movimientos de la tierra una de temblores ordinarios, otra de Bramidos del volcan que tambien hazen mover la tierra y causan grande orror a-los havitadores...” (Archivo General de Indias, Gobierno de Guatemala, Legajo 305) y más adelante agrega: “...que hizo el de fuego con su vorasidad despidiendo de si inexplicable porcion de-matheria, a aviendo consumido con su fuego por espacio de mas de dos meses, quanta matheria es capaz de quemarse...” (Archivo General de Indias, Gobierno de Guatemala, Legajo 305).

Actividad sísmica

La riqueza descriptiva plasmada en los documentos permite distinguir diferentes tipos de sismicidad durante el mismo periodo en que ocurre la actividad eruptiva del volcán de Fuego. En primera instancia, de forma concomitante con los episodios eruptivos, se describen vibraciones continuas y lentas, acompañadas de estruendos, que estremecían las puertas y ventanas, incluso las casas y la catedral. Los reportes relativos a estas trepidaciones continuas se extienden hasta el 18 de agosto de 1717. Para el día 5 de septiembre de 1717 se describen varios temblores desde antes de las 04 de la madrugada y hasta la noche de ese día. Estos temblores se describen como largos y no hay actividad eruptiva que se haya reportado simultánea con ellos. Posteriormente, la actividad sísmica disminuyó. El 29 de septiembre se describen tres sismos sucedidos en un intervalo de unos 15 minutos. Los primeros dos no son tan fuertes con respecto al tercero, al cual atribuyen los daños más importantes en la ciudad. Para el domingo 3 de octubre de 1717 se describe un sismo largo que generó movimientos hacia los lados.

Erupción del volcán Irazú en 1723

Actividad volcánica

Esta erupción la estudia Alvarado (1993) en su tesis doctoral. En este artículo se hará un extracto de lo que fue esta erupción, pues es importante su reseña por la actividad sísmica asociada. La erupción empezó el día 17 de febrero, cuando a las 3 de la tarde desde la ciudad de Cartago se observó en las alturas del volcán un *“plumaje muy fecundo”* que en la noche ya se observaban fenómenos de incandescencia que en el documento redactado por el gobernador Diego de la Haya Fernández, se les denomina *“llamas”* (Fig 2 e). Durante la actividad del volcán Turrialba

(Costa Rica) entre octubre de 2014 y mayo del 2015, se reportaron esos efectos de incandescencia que corresponden con el flujo de gases a alta presión y temperatura, que son observados en la noche como si fueran llamas que salen del cráter del volcán. Aun cuando no se descarta que las “llamas” observadas en 1723 correspondieran con magma durante las erupciones estrombolianas que podían ser observadas desde la ciudad de Cartago.

De las narraciones sobre la erupción se pueden diferenciar dos tipos de sonidos: 1) Retumbos que la población asociaba a la erupción y 2) Un sonido diferente que es descrito como un rumor sordo por debajo de toda la ciudad durante la noche del día 19 de febrero. Hacer la diferencia entre si ambos sonidos constituyen procesos volcánicos *per se* o que pudiera tratarse de enjambres de sismicidad volcano-tectónica que podría haberse generado a diferentes profundidades no es fácil. Lo más plausible podría ser lo segundo en vista de la distancia entre el volcán y la ciudad de Cartago (15 km en línea recta aproximadamente). En la mañana del día 20 de febrero, seguía el sonido descrito líneas arriba.

Todavía en abril de 1723 continuaba la actividad eruptiva, con eyección de material piroclástico de todo tamaño. El documento consultado llega hasta diciembre de 1723, sin conocerse hasta cuándo se extendió la actividad. No obstante, Peraldo (1996) refiere un documento de la Curia Metropolitana, fechado el 23 de junio de 1724 en que se describen corrientes de lodo (lahares) que transitaron por el río Reventado debido a “...*las muchas arenas que dimanaban del volcán...*” (Archivo Eclesiástico de la Curia Metropolitana, caja 11, folios 283 y 290, 23 de junio de 1724) lo que se interpreta que la erupción continuaba aún a mitad del año 1724.

Actividad sísmica

El día 20 de febrero a las 4 de la mañana se sintió en la ciudad un temblor grande que no provocó daños. Este sismo coincidió con el sonido sordo que se empezó a escuchar desde el día 19 de febrero. Luego en el documento se describe un efecto curioso ocurrido a las 6 de la mañana, que lo asocian con un retumbo grande, posiblemente porque se escuchó pero que “...*estremeció toda la ciudad abriendo las puertas y ventanas de viviendas de la ciudad...*”

Erupción del volcán Pacaya en 1775

Actividad volcánica

Si bien sobre esta erupción hay cierta riqueza descriptiva, la información que se desprende de ella genera muchas dudas cuando se trata de reconstruir los eventos. En primera instancia, si bien en los documentos se señala que la erupción inició el 2 de julio de 1775, no hay referencias en cuanto a la hora y únicamente es posible conocer que ocurrió durante la noche. Seguidamente se indica que la erupción ocurrió en el cerro conocido como “Los Humitos”, el cual no es fácil de ubicar, al menos, directamente de los documentos. En el “*Croquis del Bolcán de Pacaya en el Reino de Guathemala y Terreos adyacentes, Rebentaron en Fuego, Humo y Pedras el día 2 de de Jullio de 1775*” del Archivo General de Centroamérica, que encuentra reproducido en Feldman (1993), no hay referencia alguna a “*Los Humitos*”, solo se señalan dos bocas, la primera que se formó (mostrada con la letra F) y que se ubica en la parte inferior del volcán Pacaya (indicado en el croquis con la letra C) y la segunda denominada como “Gran Boca” (señalada con la letra H, ubicada más cercano a la cima del Pacaya). Sobre ese documento existen varias versiones de la época, con algunas variaciones, como la que se encuentra en Peraldo y Mora (1995). Por otra parte, únicamente se pudo encontrar una referencia en Sapper (1925) donde narra: “*En la falda NO del cráter encontré en 1892 ligeras fumarolas (“Los Humitos”) nacidas en 1891*”. Lo interesante del caso es que más adelante Sapper se refiere a la erupción de 1775 con base en datos de Montessus de Ballore (1884) y de la obra Kosmos Vol. IV de Alexander von Humbolt, con una fecha errónea del 11 de julio de 1775, y en ningún momento hace una conexión entre “*Los Humitos*” y la erupción. No es claro, entonces, si por coincidencia Sapper nombra el lugar donde ve las fumarolas como “*Los Humitos*” o bien si ya conocía ese topónimo para ese lugar. Actualmente ningún cono anexo al volcán Pacaya lleva ese nombre y el único cerro existente en el flanco noroeste del volcán Pacaya es el cerro Chino.

En cuanto al desarrollo de la erupción se describe que se formaron nueve “*bocas*”; sin embargo queda la duda sobre cómo habría sido la dinámica eruptiva que las generaron y cómo evolucionaron. Se habla que se habrían formado por lo menos nueve bocas y que algunas de ellas fueron cubiertas. En las que permanecen abiertas se describe una actividad profusa al mismo tiempo que se habla de una boca principal, que es la que está permanente y se acerca lentamente al volcán Pacaya. La

descripción es confusa y contradictoria con respecto a la actividad de las bocas. Por otro lado, en uno de los textos se hace referencia a que las “nueve bocas” y “respiraderos” ocupan un espacio de “legua y media de largo y cincuenta varas de ancho”. El “largo”, equivaldría a unos 6 a 7,5 km, lo cual significa que las bocas habrían llegado hasta el sector suroeste del valle del río Michatoya donde se asienta la ciudad de Amatitlán (**Fig 2 c**), lo cual no parece plausible. Incluso se habla que al cabo de 30 días se van “descubriendo mayores bocas” por lo que queda la duda si se trata de nuevos cráteres o es que los existentes se han hecho más grandes. La literatura volcanológica actual atribuye repetidamente al cerro Chino la erupción de 1775. Sin embargo, esta relación no es clara, al menos, en la literatura consultada. Kitamura y Matías (1995), por ejemplo, no asocian ninguno de los niveles de tefra de caída que estudiaron a la erupción de 1775. Dichos autores describen una unidad de depósitos de tefra (que denominan Pc-Pt12) y una colada de lava (dirigida hacia el Oeste) que provendrían del cerro Chino, pero sugieren que corresponderían con una erupción ocurrida en el año 1565 con base en dataciones radiométricas. La erupción de 1565 es citada por Sapper (1925) y por Paniagua (2002). Adicionalmente encuentran que el depósito de tefra siguiente (unidad Pc-Pt13) tiene muy poco espesor para justificar la magnitud de la erupción de 1775 y además no tiene una colada de lava asociada. Los datos y resultados de Kitamura y Matías (1995), no parecen ser suficientes para elucidar cuál depósito podría estar asociado con la erupción de 1775. En su trabajo no se explica dónde se tomaron las muestras para carbono 14 ni su contexto volcanológico, además, la cantidad de dataciones no es suficiente para resolver la posición temporal de los depósitos de tefra. Por otro lado, en la descripción de los depósitos de tefra no se valoran aspectos tales como el retrabajo del material que puede llevar a confusiones, entre otros aspectos importantes a considerar en los estudios tefroestratigráficos. Por lo tanto, la posibilidad de que eventualmente los depósitos de tefra y la colada de lava del nivel Pc-Pt12 puedan estar asociados a la erupción de 1775 queda abierta.

Actividad sísmica

En los documentos se hace referencia a sismicidad percibida antes y después de que ocurriera la erupción del cerro “Los Humitos”. En uno de los textos contabilizan “7 u 8 temblores” con “una especie de ruido subterráneo o hervidero” en la ciudad de Antigua Guatemala a la cual se refiere como “arruinada”. Asimismo en “Amatitan” se reporta que “en

un solo día se sintieron setenta temblores”. Sin embargo, es interesante, que en los documentos no se haga tanto énfasis en la sismicidad. Esto se discutirá en el apartado respectivo.

Discusión

En este artículo se lleva a cabo una reconstrucción histórica de cuatro erupciones volcánicas que tuvieron lugar en la época colonial de América Central, a partir de fuentes primarias, secundarias y literatura volcanológica existente. Esto permite poner en evidencia cómo, desde una asociación Historia-Geología y, particularmente desde la Sismología Histórica, es posible obtener información valiosa que permite analizar procesos sísmicos y volcánicos, así como su relación, a la luz del conocimiento actual.

Actividad volcánica

Las erupciones descritas en los documentos y otras fuentes las podemos dividir en dos grupos: el primero que corresponde con las erupciones generadas en focos centrales y el segundo aquellas generadas en conos ubicados en los flancos. En el primer grupo tenemos las erupciones de los volcanes Fuego (1717) e Irazú (1723) y en el segundo tenemos las erupciones del cono El Playón en 1658 (asociado al volcán San Salvador) y el cerro “*Humitos*” en 1717 (conocido así durante la colonia y que está asociado al volcán Pacaya). Nos extenderemos principalmente en este segundo grupo, cuyas erupciones tuvieron la particularidad de formar varios cráteres en contextos geológicos muy diferentes. El volcán San Salvador y los conos volcánicos asociados como el Playón, estarían posicionados dentro de una zona de fallamiento NO-SE (Major et al., 2001; Lexa et al., 2011; Ferrés et al., 2011). Las descripciones de las fuentes primarias dejan con claridad que hubo una migración de la actividad eruptiva en dirección a la cúspide del volcán San Salvador (no se sabe hasta qué altura llegaría). Esta erupción generó una colada de lava tipo a’a bastante extensa de composición basáltico-andesítica (Ferrés et al., 2011).

El caso del cerro “*Humitos*”, en el volcán Pacaya, es más complejo por cuanto no es claro si este correspondería con el actual cerro Chino, aunque las descripciones históricas los acercan y la literatura volcanológica actual así lo ha establecido. Partiendo del supuesto de que en efecto son los mismos, la posición de este foco dentro del macizo del volcán Pacaya sugiere que podría estar asociado a una zona de debilidad remanente de un colapso del flanco SW del volcán Pacaya (Vallance et al., 1995).

La diferencia de composición del magma y, consecuentemente de viscosidad, así como otros factores como la cristalinidad condiciona la manera en que este elige la ruta a seguir para llegar a la superficie. Es por ello que, en general, los magmas basálticos (de poca viscosidad) asciendan a lo largo de las fallas (sin cortarlas), en tanto que magmas un poco más viscosos como los basáltico-andesíticos pueden moverse a lo largo de fallas, aunque también pueden cortarlas (Zobin, 2003). Aunque claramente el mecanismo y ruta de ascenso del magma es muy complejo, en general vemos que el tipo de magmatismo asociado a la erupción del cerro El Playón, así como del volcán Pacaya (típicamente basáltico, según Vallance et al., 1995) es bastante concordante con lo observado en las erupciones descritas en los documentos.

Actividad sísmica

En las erupciones estudiadas resaltan las descripciones sobre la actividad sísmica que ocurría en diferentes estadios de actividad, con diferentes grados de detalle y matices. La sismicidad en los volcanes tiene muchas particularidades por cuanto refleja procesos complejos que tienen que ver con la dinámica interna de transporte de fluidos (gases, magma y otros fluidos) así como los procesos asociados con ellos y, por otro lado, con el estado de los esfuerzos a nivel local y regional. Tenemos entonces un primer conjunto de señales sísmicas generadas en los volcanes que es el resultado directo de las vibraciones generadas por la circulación de los fluidos dentro del macizo. Son movimientos que pueden ser transitorios o pueden llegar a durar minutos a horas y generalmente no son percibidos. Otro conjunto de señales sísmicas en los volcanes está asociado con las explosiones volcánicas, una vez que la erupción está en curso, y se generan por la descompresión y desgasificación del magma producto de la fragmentación. Es común que estas señales contengan una fase que tiene que ver con la energía de la explosión que se propaga en el aire, en forma de ondas sonoras y de choque (Ibáñez y Carmona, 2000), las cuales generan trepidaciones y pueden hacer vibrar las ventanas, por ejemplo. El tercer conjunto de señales que podemos encontrar en los volcanes, son conocidas como sismos volcano-tectónicos y son generados por la ruptura del medio rígido y consecuente movimiento a lo largo de los planos de ruptura.

En estos últimos, lo más complejo de determinar es la fuente, ya que en un volcán activo la sismicidad volcano-tectónica puede resultar de: 1) la transmisión de energía como dinámica de una tectónica regional (incluso local) y 2) la transmisión de energía debido a la interacción

con la dinámica de los fluidos dentro del sistema volcánico (Ibáñez y Carmona, 2000).

De cuatro casos históricos analizados, hay mayor certeza de que únicamente para el caso de la erupción del cerro El Playón en 1658 se habrían generados daños de importancia en la ciudad de San Salvador por causa de los procesos magmáticos asociados con ella. La secuencia sísmica la comprende un conjunto de sismos precursores, un primer sismo asociado con el colapso del flanco NE del cerro El Playón y la consecuente erupción, un evento premonitor de la segunda explosión asociada con la formación de los otros cráteres y que estaría acompañada también por un sismo, el de mayor magnitud, que habría generado los daños más importantes en la ciudad. El sismo principal habría sido percibido a una distancia de hasta 15 km del centro eruptivo. Peraldo y Montero (1999) calculan una magnitud de 6,0 (a partir de la máxima intensidad, la cual estiman en VIII), la cual es razonable con base en Zobin (2001), quien señala que la magnitud (Mw) de los sismos volcano-tectónicos significativos varía entre 4,5 y 6,0 en caso de erupciones fisurales o en flanco de los volcanes. Es probable incluso, que eventualmente la magnitud pudiera ser menor, considerando la baja calidad de las construcciones de la época, así como eventualmente otros efectos tales como amplificación de ondas sísmicas en el área bajo la ciudad. El hecho de que la sismicidad fuese concomitante con las erupciones sugiere que sea volcano-tectónica ligada a los procesos de ascenso y salida de magma a la superficie, por lo que se concuerda con la tesis de Peraldo y Montero (1999). En este sentido también se esperaría que esa sismicidad fuera somera (< 5 km).

En el caso del volcán Arenal (Costa Rica), vemos que el evento sísmico más significativo antes de la erupción lateral del 29 de julio de 1968 ocurrió el día 17 de julio y tuvo una magnitud Mw 5,1 según reporta Zobin (2001) con base en datos del International Seismological Center. Melson (1977) con base en datos de T. Matumoto y T. Minakami indica que la magnitud máxima alcanzada durante el enjambre horas antes de la erupción no habría sido mayor a 4,5. La primera explosión ocurrió el 29 de julio a las 07:30 hora local y formó tres cráteres alineados E-O, aunque no es posible saber si se formaron simultánea o secuencialmente (Alvarado et al., 2006 y referencias allí citadas). Queda destruida la población de Pueblo Nuevo (**figura 2 f**). Este primer momento fue acompañado simultáneamente por un temblor que, según un testigo, movía fuertemente su casa (ver Apéndice 1). El 30 de julio a las 2:30 pm una nueva explosión, al parecer más fuerte que la primera

volvió a producir un sismo que estremeció las viviendas, y posiblemente corresponde con la apertura de otro cráter. El Castillo, población donde se encontraba el testigo que narró los sucesos (ver **Apéndice 1, figura 1**) estaba a una distancia de 5 km del volcán Arenal. Esta distancia es la tercera parte de la distancia entre el foco eruptivo de El Playón y la ciudad de San Salvador, no obstante, este macizo volcánico es mucho más grande y con una historia eruptiva mucho más compleja y violenta que el Arenal. Las perturbaciones generadas por el movimiento de magma desde una cámara magmática de mayor tamaño se traducirían en una sismicidad volcano-tectónica que puede generarse en un área mayor, en superficie y profundidad, y tener mayor impacto. También queda abierta la posibilidad de que hubiera existido perturbación en fallamientos corticales cercanos al volcán como lo describen Schmidt-Thome (1975), quien propone una serie profusa de fallas que cortan el área donde se asienta la ciudad de San Salvador y que tienen un rumbo NO, son verticales a subverticales; o Lexa et al. (2011) quienes proponen una estructura en graben de rumbo ONO – ESE para el centro de El Salvador en donde se enmarcan los volcanes San Salvador, El Playón y la caldera de Ilopango y un fallamiento secundario de rumbo NNO - SSE casi paralelas a una zona de debilidad cortical que incluye al volcán San Salvador.

En el caso de la erupción del volcán de Fuego, las narraciones nos permiten poner en evidencia diferentes tipos de sismicidad. En primera instancia se describen vibraciones continuas que acompañaban la actividad eruptiva y es claro cómo en ningún momento hay referencias a explosiones súbitas, tal y como se plasma en la siguiente descripción: *“...causando siempre que con fuerza las echava, movimiento continuo de tierra, aunque no muy grande pero capaz de hacer menear puertas, ventanas y aldabas, que se oían...”* (Archivo General de Indias, Gobierno de Guatemala, Legajo 305).

La actividad eruptiva se acompañó de enjambres de sismos volcano-tectónicos que alcanzarían un máximo de magnitud el 5 de septiembre cuando se describen 2 eventos durante el día y otro en la tarde que llamaron la atención. Ya para el 16 de septiembre esta actividad sísmica iba disminuyendo. El 29 de septiembre de 1717 se generan tres sismos después de las 6 de la tarde, de los cuales el tercero destruye la ciudad de Santiago de los Caballeros (Antigua Guatemala). Peraldo y Montero (1999) asignaron a este último sismo una magnitud Ms 6,5. Las descripciones contenidas en las fuentes documentales de la época no dejan dudas sobre carácter local de los sismos. El testimonio don

Joseph González Battres, vecino de la ciudad de Guatemala, describe lo siguiente sobre los temblores:

“...que la noche de San Miguel poco despues de las oraciones se experimentó un grande temblor con expantoso ruido, y saliendo el declarante huyendo al patio de su casa empessaron a caer Texas de-que se escapó por la prestreza que tubo en la salida a dicho patio, en-el que luego experimentó segundo temblor, y espentoso ruido tan grande o maior que-el primero y de-suerte que el texado despedia las Texas, y unos arboles frutales, la fruta que tenían y cessado que-fue dicho segundo temblor, no hubo valor en ninguno como en otras ocaciones lo avía avido para entrar a la vivienda dela casa mantiniendose en el atio hasta que como a-la media ora poco menos. Vino el tercer temblor tan desmedido en la duración, y movimiento de tierra que causaba, que fue preciso por la necesidad tender el cuerpo en el suelo esperando por instantes les tragase la tierra...”
(Archivo General de Indias, Gobierno de Guatemala, Legajo 305).

Por otra parte el capitán don Miguel de la Barrera narra lo siguiente:

“...dia de S.n. Miguel veinte y nueve de septiembre, poco despues de anocheser, cerca de las siete de la noche con movimientos tan grandes y extraordinarios que-era levantada la tierra de avajo para arriba que-parece-que-el fuego del volcan reprimido de la tierra...”(Archivo General de Indias, Gobierno de Guatemala, Legajo 305).

Los testimonios contenidos en el legajo 305 también son consistentes en reportar varias decenas de réplicas luego de los sismos del 29 de setiembre de 1717, tal y como lo describe el testimonio del don Félix de Castro presbítero promotor fiscal de la Curia Eclesiástica y administrador del Hospital de San Pedro de la ciudad de Guatemala: *“...experimentando aquella noche los que quedaron vivos mas de treinta, o quarenta temblores...”*(Archivo General de Indias, Gobierno de Guatemala, Legajo 305).

La información obtenida nos hace soportar la interpretación de Peraldo y Montero (1999) quienes propusieron que una fuente sísmica cortical cercana a la ciudad de Santiago de los Caballeros sería el origen de los temblores del 29 de setiembre de 1717. Sin embargo, queda la duda sobre la naturaleza de la perturbación del campo de

esfuerzos que habría activado ese fallamiento, por cuanto puede estar ligada directamente con la actividad volcánica o bien puede ser totalmente independiente de ella. Hutchison et al. (2014) sugiere lo primero y plantea que la sismicidad del 29 de setiembre estaría ligada a una intrusión desde el volcán Fuego, quizás en forma de dique. Sin embargo, la discusión sobre este particular queda abierta ya que con la información disponible no es posible evacuar esa duda. Finalmente, la actividad sísmica que se extracta de los documentos durante este periodo culmina con la descripción de un sismo ocurrido el 3 de octubre y que generó movimientos “*en olas*”, lo cual es típico de una fuente sísmica lejana que no tendría relación con la actividad volcánica. Peraldo y Montero (1999) consideran este sismo asociado a la subducción.

La erupción del volcán Irazú en 1723 es muy similar a la del volcán de Fuego, donde la sismicidad es posible que se haya generado por enjambres de sismos volcano-tectónicos de magnitud moderada ($M < 4,5$) pero descritos como muy frecuentes.

La erupción de 1775 del volcán “*Humitos*”, del macizo del volcán Pacaya, es narrada con menos detalles, por lo que quedan muchas interrogantes. En los documentos se hace referencia a dos tipos de sismicidad: 1) Trepidaciones generadas por la actividad volcánica mencionadas como “*palpitación de la tierra*” o “*especie de ruido subterráneo o hervidero*”; y 2) enjambres sísmicos generados por fuentes corticales cercanas activadas por el movimiento de magma (actividad volcano-tectónica), según se indica en los documentos: “donde en un solo día se sintieron setenta temblores”. Es interesante, sin embargo, que en los documentos no se haga tanto énfasis en la sismicidad, lo cual sugiere que: 1) Esto refuerce la hipótesis de que la erupción de 1775 hubiese sido un episodio menor, y 2) que haya un sesgo de parte de los escribanos hacia la descripción de la actividad volcánica en detrimento de la descripción de la actividad sísmica con algún fin particular. En este sentido, Peraldo (2014) propone que la erupción del Pacaya, fue en parte usada para tener otro motivo para trasladar la ciudad de Santiago de los Caballeros al Valle de la Ermita, tal como el poder real sugería, al que se oponía el poder eclesiástico. No obstante, aunque también se generó apertura de cráteres, es difícil aportar una hipótesis sobre el tamaño de los sismos, por cuanto el colapso de las casas en San Cristóbal de Amatitán referidas en la información documental (**Fig 2 d**), también pudo

Fig. 6. Plato con imagen de edificación (fotografía Ana Rodríguez, 2004).

generarse por la caída profusa de ceniza, tal y como se evidencia en el siguiente extracto: "...al de San Cristóbal arruinado con el peso de la arena y movimientos de la tierra." (Archivo General de Indias, Audiencia de Guatemala, legajo 450).

Conclusión general

Las erupciones históricas analizadas en este trabajo dejan abierta una serie de preguntas sobre la posible interpretación de los procesos sísmicos y volcánicos ocurridos en la época de la colonia. El análisis a la luz del conocimiento actual también pone en evidencia los avances y vacíos que todavía existen en la investigación geológica, geofísica y geográfica de los volcanes estudiados, así como la disparidad en el conocimiento que hay en estos ámbitos en los países de América Central. Los avances que se puedan hacer desde estas disciplinas, en alianza con análisis históricos pertinentes de las diferentes épocas estudiadas que enmarcan los procesos geológicos acá analizados, permitirán reconstruir de la mejor manera los eventos geológicos del pasado con miras a una mejor gestión del riesgo sísmico y volcánico en el futuro.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido parcialmente apoyada por el proyecto de investigación N°113-B4-082 "Patrones sísmicos: una ventana a la comprensión de la dinámica interna de los volcanes activos de Costa Rica", de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. A los editores del presente dossier por habernos invitado a participar en él. Asimismo se agradece la revisión científica y los comentarios del Geól. Gerardo J. Soto, que mejoraron y enriquecieron este trabajo.

Fuentes consultadas

Alvarado, G.E. (1993). *Volcanology and petrology of Irazú Volcano*, Costa Rica (Tesis de doctorado). Universidad de Kiel. Kiel, Alemania.

Alvarado, G.E., Soto, G.J., Schmincke, H.-U., Bolge, L.L., Sumita, M. (2006). *The 1968 andesitic lateral blast eruption at Arenal volcano*, Costa Rica. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 157 (1–3), 9–33.

Alvarado, G. E. (2011). *Los volcanes de Costa Rica: geología, historia y riqueza natural*. San José, Costa Rica: EUNED.

Feldman, L. (1993). *Mountains of fire, lands that shake. Earthquakes and Volcanic Eruptions in the Historic Past of Central America (1505-1899)*. Culver City, California: Labyrinthos.

González, C. (1994). *Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica 1608-1910*. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Huidobro, C. (1862). *Los temblores de tierra. Anales de la Universidad de Chile*, 21 (1), 562-584.

Ferrés, D., Delgado Granados, H., Hernández, W., Pullinger, C., Chávez, H., Castillo Taracena, C.R., Cañas-Dinarte, C., (2011). Three thousand years of flank and central vent eruptions of the San Salvador volcanic complex (El Salvador) and their effects on El Cambio archeological site: a review based on *tephrostratigraphy*. *Bull. Volcanol.*, 73, 833–850. DOI 10.1007/s00445-011-0465-0.

Hutchison, A.A., Cashman, K.V., Williams, C.A., Rust, A.C. (2014). The 1717 eruption of Volcan de Fuego, Guatemala: Cascading hazards and societal response. *Quaternary International*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.050>.

Ibáñez, J. M., & Carmona, E. (2000). *Sismicidad Volcánica*. Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica.

Kitamura S. & Matías O. (1995): Tephra stratigraphic approach to the eruptive history of Pacaya volcano, Guatemala. *Science Reports – Tohoku University, Seventh Series: Geography*, 45 (1), 1-41.

Lardé y Arthés, J. (1960). *Obras completas*. San Salvador, El Salvador: Publicaciones del Ministerio de Cultura.

Lardé y Larín, J. (1978). *El Salvador: Inundaciones e incendios, erupciones y terremotos*. San Salvador, El Salvador: CONCULTURA.

Lexa, J., Šebesta, J., Chavez, J., Hernández, W., Péckay Z. (2011). Geology and volcanic evolution in the southern part of the San Salvador Metropolitan Area. *Journal Geosciences*, 58(105 – 140).

Major, J.J., Schilling, S.P., Sofield, D.J., Escobar, C.D., and Pullinger, C.R. (2001). Volcano hazards in the San Salvador. U.S. GEOLOGICAL SURVEY Open-File Report 01-366.

Marr, W. (1863). *Viaje a Centroamérica; introducción y versión literaria de Juan Carlos Solórzano F.* San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Montessus de Ballore F. (1884). *Temblores y erupciones volcánicas en Centro-América.* El Salvador, San Salvador, Imprenta Dr. Francisco Sagrini.

Paniagua, S. (2002). *Síntesis de algunos volcanes activos y peligrosos de América Central: prevención, mitigación y desastres.* Panamá, CEPREDENAC.

Peraldo, G. (1996). *Desastre natural y planificación urbana. Reflexiones sobre los conceptos.* Reflexiones, 43 (13-23).

Peraldo, G., & Mora, M. (1995). Las erupciones volcánicas como condicionantes sociales: casos específicos de América Central. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 21 (1-2), 83-110.

Peraldo, G., & Montero, W. (1996). La secuencia sísmica de 1717, Guatemala. Efectos y respuestas sociales. En García Acosta, V. (Ed.), *Historia y Desastres*, tomo I (pp. 115-162). Colombia: Tercer Mundo Editores.

Peraldo, G., & Montero, W. (1999). *Sismología histórica de América Central.* México D.F., México. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Peraldo, G. (2014). *Crónicas telúricas de América Central.* Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica.

Quirós, C. (1992). Un encuentro entre la Geología y la Historia colonial. *Reflexiones*, 1, 23-26.

Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española.* México D.F., México: Espasa.

Sáenz, R. (1977). Erupción del volcán Arenal en el año 1968. *Revista Geográfica de América Central*, 1 (5-6), 149-188.

Schmidt-Thomé, M. (1975). The geology in the San Salvador area (El Salvador Central America), a basis for city development and planning. *Geologisches Jahrbuch*, 13, 207-228.

Sisniega Muñoz, A.C. (2006). *El terremoto de San Miguel y los monumentos de Santiago capital del reino de Guatemala: un enfoque arqueológico* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Nueva Guatemala de la Asunción, Guatemala.

Vallance, J.W., Siebert L., Rose Jr. W.I., Girón J.R., Banks N.G. (1995). Edifice collapse and related hazards in Guatemala. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 66, 337-355.

Zobin, V.M., (2001). Seismic hazard of volcanic activity. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 112, 1-14.

Zobin, V.M., (2003). *Introduction to volcanic seismology*. Amsterdam, Holanda: ELSEVIER.

Información documental y hemerográfica

Archivo Eclesiástico de la Curia Metropolitana, caja 11, folios 283 y 290, 23 de junio de 1723.

Archivo General de Centro América, A1.1, expediente 2, Legajo 1.

Archivo General de Centro América, A1.1, expediente 2, Legajo 1, Folios 4 a 5.

Archivo General de Indias, Gobierno, Guatemala., Leg. 305.

Archivo General de Indias, Audiencia de Guatemala, Leg. 450.

Periódico La Nación, miércoles 31 de julio de 1968, págs 30 a 32.

Periódico La Nación, 4 de agosto de 1968, pag 100.

Apéndice 1

Datos históricos de las erupciones de los volcanes: San Salvador (1658), Fuego (1717), Irazú (1723), Pacaya (1775) y Arenal (1968).

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
San Salvador (El Salvador) (1) A.G.C.A., A1.1, Exp.2, Leg. 1 (2) A.G.C.A., A1.1, Exp.2, Leg. 1, Folios 4 a 5	1658/11/03	Amanecer (alrededor de las 05:50 de la madrugada)		Primeros sismos sentidos: “...El domingo pasado tres desde el amanecer comenzaron algunos temblores y con el día apretaron...” (1)
		Entre las 11:00 y las 2:00 de la tarde	Referencias al inicio de la erupción, en el cerro El Playón: “...El principio de este fuego fue su reventazón arriba en un cerro que esta junto al volcán grande [volcán de San Salvador]. Reventó domingo 3 de noviembre de 1658 a las 11 o las 12 del día... y en la cumbre de dicho serro[El Playón] reventó luego una boca grande echando nueva ceniza que hasta hoy continua... dicha boca de fuego tiro por el serro abajo...” (1)	“Reventó domingo 3 de noviembre de 1658 a las 11 o las 12 del día con temblor grande...” (1) “...pues a la una el día quando esta ciudad estava tan descuidada y los vecinos della, vino un temblor horrible y formidable y se fueron continuando otros muchos que obligaron a todos religiosos y vecinos a desamparar casas y conbentos...” (2)
			“...Domingo entre la una y dos de la tarde que se contaron tres de este presente mes de noviembre de mil seiscientos cinquenta y ocho años...y estando en medio de este conflicto dio un trueno o traquido tan grande que no se puede encarecer	“...Domingo entre la una y dos de la tarde que se contaron tres de este presente mes de noviembre de mil seiscientos cinquenta y ocho años hubo tan grande temblores sucesivos que causaron mucho grimo y espanto...” (1)

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
			<p><i>el ruido y estruendo que hizo y sucesivamente se fue continuando este ruido cuando se vido que en medio del volcán hacia la parte del pueblo de Nejapa había reventado levantando tanta humareda que al parecer llegaba hasta el cielo despidiendo de si el humo y lloviendo tanta máquina de arena...” (1)</i></p> <p>Referencias al desprendimiento de una parte del flanco del cerro El Playón: “...reventó un cerro grande en agua y con tal violencia que en mas de una legua de tierra llana hizo una inundacion hasta cerca del dicho pueblo de Opico...”(1)</p>	<p>“...y mas los bramidos que insesantemente esta causando con esto ordinarios temblores unos mayores que otros...” (1)</p>
	<p>Entre el 1658/11/03 y el 1658/11/04</p>	<p>Entre las 10:00 pm y la medianoche</p>	<p>Referencias a la formación de nuevos cráteres: “...y como a una legua poco mas a los doce de la noche del dicho dia reventó otra...y con esto se abrieron otras seis bocas grandes sin muchas pequeñas y todos solo han quedado la que causo el terremoto, es confusión berla echar de si tanta maquina de fuego y piedra para arriba que parecen aves remontadas por la region encendidas...las bocas que se apagaron son tan orrendas que llegado a la orilla no ay vista...”(1)</p>	<p>Ocurre un segundo terremoto: “...a las doce de la noche del dicho diarevento otra que causo el terremoto en esta ciudad... derribando templos, conventos y casas de los vecinos...”(1)</p>

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
			<p>La actividad eruptiva fue: “...el fuego desde estas bocas fueron labrando el volcán por la cumbre arriba, ya está la llama en la cumbre que se puede ver desde la ciudad de San Salvador...” (1)</p> <p>“...el Volcán con todo está lleno de bocas por esta parte la llave visto que baja acia San Salvador...” (1)</p>	<p>“...y mas los bramidos que insesantemente esta causando con esto ordinarios temblores unos mayores que otros...” (1)</p>
			<p>Referencias a la formación de nuevos cráteres: “...y como a una legua poco mas a los doce de la noche del dicho día reventó otra...y con esto se abrieron otras seis bocas grandes sin muchas pequeñas y todos solo han quedado la que causo el terremoto, es confusión berla echar de si tanta maquina de fuego y piedra para arriba que parecen aves remontadas por la region encendidas...las bocas que se apagaron son tan orrendas que llegado a la orilla no ay vista...”(1)</p> <p>La actividad eruptiva fue: “...el fuego desde estas bocas fueron labrando el volcán por la cumbre arriba, ya está la llama en la cumbre que se puede ver desde la ciudad de San Salvador...” (1)</p>	<p>“...El mesmo día como a las diez de la noche vino otro temblor que aventajó a los anteriores tan instantáneo que a durar un credo mas, puciera por tierra templos y cassas pero quedaron tan arruinadas que son inhabitables...” (1)</p> <p>Esta referencia se incluye por cuanto parece ser contradictoria con los reportes de daños más severos indicados en los reportes anteriores: “...y mañana 8 del corriente se hace otra procesión de sangre de niños que con aber sido tan espantoso el terremoto pasado como lo testifican algunos ancianos que hoy viven no llega al extremo que al presente y pruebase señor que el convento de Santo Domingo de</p>

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
	1658/11/04	10:00 – 11:00 de la mañana	<p>“...el Volcán con todo está lleno de bocas por esta parte la llave visto que baja acia San Salvador...” (1)</p> <p>Referencia a un nuevo pulso eruptivo: “... Cantada ya la misa y acabada la procesión antes de salir de la iglesia que sería como a las diez u once del día, se vido que una nube congelada de arena se venía caiendo sobre todo el pueblo y todo el valle del curato de los vecinos de dicho pueblo [Opico] ...? (1) Este pulso habría durado varias horas: “...que duro esto mas de dos oras...y luego fue sesando el riesgo y quiso Dios como tan misericordioso, amaneciese el día convertido en noche” (1)</p>	<p>dicha ciudad no llegó a partir y maltratar los arcos de las iglesias que son de notable fortaleza...solo decimos que el daño presente no se puede reparar con veinte mil pesos...” (1)</p> <p>Se mantiene la actividad sísmica sentida: “... tantos temblores y terremotos como desde el tres del corriente an continuado...” (1).</p> <p>“...y desde el mismo punto que sucedió el primer temblor hasta hoy siete del corriente no an faltado ni faltan...” (1)</p>
<p>Volcán de Fuego (Guatemala)</p> <p>(3) A.G.I., Gob. Guat., Leg. 305</p>	1717/08/27	Desde la mañana	<p>Referencias al inicio de la erupción: “...el viernes veinte y siete de agosto desde por la mañana empezó unos de los quatro volcanes que cercan la ciudad de Guathemala a echar más humo del que regularmente echa...” (3).</p>	No hay referencia de actividad sísmica.

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
	Entre el 1717/08/27 y el 1717/08/28	Entre las 07:00 pm hasta la 1:00 de la madrugada	Referencias al clímax eruptivo: <i>“...comenzó el volcán a echar fuego, como desde las siete de la noche llegando a tal aumento a la una de ella, que la voracidad del mismo fuego, u otro algún efecto del volcán hacia hizo tan grande y tremendo bramido continuo...”</i> (3). <i>“...este fue creciendo [se refiere al humo] hasta que a la media noche empezó a echar tanto fuego, con tan gran estruendo y ruido que se percibió por algunas partes en cien leguas de distancia y por otras partes en doscientas leguas... y entendimos los habitantes de Guathemala quedar consumidos y aniquilados con la gran cantidad de fuego, y rios de el y de la piedra encendida que despedía...”</i> (3).	Se percibe actividad sísmica que acompaña el inicio de la erupción: <i>“...el estruendo de dicho bolcán era con temblor continuo que movía las cassas, y la Iglesia Cathedral como el más recio temblor que, tal sería?”</i> (3). <i>“...y tremendo bramido continuo y sin cesase en seis horas, que la ciudad se estremecía, aunque con lentitud, las puertas y ventanas temblaban y los habitantes (...) tan grande horror...”</i> (3).
	1717/08/28	Durante la madrugada	Referencias a la disminución en la actividad eruptiva: <i>“...con lo cual se serenó esta tormenta a la madrugada el día veinte y ocho...”</i> (3)	<i>“...y se celebraron muchas missas en las puertas de dicha iglesia por el temblor continuo que causaba el estruendo y ruido del Bolcán...”</i> (3).

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
		De las 06:00 pm hasta la medianoche	<p>Referencias a un incremento en la actividad eruptiva: “...este diasavadoprosiguió todo wel bolcán echando gran cantidad de humo, ceniza, y arena y a la oración bolvió con mayor horror el ruido originado de los bramidos que dava,...ya despedía mas fuego que la noche antecedente, y los rios de fuego y piedra encendida en maior abundancia...Iglesias y cassas por dichos bramidos ya despedía mas fuego que la noche anterior” (3).</p> <p>“...hasta el dia siguiente, [28 de setiembre] en que ceso el rumor, aunque no el fuego, y humo, el cual se augmentó a las cinco de la tarde volviendo el estrepito hasta las diez horas de la noche en cuió tiempo se volvieron suscitar los lamentos...” (3).</p> <p>Referencias a los altibajos en la actividad eruptiva: “...y al signar el obispo con el pectoral en el conjuro se entro el fuego en el bolcanzeo el ruido y de correr el rio de piedras y fuego, que todo duro hasta la medianoche...” (3).</p>	Se mantiene la actividad sísmica: “...y el continuo temblor de tierra...” (A.G.I., Gob. Guat., Leg. 305).

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
	1717/08/29	Durante la mañana	<i>“...en cuio tiempo se volvieron suscitar los lamentos, confesiones, procesiones conjuros, absoluciones y exortaciones y lo mismo sucedio la mañana del dia siguiente veinte y nueve de agosto siendo estos tres días en esta ciudad símbolo del juicio final...” (3)</i>	
	1717/09/05	Antes de las 04:00 de la madrugada	Los documentos no proveen información explícita sobre la actividad eruptiva.	<i>“...el día cinco de setiembre, domingo, antes de las cuatro de la mañana ubo temblor mui grande...” (A3).</i>
		05:00 am	Ídem comentario anterior	<i>“...y a las cinco de la mañana ubo otro también mui largo...” (3).</i>
		Durante la tarde, aunque no se precisa la hora	Ídem comentario anterior	<i>“...ese mismo dia estando en el sermón de la tarde en la catedral ubo otros dos y se fueron continuando de dia y de noche...” (3).</i>
	1717/09/16	11:00 y las 12:00 mediodía	Referencias a una disminución de la actividad eruptiva: <i>“...los temblores hasta el dicho día siempre venían con bramidos o retumbos que daba el volcán que estremecían la tierra con movimientos para arriba, que según Aristóteles son los peores y los más peligrosos...” (3).</i>	La actividad sísmica disminuye: <i>“...el día diez y seis entre once y doce del día conjuró el obispo el volcán... dicho día zesaron los temblores con el conjuro...” (3).</i>

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
	1717/09/19	De las 06:00 pm hasta la medianoche	Para este día se indica que la actividad eruptiva había disminuido considerablemente desde el día 16: <i>“...aunque siempre echando humo el volcán, fue la procesión general de penitencia...por avernos librado de fuego del volcán, del río de fuego y piedras, ceniza, arena, y temblores...”</i> (3).	Para este día se indica que ya había un cese en la actividad sísmica desde el día 16: <i>“...El domingo diez y nueve de setiembre, ya sin temblores desde el diez y seis...”</i> (3)
	1717/09/29	6:07 pm	No hay referencias a la actividad eruptiva	Primer temblor: <i>“...aquel día [29 de septiembre] después de la oración, sobrevino el primer temblor que duraría medio cuarto de hora, aunque este no hizo estrago...”</i> (3)
		6:15 pm		Segundo temblor: <i>“...y aviendo pasado por otro medio cuarto de hora, sobrevino el segundo...”</i> (3).
		6:20 pm		Tercer temblor: <i>“...y como le sacaron a conjurar el volcán sobrevino el tercer temblor, este y los demás causados de dicho volcán, viniendo todos y cada uno con tal ruido por debajo de la tierra que parece se funde ya esta, y mas cuando todos an traído los movimientos para arriba...”</i> (3).

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
				Referencias a una fuente sísmica diferente: “...hasta los principios de la noche del 29 de setiembre del mismo, en que volvieron a empezar con tanta furia, y fortaleza y movimientos extraños, que destruyeron mucha parte de los edificios públicos, y de particulares.”(3).
	1717/10/03	Entre las 11:00 pm y la medianoche	No hay referencias a la actividad eruptiva	<p>“...el domingo 3 de octubre día del Rosario entre once y dosse de la noche ubo otro temblor tan largo como el último día de San Miguel pero este no causó nuevo estrago, porque aunque tan grande como el otro, no tuvo los movimientos para arriba, sino a los lados, pues parecía la tierra en largo espacio y tiempo un mar con olas...” (3).</p> <p>Referencia a un sismo de una fuente más lejana: “...habiendo avido la noche del día tres de octubre uno maior que los primeros, en que la tierra se movia como las olas del mar; o como cuando la nao cabecea en el...” (3).</p>

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
	1717/10/14		No hay referencias a la actividad eruptiva	<p>“...Desde el día 30 de setiembre hasta el catorce de octubre no anezado los temblores, ni los bramidos del bolcán con que regularmente vienen experimentándose desde el día de San Miguel hasta oy otro modo de estruendo del bolcán, y temblores que ya no son bramidos, sino un ruido como si se desplomara del volcán al centro de la tierra alguna cosa mui pesada quedando el golpe en el centro ocasiona grande etruendo, y tal que se percibe ser mui cuantiosa la máquina que cae por dentro, esta ocasionando el ruido de caer causa el temblor de toda la tierra y con otro modo irregular de temblar, son continuos estos movimientos, y temblores de día y de noche...” (3)</p>
Volcán Irazú (Costa Rica) (4) González (1910)	1723/02/17	4:00 am	Retumbos fuertes continuos y fenómenos incandescentes en la cima, vistos desde la ciudad de Cartago	No hay referencias sobre la actividad sísmica
		Durante la noche	Nuevos efectos de incandescencia (el documento se refiere a “llamas” (4)). Fragmentos incandescentes vistos desde la ciudad de Cartago	

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
	1723/02/18	Entre las 10:00 y 11:00 de la mañana	Se nota un cambio morfológico en la cima, por la formación de una pequeña loma de acumulación de material piroclástico	No hay referencias sobre la actividad sísmica
		3:00 pm	Aparece una exhalación que el documento refiere un “ <i>plumaje blanco</i> ” (4)	
		5:00 pm	Disminución de los truenos y retumbos	
		Durante la noche	Aumentó la actividad eruptiva	
	1723/02/19	6:00 am	Se interpreta actividad menor según el contexto de documento	No hay referencias sobre la actividad sísmica
		Durante la noche	“... <i>Rumor sordo por debajo de la tierra por toda la ciudad...</i> ” (4). También destaca que se observaba un aumento de las “... <i>bolas y piedras encendidas con mayor abundancia que anteriormente...</i> ” (4). Para que este material se observara desde la ciudad, significa que el tamaño ser métrico.	
	1723/02/20	Durante la mañana	“... <i>Rumor sordo por debajo de la tierra por toda la ciudad...</i> ” (4).	
4:00 am			Temblo grande aunque no provocó daños	

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
		6:00 am		Retumbo enorme que estremeció toda la ciudad abriendo las puertas y ventanas de viviendas de la ciudad (¿temblor?)
		Durante la tarde		Temblor
	1723/02/20 al 1723/02/21	Medianoche		Temblor
	1723/02/21	1:00 am		Temblor mayor con respecto a los anteriores.
		5:00 pm		Temblor. Se repitieron los retumbos en lo que al mismo tiempo abrían puertas y ventanas
		10:00 pm	Retumbo grande y salida de bombas vistas desde la ciudad de Cartago.	
	1723/02/24	4:00 am	Retumbos grandes	
	1723/02/26	4:00 am	Nuevos retumbos	
	1723/02/27	01:00 am	Caída abundante de ceniza en Cartago	
	1723/03/14		Por contexto se infiere que el volcán seguía su actividad eruptiva con intermitencias entre máximos y mínimos de actividad	Hasta este día han ocurrido temblores “tenués”.
	1723/04/03	Entre las 10:00 y 11:00 pm	Inmediatamente al temblor grande el volcán aumentó el ruido que según el documento se parecía a “...cincuenta fraguas estuvieren manejando sus fuelles...” (4)	Temblor grande sentido más en los techos de las casas y patios de ellas, según el documento.

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
Volcán Pacaya (Guatemala) (5) A.G.I., Audiencia de Guatemala, Leg. 450			Luego el fuego aumentó lanzando el volcán fragmentos a tanta altura que "...mientras subían y bajaban a la misma candelada, se podían rezar cuatro credos..." (4)	
	1723/12/11			Hasta la fecha hay días que se sienten entre cuatro y ocho temblores
	1775/07/02	Durante la noche	Referencias al inicio de la erupción en cerro anexo al volcán Pacaya: <i>"...En la noche del día 2 del corriente, y siguientes hasta la fecha se ha distinguido una prodigiosa erupción de fuego a distancia de 11 leguas de este provisional establecimiento...en un cerro que no se conocía por volcán, y está inmediato al nombrado Pacaya... ilumina toda la circunferencia despidiendo como unas exalaciones encendidas, o fuegos volantes que elevándose a considerable altura corren la region vecina con diversidad de apariencias..." (5).</i> <i>"...Con la noticia, que tuve el 2 del que acaba de haber reventado un cerro cerca del volcán de Pacaya, hechando un tronco grueso de fuego, y ramage de humo, que se observa desde este establecimiento [la Hermita]..." (5)</i>	Referencias a daños por los temblores: <i>"...al de San Cristóbal arruinado con el peso de la arena y movimientos de la tierra..." (5)</i> <i>"...Se han perdido los frutos de la cercanía, cuyos moradores llenos de pavor, han buscado abrigo en la distancia, huyendo de aquella lobreguez y frecuente palpitación de la tierra..." (5)</i> <i>"...Digalo en el Amatitan distante de tres a cuatro leguas de la boca del fuego, donde en un solo día se sintieron setenta temblores..." (5).</i> <i>"...En la arruinada ciudad se observaron en el día de la reventazón 7 u 8 temblores, y repetidos antes, y después de ella, con aquella especie de ruido subterráneo o hervidero..." (5).</i>

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
			<p>La actividad ocurre en el cerro Los Humitos: <i>“...el estrago que causó el cerro nombrado Los Humitos, inmediato al Volcán de Pacaya, con el fuego y materiales que han expedido por tres bocas que se abrieron la noche del día dos de julio...”</i> (5). Luego migró hacia la parte cuspidal del volcán: <i>“...que se han abierto en el citado cerro tres bocas más y se han cerrado otras con la piedra de cuyo número no se hace especificación, que la principal está permanente y acercándose aunque con lentitud al nominado Volcán de Pacaya, subsistiendo sin incremento ni disminución del río de fuego que gira al Sur...”</i> (5)</p> <p>Referencias a la formación de otros cráteres: <i>“...descubriéndose nueve bocas profundísimas, y distintos respiraderos, que ocupan el espacio de legua y media en lo largo, y con cincuenta varas de ancho. En estas bocas se notan como unas tempestades continuas, según el estruendo y frecuente centelleo, despidiendo muchas piedras...”</i> (5)</p>	

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
			<p>En el “establecimiento provisional” de La Hermita, sólo se escucharon las explosiones: “...<i>En este establecimiento no se ha sentido el más leve temblor; y solo algunos estallidos como tiros de cañon, que se perciben al desprenderse sin duda las materias que arrojan las bocas...</i>” (5). Del mismo modo se confirma que no hubo daños: “... <i>Por la piedad del Altísimo no se ha notado en este establecimiento el menor efecto sensible de tan prodigioso fenómeno...</i>” (5).</p> <p>Referencias a la posible duración de la erupción: “...<i>que después de 30 días registra con mayor incremento, y extensión: pues sucesivamente se van descubriendo mayores bocas...</i>” (5)</p> <p>Referencias a la colada de lava: “...<i>Este rumbo sigue un caudaloso río de fuego, que se forma de las materias sulfúreas del volcán, que derretidas se registran corren lentamente 2 leguas hasta que lo oculta una profunda quebrada...</i>” (5)</p>	

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
	1775/08/12		Se reporta todavía actividad eruptiva: “... <i>acompañó a VE el certificado adjunto que contiene substancialmente las noticias que se me han comunicado hasta el 12 del que acaba, reducidas a que las bocas continúan hechando considerable porción de fuego...y subsistiendo sin aumento ni disminución el rio de fuego que gira hacia el sur...</i> ” (5)	Retumbo enorme que estremeció toda la ciudad abriendo las puertas y ventanas de viviendas de la ciudad (¿temblor?)
Volcán Arenal (Costa Rica) Melson (1977) (6) Alvarado (2011) (7) La Nación, miércoles 31 de julio de 1968, págs 30 a 32 (8) La Nación, 4 de agosto de 1968, pág 100 (9)	1968/07/26	El volcán estuvo lanzando fuertes retumbos (9)		
	1968/07/28 y 1968/07/29	Entre las 11 de la noche del 28 y las 06 de la mañana del 29 (6,7)		Sismos sentidos que alarmaron a la población. Los sismos no habrían superado los 4,5 grados de magnitud. (6,7, 9)
	1968/07/29	07:30 de la mañana (6,7)	Erupción peleana que inicia en el cráter “A” en la mitad del flanco oeste del cono. La erupción generó flujos y oleadas piroclásticas, así como un intenso bombardeo de bloques. (6,7)	Datos de testigo para la erupción del 29 de julio a las 7:30 am: “...y al asomarme por una ventana de la casa [se encontraba en la población de El Castillo] que en ese momento se movía fuertemente vi como se elevaba a gran altura la gran cantidad de arena...” (9)

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
			<p>Datos de testigo: "...el lunes a eso de las 7:30 amoyó algo así como una flota de aviones viendo al instante que del cerro Arenal salía gran cantidad de humo negro . De seguido la explosión como de bombas y en el instante vi como salía gran cantidad de llamas que el volcán lanzaba hacia el W oscureciendo todo. A las 11:30 la segunda explosión más fuerte y de más duración que la primera, oímos como se desprendía el montón de materia ..." (9)</p>	
	<p>1968/07/29 al 1968/07/31</p>		<p>Se forman tres nuevos cráteres en el flanco oeste. La mayoría de los materiales provenía del cráter "A". (6,7)</p> <p>La erupción que se produjo ayer martes (30 de julio) a las cinco de la mañana formó sobre el cono del Arenal un inmenso hongo como de explosión atómica que se elevó hacia el cielo hasta unos veinte mil pies de altura a la vez que expulsaba y esparcía a gran distancia cientos de toneladas de cenizas y rocas incandescentes. (8)</p> <p>A las cuatro de la mañana de ayer (30 de julio) hubo una fuerte erupción de ceniza y una arena húmeda. Hay fuertes retumbos que producen una vibración que se ha confundido con temblores. (8)</p>	<p>La actividad sísmica posterior a la explosión no fue sentida y se estima que habría tenido magnitudes inferiores a los 3,5 grados. (6,7)</p> <p>Las labores de rescate se dificultaron por los continuos temblores que se produjeron en la localidad de San Cristóbal, Fortuna y Las Palmas. (8)</p> <p>Un reporte de las once y cuarenta y cinco minutos de ayer (30 de junio) da cuenta de que temblores en los cerros Las Palmas, ronadora, Arenal, La Fortuna, Aguas Zarcas, al tiempo que se escuchaban pavorosos rugidos que a modo de truenos produce el volcán que continúa en erupción. (8)</p>

Volcán - Referencias	Fecha (año/mes/día)	Hora aproximada (*)	Actividad volcánica	Actividad sísmica
			Para el día 30 datos de testigo: “...El señor Peralta Hernández relata que el martes [30 de julio] a las 2:30 de la tarde sintieron un fuerte estremecimiento de la casa...” (9)	Para el día 30 datos de testigo: “...El señor Peralta Hernández relata que el martes [30 de julio] a las 2:30 de la tarde sintieron un fuerte estremecimiento de la casa...” (9)
	1968/07/31 al 1968/08/03		Periodo de calma relativa(6,7)	
	1968/08/03 al 1968/08/10		Emisión de cenizas, lapilli y vapor de agua, seguido de actividad fumarólica de los tres nuevos cráteres. (6,7)	
	1968/08/14 al 1968/08/19		Fuertes explosiones seguidas por efusión de coladas de lava desde el cráter “A” (6,7)	