

## CONSIDERACIONES PRELIMINARES SOBRE RIESGO EN EL VOLCÁN DE COLIMA, MÉXICO

*Sergio R. Rodríguez-Elizarrarás\**

### RESUMEN

El Volcán de Colima (103°37'W, 19°30'45"N) tiene una historia eruptiva muy intensa y se considera como el volcán más activo de México. Sus antecedentes documentales acerca de las erupciones históricas ocurridas varían desde algunas relaciones ambiguas y generalizadas de testigos sorprendidos, hasta publicaciones de autores especializados sobre el tema.

En el Volcán de Colima han ocurrido prácticamente todos los tipos de erupciones volcánicas, desde explosiones freáticas localizadas en la zona del cráter, hasta erupciones plinianas, cuyos productos fueron esparcidos por el viento a varios cientos de kilómetros de la fuente de origen.

El objetivo fundamental de este estudio es aportar información básica que ayude a mitigar el posible impacto de erupciones futuras en el Volcán de Colima. Para esto, fueron elaborados dos mapas de riesgo volcánico; en uno fueron agrupados los derrames piroclásticos, los lahares y corrientes de lodo, y los depósitos de caída; en otro, los derrames de lava, las explosiones freáticas y los depósitos de avalancha y surgencia.

Con mayor o menor probabilidad, las erupciones que generan este tipo de productos son susceptibles de ocurrir en el Volcán de Colima, y es muy importante conocer las posibles distribuciones que éstos alcanzarían dentro del área de estudio.

Palabras clave: Riesgo, mapas, Volcán de Colima, vulcanología, México.

### ABSTRACT

Volcán de Colima (103°37'W, 19°30'45"N) has a very intense eruptive history and is considered the most active volcano in Mexico. Its documented background of the historical eruptions varies from ambiguous relations of astonished eyewitnesses, to scientific papers written by investigators from different countries.

Volcán de Colima has had practically all types of volcanic eruptions, from freatic explosions located in the summit dome, to Plinian eruptions whose products were spread by the wind up to several kilometers from the site of origin.

The main objective of this study is to present some basic information which might help to mitigate the possible impact of future eruptions of Volcán de Colima. For that reason, two maps of volcanic hazard have been made. In the first map, pyroclastic flows, lahars and mud flows, and fall deposits have been grouped together; while in the second one, lava flows, freatic explosions, and avalanche and surge deposits.

With more or less probability, eruptions which produce these kinds of products are very likely to occur in Volcán de Colima. Therefore, it is very important to know the possible distribution the deposits might have within the studied area.

Key words: Hazard, Volcán de Colima, maps, volcanology, Mexico.

### INTRODUCCIÓN

En la historia eruptiva del Volcán de Colima resumida por otros autores (Waitz, 1932; Medina-Martínez, 1983), no es posible encontrar descripciones muy elocuentes, ni mucho menos detalladas, de las erupciones ocurridas desde finales del siglo XVI hasta el XIX; sin embargo, sí es posible deducir que este volcán ha experimentado una gran diversidad de eventos eruptivos, que van desde los altamente explosivos—plinianos—hasta erupciones netamente efusivas, cuyo índice de explosividad es prácticamente cero. De la misma manera, puede deducirse que la distribución de los diferentes depósitos—caída, derrames de lava, lahares, etc.—ha estado en relación directa con variables físicas, tales como la velocidad y

dirección del viento predominante, pendientes y barrancas principales, barreras topográficas, etc.

Por otro lado, es un hecho que tanto la población como la infraestructura económica, en las áreas circundantes al Volcán de Colima, se han visto incrementadas considerablemente desde la última erupción explosiva, ocurrida en 1913.

Con la finalidad de aportar información básica que ayude a mitigar el posible impacto de erupciones futuras, fueron elaborados dos mapas de riesgo volcánico (Láminas 1 y 2), en los que se tomó en cuenta los diferentes tipos de erupción susceptibles de ocurrir en el Volcán de Colima, así como la distribución que los productos alcanzarían dentro del área de estudio. Las zonas de riesgo propuestas en estos mapas se refieren a seis tipos diferentes de manifestaciones volcánicas. En la Lámina 1 se agrupa los derrames piroclásticos, los lahares y corrientes de lodo y los depósitos de tefra; en la Lámina 2 son agrupados los derrames de lava, las explosiones freáticas y los depósitos de avalancha y surgencia basal.



## DERRAMES PIROCLÁSTICOS

El término derrame piroclástico—*pyroclastic flow*—ha sido objeto de amplias discusiones sobre su correcta aplicación en muchos de los eventos volcánicos ocurridos en el mundo, lo cual se ha debido, fundamentalmente, a la gran diversidad de causas que pueden generar fenómenos de esta naturaleza. En el caso del Volcán de Colima, son dos las clases de erupción que históricamente han generado este tipo de depósitos: las altamente explosivas, cuyo ejemplo típico sería la ocurrida en 1913 (Waitz, 1915, 1921), y las de tipo merapiano—derrame de bloques y ceniza—producidas por el colapso parcial del domo, como resultado del ascenso de lava juvenil por el conducto; de estas últimas, puede citarse como ejemplos las ocurridas en 1975-76 y en 1991 (Thorpe *et al.*, 1977; Rodríguez-Elizarrarás *et al.*, 1991).

Casi todos los flancos del volcán serían susceptibles y quedarían afectados por una erupción de las clases mencionadas anteriormente. Sin embargo, desde el momento en que este tipo de depósitos tiene una clara tendencia al encanalamiento, las barrancas principales que controlarían el descenso de los derrames piroclásticos serían La Lumbre, El Zarco, Cordobán, San Antonio, Playa de Montegrando, El Muerto, La Tuna, Santa Ana y El Durazno-Beltrán.

Sin lugar a duda, los derrames piroclásticos son de los fenómenos que presentan mayores riesgos en una erupción, debido a su gran movilidad, temperatura alta y, fundamentalmente, al hecho de que pueden tener la energía suficiente para remontar pendientes. Los destrozos que provocarían estos eventos varían, desde la afectación de infraestructura económica—ganado, agricultura, acueductos, vías de comunicación—hasta la pérdida de vidas humanas.

Los poblados y asentamientos susceptibles de ser afectados serían: La Yerbabuena, La Becerrera, San Antonio y El Jabalí, al sudoeste; y Quesería, Tonila, Cofradía, San Marcos y Tenexcamilpa, al sur y sudeste.

## LAHARES Y CORRIENTES DE LODO

Los depósitos de lahares prehistóricos más importantes están localizados en las partes bajas de los flancos meridional, sudoriental y sudoccidental, principalmente entre los poblados de La Becerrera, La Lima, El Naranjal, Montitlán, Tonila, Cofradía y San Marcos (Rodríguez-Elizarrarás, 1991). La presencia de lahares y corrientes de lodo puede presentarse como un proceso secundario, al desprenderse los frentes de derrames piroclásticos, o por deslizamiento de taludes inestables de material de caída que, al mezclarse con agua de lluvia o freática, son capaces de adquirir gran movilidad encanalados aguas abajo.

Dentro del área de estudio, los cauces principales que tienen una gran capacidad para encanalar los lahares y corrientes de lodo son las barrancas La Lumbre, El Zarco, Cordobán, San Antonio, Playa de Montegrando, Santa Ana, El Muerto,

La Tuna, La Arena, El Durazno-Beltrán, Plátanos, El Zapote, y El Limón, entre otras.

Los lahares y corrientes de lodo pueden generarse aun sin una erupción volcánica, como consecuencia de deslizamiento de tierra, asociado con actividad sísmica y lluvias. Estas últimas suelen ser muy intensas durante los meses de junio a octubre, especialmente en las partes altas del volcán. Los flancos oriental, sudoriental y sudoccidental presentan pendientes más abruptas, y en las partes elevadas se concentra material desprendible, el cual, potencialmente, es la fuente de aporte para la existencia de corrientes de lodo y escombros.

El riesgo que ocasionan estos fenómenos, como el caso anterior, va desde la afectación a bienes económicos, como ganado, agricultura, vías de comunicación y acueductos, hasta la vida humana misma.

Los poblados de Atenquique—fuera del área de estudio—Platanar, San Marcos, Quesería—fuera del área de estudio—La Yerbabuena y La Becerrera, así como las haciendas San Antonio y El Jabalí, quedan incluidos dentro del área de afectación de un fenómeno de esta naturaleza.

## MATERIAL DE CAÍDA (TEFRA)

El Volcán de Colima ha tenido, sin lugar a duda, erupciones de tipo pliniano que han producido una gran cantidad de material tefrítico a lo largo de su historia (Medina-Martínez, 1983). La cantidad, el tamaño y la distribución del material de caída están en función del grado de explosividad de la erupción—altura de la columna eruptiva—y de la dirección y fuerza del viento predominantes en ese momento.

La dirección predominante de los vientos en la región de los volcanes de Colima es hacia el norte-noreste y, en consecuencia, la mayor parte de los depósitos de ceniza y material de caída libre se ha distribuido hacia el norte, noreste y este del Volcán de Colima. La concentración, el tamaño y el espesor de estos productos disminuyen con la distancia de la fuente de emisión.

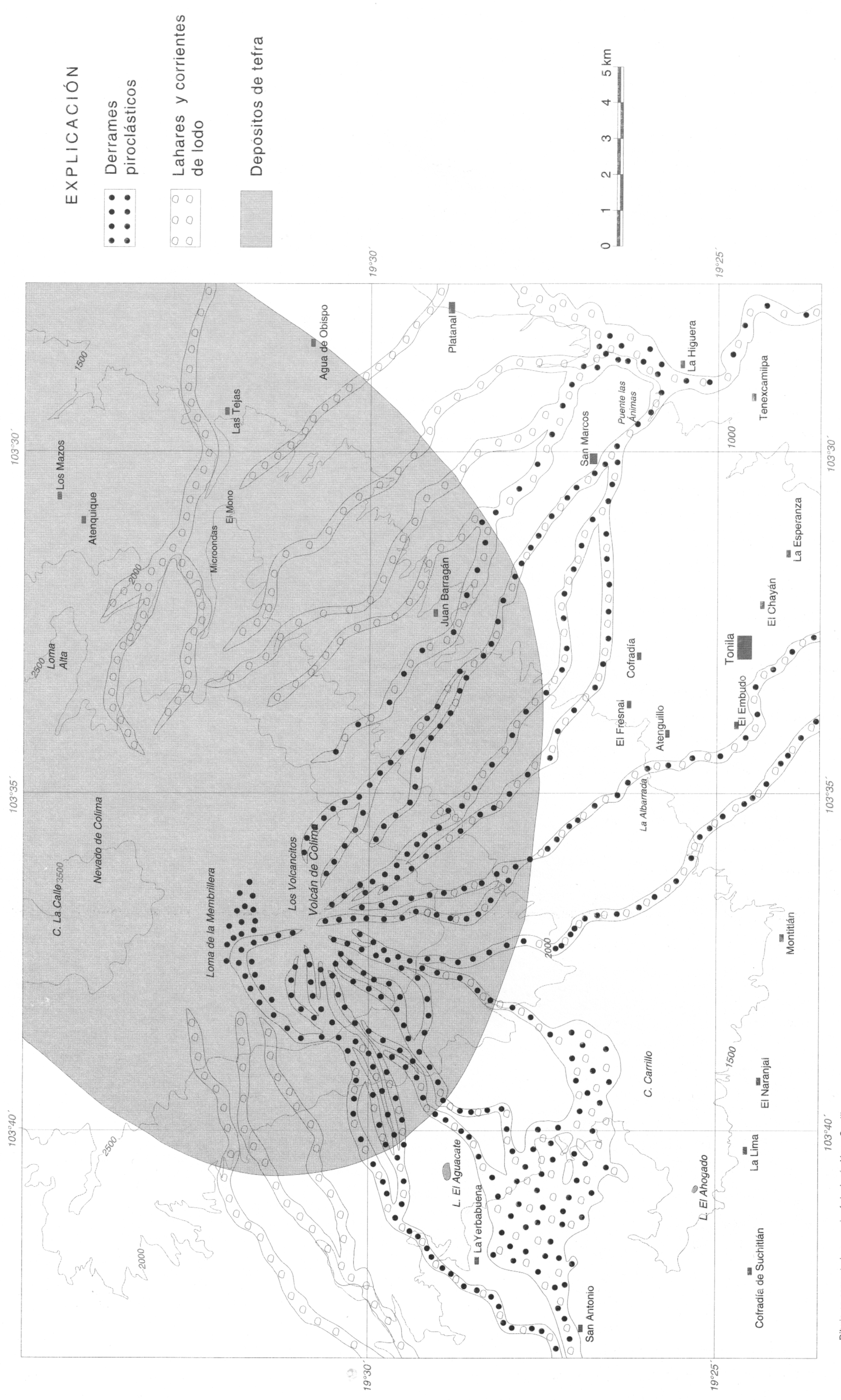
El material de caída libre representa diversos riesgos, entre los que destacan la sobrecarga en los techos de las construcciones, problemas respiratorios para los habitantes de las zonas más cercanas, formación de represas en las partes altas con la consecuente generación de lahares y derrames de lodo, taponamiento de acueductos y obstrucción a las vías de comunicación.

Es necesario mencionar que los asentamientos urbanos relativamente próximos al volcán, como Atenquique, Ciudad Guzmán, Zapotiltic, Tuxpan, Tamazula, e incluso Guadalajara, que se encuentran fuera del área de estudio, podrían verse afectados por una lluvia constante de cenizas.

## DERRAMES DE LAVA

En general, todos los derrames de lava ocurridos entre 1961 y 1991 se han restringido a la zona El Playón, en las

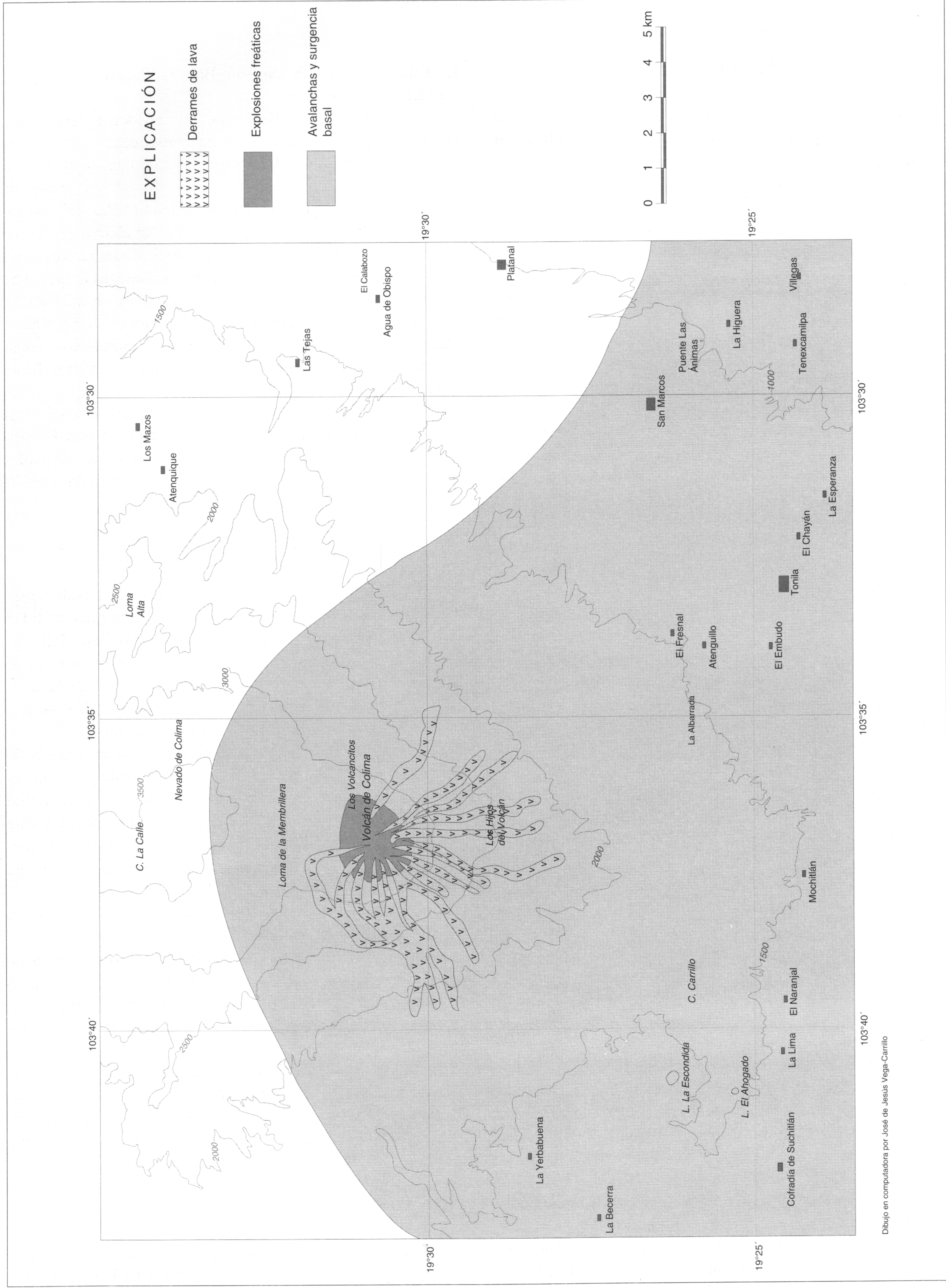




Dibujo en computadora por José de Jesús Vega-Carrillo

MAPA DE RIESGO PARA DERRAMES PIROCLÁSTICOS, LAHARES Y DEPÓSITOS DE TEFRA DEL VOLCÁN DE COLIMA





MAPA DE RIESGO PARA DERRAMES DE LAVA, EXPLOSIONES FREÁTICAS, AVALANCHAS Y SURGENCIAS BASALES DEL VOLCÁN DE COLIMA



partes altas del flanco septentrional, y a las barrancas que descienden por el flanco meridional—El Cafecito, Santa Ana y Cordobán. Por esta razón, se considera que el flanco septentrional—zona El Playón—y las partes altas del flanco meridional—aproximadamente hasta la cota 2,000 m s.n.m.—especialmente las barrancas La Lumbre, El Zarco, Cordobán, San Antonio, Playa de Montegrande, El Muerto, La Tuna y Santa Ana, parecen ser los cauces más idóneos para canalizar este tipo de manifestaciones en el futuro.

Por otro lado, prácticamente todos los eventos efusivos históricos en el Volcán de Colima caen dentro de la clasificación de derrames típicos de lava en bloques, característica que reduce al mínimo la velocidad de avance del frente de lava; por consiguiente, el riesgo que este tipo de fenómenos representa es mínimo, y se traduce solamente en posibles incendios forestales y afectación a redes de abastecimiento de agua.

Los derrames de lava, como tales, no representan un alto riesgo; sin embargo, en la mayoría de los casos, se presentan asociados con derrumbes parciales de rocas alteradas e inestables del domo, los cuales pueden constituirse en derrames piroclásticos con un contenido de material juvenil—lava en ascenso—de bajo a intermedio. Esto pudo ser observado de manera especial en la erupción de abril de 1991 (Rodríguez-Elizarrarás *et al.*, 1991), cuando la lava en bloques avanzó sobre los derrames piroclásticos que previamente habían rellenado las barrancas.

No es descartable la posibilidad de que se forme otro cono parásito en alguno de los flancos, ya que se tiene el antecedente histórico del nacimiento de Los Volcancitos en 1896. Es más probable la presencia de un fenómeno de esta naturaleza en el flanco sudoccidental, porque éste presenta mayores rasgos de debilidad en el terreno.

## EXPLOSIONES FREÁTICAS

Este tipo de manifestaciones queda restringido a la zona del cráter y suele ocurrir sin señal premonitoria alguna. La última manifestación de esta naturaleza en el Volcán de Colima ocurrió en julio de 1987, dejando como evidencia un cráter de explosión de forma ovalada, de aproximadamente 20 m de diámetro y 5 m de profundidad, localizado en el borde meridional del domo.

Como consecuencia de una explosión freática, pueden producirse derrumbes de proporciones regulares, los cuales bajarían por las barrancas principales, alcanzando distancias no mayores que 3 km.

## AVALANCHAS Y SURGENCIAS BASALES

La presencia de avalanchas y surgencias basales relacionadas con el deslizamiento total de alguno de los flancos del edificio volcánico—tipo St. Helens—es indudablemente muy difícil de predecir. La probabilidad de que un fenómeno de esta naturaleza se suscite en el Volcán de Colima puede conside-

rarse remota. No obstante, con base en algunos estudios geológicos anteriores, resulta claro que en la etapa inmediatamente anterior al actual Volcán de Colima—paleovolcán de Fuego—sucedió esta clase de fenómenos, teniendo como consecuencia la destrucción casi total del edificio volcánico (Luhr y Carmichael, 1980; Robin *et al.*, 1987; Luhr y Prestegard, 1988; Rodríguez-Elizarrarás, 1991).

En el caso de una erupción de este tipo, se considera como zona de alto riesgo todo el flanco meridional del Volcán de Colima, ya que es éste el más susceptible de colapsarse, debido a las características estructurales del edificio volcánico (Rodríguez-Elizarrarás, 1991). La distribución de los productos afectaría prácticamente a todos los poblados ubicados al sur, sudeste y sudoeste. Hay evidencia de estos depósitos en zonas tan alejadas como la misma ciudad de Colima, distante aproximadamente 30 km al sudoeste del volcán. Puede observarse los depósitos de avalancha, de edad más reciente, en el flanco sudoccidental del volcán, en los alrededores de las haciendas San Antonio y El Jabalí.

El máximo peligro que representan estos depósitos, además de su amplia distribución, es que no están condicionados por la topografía, y generalmente son de alta temperatura. Sus efectos pueden ser considerados como devastadores.

## ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE MONITOREO

Los estudios sobre la geología y geoquímica del Volcán de Colima tienen un estado de avance importante, y lo mismo puede decirse sobre algunos de los aspectos geofísicos más importantes, como sismología. Actualmente, son varios los investigadores que, aplicando diversos métodos de monitoreo, realizan trabajos en el área (Abrams *et al.*, 1991; Luhr y Carmichael, 1990; Komorowski *et al.*, 1992; Lesage y de la Cruz-Reyna, 1992; Williams, 1992; Jiménez *et al.*, 1992; Connor, 1992, entre otros). Los trabajos de investigación y coordinación que lleva a cabo el Centro de Investigación en Ciencias de la Tierra de la Universidad de Colima son, sin lugar a duda, de fundamental importancia. Sin embargo, debido a la multiplicidad de manifestaciones volcánicas que se requiere monitorear para la correcta vigilancia de un volcán activo, es necesario llevar a cabo estos estudios, con un grado de detalle cada vez mayor y con mayor continuidad.

Durante los años de 1988-89, el presente autor estuvo involucrado en una campaña de muestreo de gases volcánicos en la zona del cráter del Volcán de Colima, junto con investigadores de la Universidad de Florencia, Italia (Capaccioni y Rodríguez-Elizarrarás, 1989), en la que se puso de manifiesto la imposibilidad de tomar muestras representativas del contenido de gases típicamente de origen magmático—SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, Cl, F, etc.—debido al intenso fracturamiento existente en la parte de la cima, lo que permite la circulación libre de aire, con la disminución de la temperatura y concentración de los gases consecuentes. Los problemas que representa el muestreo de gases, por las condiciones del cráter, son muy grandes y,



hasta la fecha, con las técnicas empleadas, no se ha podido obtener resultados satisfactorios que permitan un monitoreo confiable, mediante el control geoquímico de los mismos.

Sin duda, los métodos físicos, como la sismología y estudios de deformación del terreno, son los que más eficiencia pueden aportar en el corto plazo, ya que pueden ser telemetrizados con un grado de anticipación lo suficientemente grande para prevenir una catástrofe. Los problemas de acceso al Volcán de Colima hacen necesario poner el mayor énfasis en este tipo de métodos, con la finalidad de mantener una vigilancia y monitoreo permanentes.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con su historia eruptiva, el Volcán de Colima puede ser considerado, sin duda, como el volcán más activo de México. Este hecho, sin embargo, no lo convierte necesariamente en el volcán que mayor riesgo presenta para su entorno, si es comparado con volcanes como el Popocatepetl o el Pico de Orizaba. Éstos, si bien no tienen una historia eruptiva tan intensa como la del Volcán de Colima, sus grandes dimensiones y ubicación en las cercanías de ciudades tan pobladas como el Distrito Federal, Puebla u Orizaba, los hacen tal vez los más peligrosos del país.

Dentro de la amplia gama de manifestaciones históricas que ha tenido el Volcán de Colima, son pocas las que destacan por su grandiosidad, y no puede decirse, aun de éstas, que hayan tenido un impacto devastador en la población y bienes circundantes. Por el contrario, la mayoría de las erupciones históricas del Volcán de Colima, ha sido de tipo efusivo; esto es, erupciones caracterizadas por derrames de lava en bloques, los cuales descienden muy lentamente por las laderas, sin haber alcanzado, prácticamente en ninguno de los casos, cotas inferiores a los 2,000 m s.n.m.m., y una longitud máxima de aproximadamente 5 km a partir del cráter.

Tal vez uno de los riesgos más significativos que presenta el Volcán de Colima sea los colapsos de porciones significativas de roca alterada del domo, como resultado del empuje mecánico que ejerce la lava en su ascenso por el conducto. Éstos pueden generar derrames de bloques y ceniza—*block and ash flows*—que tienden a encanalarse por las barrancas, lo que asociado con el volumen de material desprendido, determina la distancia de alcance de estos derrames. Un ejemplo típico de lo anterior es la erupción ocurrida el 16 y 17 de abril de 1991 (Rodríguez-Elizarrarás *et al.*, 1991).

Seguramente, el Volcán de Colima tendrá erupciones similares a las experimentadas en el pasado, dentro de las cuales se incluye las altamente explosivas. Sin embargo, con base en observaciones de campo, es posible afirmar que la actividad predominante del volcán seguirá siendo la efusiva, asociada con el desplazamiento de derrames de bloques y ceniza derivados de la roca alterada del domo, cuyos efectos, de acuerdo con el volumen de material implicado, podrían ser considerables, principalmente en el flanco sudoccidental.

Por todo lo anterior, es muy importante que un volcán con las características que presenta el Volcán de Colima sea objeto de una observación sistemática y cada vez más detallada de todos sus parámetros, ya que es ésta la única forma de llegar a conclusiones acertadas sobre su actividad en el futuro y las posibles consecuencias que tendría en el entorno socio-económico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrams, Michael; Glaze, Lori; y Sheridan, Michael, 1991, Monitoring Colima volcano, Mexico, using satellite data: *Bulletin of Volcanology*, v. 53, p. 571-574.
- Capaccioni, Bruno, y Rodríguez-Elizarrarás, Sergio, 1989, Volcán de Colima—present activity inferred from stratigraphic records and geochemical data: *Bulletin of New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Continental magmatism, Abstracts*, v. 131, p. 41 (resumen).
- Connor, C.B.; Clement, B.M.; Lane, S.B.; Song, Xiao Dan; Reyes, Gabriel; y Ornelas, Gilberto, 1992, Continuous monitoring of an active fumarole field—Volcán de Colima, Mexico: Colima, Universidad de Colima, Memorias de la Tercera Reunión Nacional "Volcán de Colima", p. 6 (resumen).
- Jiménez, Zenón; Reyes, Gabriel; Valencia, Carmen; Ramírez, Ariel; Ornelas, Gilberto; y Tamez, Héctor, 1992, Características de la sismicidad en la región del Volcán de Colima: Colima, Universidad de Colima, Memorias de la Tercera Reunión Nacional "Volcán de Colima", p. 68 (resumen).
- Komorowski, J.C.; Siebe, Claus; Rodríguez-Elizarrarás, Sergio; Espíndola, J.M.; Saucedo, Ricardo; y Shields, P., 1992, Mineralogical, geochemical and sedimentological investigations of the April 16th and 17th, 1991 block-and-ash flow deposits at Volcán de Colima, Mexico: Colima, Universidad de Colima, Memorias de la Tercera Reunión Nacional "Volcán de Colima", p. 9-10 (resumen).
- Lesage, Phillipe, y de la Cruz-Reyna, Servando, 1992, La primera estación inclinométrica del Volcán de Fuego de Colima: Colima, Universidad de Colima, Memorias de la Tercera Reunión Nacional "Volcán de Colima", p. 7 (resumen).
- Luhr, J.F., y Carmichael, I.S.E., 1980, The Colima volcanic complex, Mexico—I. Post-caldera andesites from Volcán Colima: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 71, p. 343-372.
- 1990, Petrological monitoring of cyclical eruptive activity at Volcán Colima, Mexico: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 42, p. 235-260.
- Luhr, J.F., y Prestegard, K.L., 1988, Caldera formation at Volcán Colima, Mexico, by a large Holocene volcanic debris avalanche: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 35, p. 335-348.
- Medina-Martínez, Francisco, 1983, Analysis of the eruptive history of the Volcán de Colima, Mexico (1560-1980): *Geofísica Internacional (México)*, v. 22, p. 157-178.
- Robin, Claude; Mossand, Philippe; Camús, Guy; Cantagrel, J.M.; Gourgand, Alain; y Vincent, P.M., 1987, Eruptive history of the Colima Volcanic Complex (Mexico): *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 31, p. 99-113.
- Rodríguez-Elizarrarás, S.R., 1991, Geología del Volcán de Colima, estados de Jalisco y Colima: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, tesis de maestría, 103 p. (inédita).
- Rodríguez-Elizarrarás, Sergio; Siebe, Claus; Komorowski, J.C.; Espíndola, J.M.; y Saucedo, Ricardo, 1991, Field observations of pristine block-and-ash-flow deposits emplaced April 16-17, 1991 at Volcán de Colima, Mexico: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 48, p. 399-412.
- Thorpe, R.S.; Gibson, I.L.; y Vizcaíno, J.S., 1977, Andesitic pyroclastic flows from Volcán Colima: *Nature*, v. 265, p. 724-725.
- Waitz, Paul, 1915, Der gegenwärtige Stand der mexikanischen Vulkane und die letzte Eruption des Vulkans von Colima (1913): *Zeitschrift für Vulkanologie*, v. 1, p. 247-274.

——— 1921, Nubes ardientes observadas en las **erupciones** del Jorullo (1759), del Ceboruco (1870) y del Colima (1913): *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate* (México), v. 37, p. 267.

——— 1932, Datos históricos y bibliográficos acerca del Volcán de Colima: *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate* (México), v. 53, p. 349-384.

Williams, S.N.; de la Cruz-Reyna, Servando; Núñez-Cornú, Francisco; Sano, Yuji; y Sturchio, N.C., 1992, 1991 (February-June) eruption of Colima

volcano, Mexico: Colima, Universidad de Colima, *Memorias de la Tercera Reunión Nacional "Volcán de Colima"*, p. 33 (resumen).

Manuscrito presentado: 30 de noviembre de 1992.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 4 de marzo de 1993.

Manuscrito aceptado: 1 de abril de 1993.