

01060

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

PROGRAMA DE POSGRADO EN GEOGRAFÍA



**SIMULACIÓN DE ESCENARIOS ERUPTIVOS
DEL VOLCÁN DE COLIMA Y APORTACIONES AL
PLAN DE CONTINGENCIAS DEL ESTADO DE COLIMA**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRO EN GEOGRAFÍA
PRESENTA
JUAN CARLOS GAVILANES RUIZ

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



POSGRADO EN GEOGRAFÍA
COORDINACIÓN

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa Estela. Su amor, esfuerzo y sacrificio hicieron posible este trabajo, para ella el mayor agradecimiento.

A mis padres Gloria y Jorge, a mis hermanos Francisco, Ma. del Carmen, Marina, Bruno y Rodrigo. A mi suegra Doña María, a mis cuñados Felipe, Ramón, Raúl, Miguel, Luis, Trino, Fidelina, Aurora, Olivia y sus familias. A todos ellos por brindarme su protección, solidaridad y amor.

A la Dra. Lucía Capra Pedol por haber dedicado tanto tiempo extra de enseñanza que mi entendimiento requería, así como por su colosal paciencia y su increíble capacidad académica. A los doctores José Luis Macías Vázquez, Oralia Oropeza Orozco y José Lugo Hubp por su enorme ayuda en la revisión de este trabajo, además de su excelente desempeño como profesores.

Al Dr. Ignacio Galindo Estrada y a la Dra. Georgina Ríos, del Centro Universitario de Investigaciones en Ciencias del Ambiente de la U. de C., les agradezco no solamente su apoyo absoluto e indispensable a este trabajo, sino también el haberme ayudado enorme y desinteresadamente cuando más los necesitaba, poco antes de iniciar mis estudios de maestría. Del mismo centro, agradezco la ayuda de la M.C. Martha Evangelista y del M.I. Juan Pablo Pérez.

A los doctores Jesús Manuel Macías Medrano y Georgina Calderón Aragón, por enseñarme que los estudios sobre desastres implican necesariamente un compromiso tanto profesional como moral, y poner el ejemplo. Ojalá nunca los decepcione.

A los venerados Dr. Francisco Olvera De la Rosa, la Lic. Yolanda Yarza, la M.C. Margarita Cerviño, la maestra Silvia Halphen González y al Dr. Genaro Bohórquez Súmano, por poner todo de su parte como profesionales y como amigos para ayudarme a concluir este trabajo, especialmente en momentos difíciles.

A mis compañeros y amigos con quienes he gozado desde 1993 las maravillas inherentes a la investigación sobre el Volcán de Colima, habiendo compartido momentos de fascinación y de desilusión: Alicia Cuevas Muñiz, Abel Cortés Cortés, Ricardo Saucedo Girón, , Adriana Mora Amezcua. Gloria Esther Ceballos Magaña, Luz María Pérez Santa Ana, Carlos Navarro Ochoa, Gabriel A. Reyes Dávila, Hydyn Santiago Jiménez, Eliseo Alatorre Chávez, Justo Orozco Rojas, Armando Téllez Alatorre, Ariel Ramírez, Mitchell Ventura y Sergio Velasco. Incluyo en este grupo a nuestros primeros y principales asesores académicos: los doctores Víctor Hugo Garduño Monroy y Jean-Christophe Komorowski, con quienes compartimos las mismas experiencias. Una gran parte de lo poco que sé sobre volcanes se lo debo a todos ellos. Al Dr. Robert I. Tilling por su asesoría recibida a lo largo de más de 5 años de labores sobre riesgo volcánico

A Nick Varley, por ser un amigo que me ha brindado una excelente orientación académica, por hacer tan agradable el trabajo de campo bajo circunstancias peligrosas y por apoyarme bajo cualquier circunstancia.

Al Dr. José Juan Zamorano por haber confiado en mi capacidad y recomendar mi aceptación en la maestría en geografía. A la Dra. Irasema Alcántara Ayala por su asesoría en el inicio del desarrollo de la tesis. Al Dr. Lorenzo Vázquez Selem por ser un profesor e investigador ejemplar y por su apoyo personal.

A la Lic. Edith Ugalde por su indispensable orientación en la selección de asignaturas y su efectiva intervención en la gestión administrativa de mis estudios y examen de maestría.

Al Lic. Miguel Ramírez del Departamento de Percepción Remota y SIG del Instituto de Geografía por su ayuda, incluso en días no hábiles, en la impresión de mapas.

A mi primo Ricardo Ruiz López, por su apoyo brindado pese a estar lejos de su patria y de sus familiares.

A mis amigos Lilia Arana, Lía Carreras Soriano, Marcos Luna, Renato Castro, Pati Julio, Carlos y Rocío Ortiz, por ofrecer y brindar su ayuda en todo momento.

Al Lic. Víctor Vázquez Cerda y a la M.T.G. Alma E. Cárdenas López, así como a las compañeras(os) y amigas(os) de mi esposa: Don Felipe, Lulú, Tere, Gloria, Yola, Luz, Rosa Elena, Irma, Chano y Gil, por el invaluable apoyo que nos brindaron en la realización de mis estudios de maestría.

A mis amigos del Grupo de Montaña de Colima: Mitch, Santiago, Luis Enrique, Ángel Omar, Ruri, Lorena, Gerardo, Juan José, Natalie, Viviana, José Luis P., José Luis A., Giordano, Itzel, y de manera muy especial a Luis Horacio Arellano Magaña, a quien siempre recordaremos al mirar el Volcán.

Al personal del Sistema Estatal de Protección Civil de Colima, en especial al Sr. Melchor Ursúa Quiroz, al Dr. Luis A. Salazar Saborío, a la Lic. Gema Tintos, al Lic. Alejandro Alcántara, a los radio-operadores Carlos Saucedo y colegas, así como al Sr. Javier Velasco Villa. Por todo el apoyo y confianza recibidos en lo laboral y en lo personal desde 1993.

Al personal del Sistema Estatal de Protección Civil de Jalisco, en especial al C. Alfredo Hernández Rodríguez y a los elementos destacados en el observatorio "Bravo Néctar", por mantener siempre contacto por radio durante mis trabajos de campo en zonas de riesgo de difícil acceso.

A la familia Baeza Utzinger, por brindarme desinteresadamente su casa durante los primeros meses de mis estudios de maestría

A mis amigos Andrew Burton y Glenda Virgen Ballesteros, por su apoyo a lo largo de años.

A los habitantes de las comunidades próximas al Volcán de Colima, en especial a los de La Yerbabuena. A las familias Ramírez, Cuéllar, Sandoval, Altamirano, Méndez y Montejano, entre otras.

A la Universidad de Colima. En especial a la Lic. María Elena Martínez y a la M.C. Genoveva Amador F., de la Dirección General de Intercambio Académico y Becas, por su invaluable gestión y apoyo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en particular a la Facultad de Filosofía y Letras, y a los institutos de Geografía y de Geofísica.

A mis compañeros de la maestría, por su desinteresada ayuda en explicarme lo mucho que no entendía en clase: Itzia, Víctor, Miriam, Daniel, Emilio, Ligia, Sandra, Jesús, Anayatzin, Clara, Chepe, Héctor, Javier, Verónica, Juan Carlos y Moisés.

No cabe duda que soy un tipo con mucha suerte por rodearme de todas las personas mencionadas.

Los fondos económicos para la realización de mis estudios de maestría y de este trabajo provinieron de:

1. Beca del Programa de Mejoramiento del Profesorado (promeP) de la Secretaría de Educación Pública, gestionada por la Universidad de Colima.
2. La Universidad de Colima, Centro Universitario de Investigaciones en Ciencias del Ambiente.
3. Proyecto CONACyT "Mapa de peligros volcánicos del volcán Nevado de Toluca"
No. 37889-T

A dichas instituciones y a los contribuyentes que aportaron los fondos, mil gracias.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Marco conceptual	2
1.2.1	La visión dominante	2
1.2.2.	La visión alternativa	3
1.3	Antecedentes del problema en Colima	3
1.3.1.	La crisis de 1998-1999	3
1.3.2.	La crisis de 2001-2003	4
1.4.	Objetivos primarios	4
1.5	Objetivos secundarios	4
1.6	Metas	4
II.	ANTECEDENTES	5
2.1	Actividad eruptiva del Volcán de Colima	6
2.2	Breve descripción de los mapas de peligro existentes	8
2.3	Reseña histórica del manejo de las crisis volcánicas en Colima	8
2.3.1.	Los planes de contingencia volcánica en el estado de Colima	8
2.3.2	La protección civil y la mitigación del riesgo volcánico según las autoridades competentes del estado de Colima	9
III.	LOS PELIGROS VOLCÁNICOS	12
3.1.	Introducción	12
3.1.1	Características generales de los peligros volcánicos	12
3.1.1.1	Flujos piroclásticos	12
3.1.1.2	Lahares	13
3.1.1.3	Avalanchas de escombros	14
3.1.1.4	Flujos de Lava	14
3.1.1.5	Lluvia de ceniza y proyectiles balísticos	14
3.2	Metodología	15
3.3	Simulación y mapeo de los peligros del Volcán de Colima	18

3.3.1. Avalanchas de escombros	18
3.3.1.1 Introducción	18
3.3.1.2 Escenarios eruptivos	21
3.3.1.2.1 Colapso sectorial	22
3.3.1.2.2 Colapso de un flanco	24
3.3.1.3 Cálculo de probabilidades	28
3.3.2 Flujos de escombros o lahares	31
3.3.2.1. Introducción	31
3.3.2.2 Simulación de lahares mediante LAHARZ	36
3.3.2.2.1 Volúmenes de lahar de 500,000 m ³	40
3.3.2.2.2 Volúmenes de lahar de 1,500,000 m ³	43
3.3.2.2.3 Volúmenes de lahar de 3,000,000 m ³	45
3.3.2.2.4 Volúmenes de lahar de 5,000,000 m ³	47
3.3.2.3 Probabilidad de ocurrencia	48
3.3.3 Flujos piroclásticos	51
3.3.3.1 Introducción	51
3.3.3.2 Clasificación de escenarios eruptivos	56
3.3.3.3 Coeficientes de fricción aparente (H/L) de cada escenario eruptivo	59
3.3.3.4 Simulación de flujos piroclásticos mediante FLOW3D	64
3.3.3.5 Simulación de flujos piroclásticos diluídos mediante el cono de energía con FLOW3D	73
3.3.3.6 Mapa de peligros por flujos piroclásticos	76
3.3.3.7 Probabilidad	76
3.3.4. Caída de ceniza	79
3.3.4.1 Introducción	79
3.3.4.2 Elementos considerados para la representación de las zonas posibles de caída de ceniza	81
3.3.4.3 Direcciones de viento en los niveles superiores de la tropósfera, en la tropopausa y en la estratósfera	81
3.3.4.4 Direcciones de viento en los niveles cercanos a la cima del volcán	84
3.3.4.5 Áreas probables de mayor afectación por lluvia de ceniza	89
3.3.4.5.1 Área dentro del radio de 10 km con posible lluvia de ceniza de	

0.3 m o más de espesor	89
3.3.4.5.2 Área dentro del radio de 10 a 30 km con posible lluvia de ceniza de 0.3 a 0.15 m de espesor	89
3.3.4.6. Mapa de peligros final	90
IV. APORTACIONES AL PLAN DE CONTINGENCIAS	94
4.1. Metodología	94
4.1.1 Fundamentos teóricos	94
4.1.2 Acciones	97
4.2. Análisis de los planes de contingencia volcánica vigentes en el estado de Colima	97
4.2.1 El Plan Operativo Volcán de Colima y el Manual de Procedimientos Operativos en Caso de Emergencia	97
4.2.2 Análisis de experiencias previas en operativos de alerta y evacuación en el estado de Colima	98
4.2.2.1 El rol de los vulcanólogos en la mitigación del riesgo volcánico	98
4.2.2.2 Actividad volcánica y gestión del riesgo en el estado de Colima de 1998 a 2003	99
4.2.2.3 Discusión	107
4.3 Aportaciones a los planes de contingencia vigentes en el estado de Colima	108
4.3.1 Determinación detallada de zonas de amenaza bajo algunas condiciones de actividad volcánica	108
4.3.2 Propuestas de acciones a realizar por las autoridades del Sistema Estatal de Protección Civil y/o el Comité Técnico Científico Asesor para mejorar la gestión del riesgo volcánico en las comunidades más amenazadas	111
V. CONCLUSIONES	113
BIBLIOGRAFÍA	116
ANEXO	123

I. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad volcánica siempre ha representado una amenaza para la humanidad. Los desastres que ha inducido la actividad eruptiva comprenden desde erupciones cataclísmicas como la del Tambora (Indonesia) en el siglo XIX, causando más de 100,000 fatalidades (Blong, 1984), hasta eventos de intensidad mínima como la de noviembre de 1994 del volcán Merapi, que le quitó la vida a más de 40 personas. Nada más en Latinoamérica, durante el siglo XX ocurrieron cuatro erupciones que contribuyeron con el 80% de las fatalidades volcánicas a nivel mundial: la del volcán Mt. Pelée (Martinica) en 1902, con 25,000 víctimas; la del Santa María (Guatemala) en 1902, con 6,000 muertos; la del Nevado del Ruiz (Colombia) con 25,000 muertes (De la Cruz *et al.*, 2000) y la del volcán Chichón, con 2,000. El incremento de la población durante las últimas décadas en zonas de riesgo volcánico en los países subdesarrollados prevé un futuro poco optimista. A pesar de los avances recientes de la vulcanología, muchos de los volcanes potencialmente peligrosos carecen de sistemas de vigilancia y zonificación de amenazas, así como de planes de emergencia en caso de que se reactiven. El ejemplo más tristemente evidente lo constituye la erupción de 1985 del volcán colombiano Nevado del Ruiz, en la que una mala comunicación entre los científicos y las autoridades responsables de la protección civil, sumada a un escaso nivel de información entre la población (Voight, 1996) hicieron que las consecuencias de una erupción de magnitud moderada ocasionara la calamidad.

En general se han considerado exitosas las medidas de mitigación o prevención de los efectos desastrosos de las erupciones basadas en zonificación de amenazas y pronósticos de la erupción. Un ejemplo es la gestión de la crisis del volcán Pinatubo, en 1991 (Newhall y Punongbayan, 1996). Por el contrario, algunos autores han considerado contraproducente la aplicación de medidas similares, como las implementadas en las crisis recientes como la del volcán Tungurahua de 1999-2000 (Vieira, 2001) o la del reciente episodio eruptivo del Reventador (Macías Medrano, com. pers). Es importante para los países latinoamericanos profundizar la investigación de sus volcanes y vincular los conocimientos obtenidos con la prevención y mitigación de desastres volcánicos.

La intensificación de la actividad del Volcán de Colima en 1998 (Gavilanes y Cortés, 1999, 2000; Saucedo *et al.*, 2002; Taran *et al.*, 2000, 2002; Zobin *et al.*, 2002), puso de manifiesto que los planes de contingencia aplicados deberían ser mejorados y actualizados para incrementar su eficiencia. Para mitigar de manera mas eficiente los efectos de una erupción, se requiere conocer el comportamiento pasado de un volcán para así poder pronosticar su comportamiento futuro. Por lo tanto, necesitamos conocer su historia eruptiva para definir los tipos de peligro que ha generado y así delimitar la zona de influencia de cada amenaza. El Volcán de Colima ha mostrado diferentes peligros o amenazas. Estos son flujos de lava, flujos piroclásticos, avalanchas de escombros, flujos de escombros o lahares y caída de ceniza. Cada uno de estos peligros es originado de distinta manera y, por lo tanto, tienen diferentes mecanismos. En consecuencia, para poder mejorar e implementar los sistemas de alerta y planes de contingencia es necesario construir mapas de peligros por cada tipo de evento volcánico y establecer la recurrencia de cada uno de los peligros.

1.2 MARCO CONCEPTUAL

1.2.1 La *visión dominante*

La United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) ha considerado que la mitigación y/o prevención de los desastres debidos a erupciones volcánicas se basa en tres elementos fundamentales: a) La zonificación de amenazas a partir de estudios estratigráficos de los productos expulsados por erupciones previas, esto es, reconstruir la historia eruptiva y delimitar las áreas potenciales de afectación de cada tipo de evento (Crandell *et al.*, 1984), b) El funcionamiento de un sistema de vigilancia volcánica, general y óptimamente basado en una red de sismógrafos telemetrizados, con la finalidad de alertar a las autoridades del aumento de las probabilidades de que ocurra una erupción, y c) La aplicación de un plan de emergencia que incluya la realización de simulacros, información a la población sobre las características de los eventos volcánicos posibles, así como las medidas que tomarán las autoridades sobre cómo y dónde evacuar. Recientemente se ha propuesto incluir en este último inciso el diseño de un árbol que describa la probabilidad de diferentes escenarios, el cual relaciona cada escenario eruptivo con una probabilidad asignada, describiendo además la posible evolución y concatenación de escenarios (Newhall y Hoblitt, 2002). En el árbol de probabilidad, las probabilidades asignadas deben actualizarse en tanto la crisis evoluciona (De la Cruz *et al.*, 2000).

Esta visión ha sido considerada por algunos como de tipo tecnocrática y neopositivista-cartesiana, ya que atribuye al medio natural la capacidad de amenazar al hombre, desligando a éste de la responsabilidad de dicha amenaza y por tanto haciendo *cómoda* para algunos la atribución de la calamidad a la naturaleza (Hewitt, 1997; Maskrey, 1998)

1.2.2 La visión alternativa

Por su parte, otros estudiosos de los desastres consideran a la amenaza como parte de la sociedad (con todo el entreteje histórico, social, político y económico), siendo la primera generada por la segunda, ya que los fenómenos destructores naturales siempre han ocurrido de manera más o menos periódica, lo cual es asumido como algo natural. De esta manera se considera al desastre como un proceso de construcción social que comienza mucho antes de que se presente lo que los científicos *duros* denominan amenaza o peligro (Macías Medrano, 1999; Calderón, 2001).

En el presente trabajo, la parte correspondiente a simulaciones y mapeo (capítulo III) se apega a la visión dominante, mientras que del capítulo IV en adelante, dado su contenido social, se utiliza una visión predominantemente alternativa.

1.3 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA EN COLIMA

1.3.1 La crisis de 1998-1999

Durante la crisis de 1998 y 1999 se observó la incertidumbre de los pronósticos típica de periodos eruptivos de tipo explosivo pequeños e intermitentes (Blong, 1984). Además, la evacuación que se prolongó 32 días (con todas las connotaciones negativas tales como la pérdida de credibilidad en las autoridades y en los científicos) debido principalmente a la incertidumbre del pronóstico de la actividad volcánica, reflejó la necesidad de la aplicación de nuevos elementos en los planes de contingencia para una mejor toma de decisiones. Además de lo anterior, en esta crisis se pudo percibir una influencia del tipo de actividad volcánica (efusivo y explosivo) en la respuesta social (Gavilanes, 2000; Reyes-Dávila y De la Cruz-Reyna, 2002)

1.3.2 La crisis de 2001-2003

Durante esta crisis se registraron dos evacuaciones. La primera, efectuada el 5 de febrero de 2002, al parecer realizada sin la recomendación consensada del Comité Técnico Científico Asesor, cuando un domo de lava estaba próximo a desbordar. Varias familias se negaron a evacuar. De hecho, la población evacuada fue regresada a su comunidad 6 días después, justo cuando los primeros derrumbes y pequeños flujos piroclásticos iniciaban.. Algunos habitantes de la zona que había sido evacuada manifestaron "¿Por qué nos regresan justo cuando el peligro aumentó?". La segunda evacuación, sugerida por el Comité Científico Asesor, se efectuó el 18 de mayo de 2002, durante el registro de más de 30 horas continuas de temblor, algo nunca visto en el Volcán de Colima (Reyes-Dávila, com. pers.). Podría pensarse que hubo una sobre-reacción de los científicos, lo cual sugirió que las lecciones de la crisis de 1998-1999 no fueron aprendidas. La evacuación duró 18 días, y más familias se negaron a participar en el operativo. En el capítulo IV se tratarán estos temas con mayor detalle.

1.4 OBJETIVO PRIMARIO

- ❖ Definir los distintos tipos de peligros volcánicos asociados a la actividad del Volcán de Colima en términos probabilísticos y expresarlos en mapas. Como producto se obtendrán mapas de peligro con base en el tipo de flujo, alcances máximos y recurrencias.

1.5 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- ❖ Reconstruir la historia de las erupciones del Volcán de Colima.
- ❖ Determinar los alcances de cada tipo de avalancha de escombros, flujos piroclásticos, lahares y materiales de caída aérea.
- ❖ Determinar la recurrencia temporal de cada evento eruptivo
- ❖ Compilar mapas de peligro por cada tipo de actividad.
- ❖ Recopilación de información sobre patrones de viento y sus alcances. Proponer por cada tipo de evento volcánico aportaciones al plan de contingencias del Estado de Colima.
- ❖ Ofrecer nuevos elementos a las autoridades para la toma de decisiones relativas a la gestión del riesgo volcánico en el Estado de Colima.

1.6 METAS

- ❖ Delimitar las diferentes zonas de peligro
- ❖ Elaborar mapas temáticos basados en probabilidades para cada estilo eruptivo

II. ANTECEDENTES

2.1 ACTIVIDAD ERUPTIVA DEL VOLCÁN DE COLIMA EN EL TIEMPO

El Volcán de Colima ($19^{\circ}30.709'N$ y $103^{\circ}37.003'W$, 3,860 msnm) se sitúa en el occidente del Cinturón Volcánico Transmexicano (Figura 1). Forma parte del Complejo Volcánico de Colima (CVC). El CVC consiste de norte a sur de los volcanes Cántaro, Nevado de Colima y Volcán de Colima, siendo este último activo.

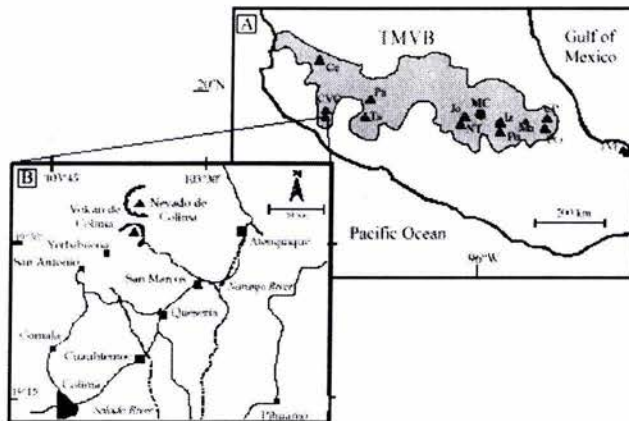


Figura 1. Localización del Volcán de Colima. Tomada de Saucedo et al., 2004.

La actividad del CVC inicia con la migración hacia el sur de la actividad volcánica después de la secuencia de formación y destrucción de edificios volcánicos del Nevado de Colima (Robin *et al.*, 1987; Robin *et al.*, 1991), que ocasionó varias avalanchas y flujos de escombros de grandes volúmenes con alcance superior a los 20 km (Komorowski *et al.*, 1997; Capra y Macías, 2002). Por su parte, el Volcán de Colima también ha presentado este tipo de eventos, uno de ellos hace 3,600 años (Cortés, 2002). La actividad histórica de este volcán, registrada desde el siglo XVI, se ha caracterizado por diversos estilos eruptivos que van desde el más explosivo, el pliniano (Saucedo, 1997; Saucedo y Macías, 1999) hasta el menos violento, el merapiano (Rodríguez-Elizarrarás *et al.*, 1991), pasando por una serie de estilos eruptivos intermedios de diferentes características (Medina, 1983; De la Cruz, 1993; Komorowski *et al.*, 1997; Saucedo, 1997; Saucedo y Macías, 1999; Saucedo, 2001; Bretón *et al.*, 2002).

Existe un mapa geológico a escala 1:50000 del Complejo Volcánico de Colima (Cortés, 2002) que incluye los depósitos de los volcanes Nevado de Colima y Volcán de Colima (ver anexo). El mapa contiene las principales estructuras volcano-tectónicas y los puntos de muestreo para el fechamiento de los depósitos piroclásticos. Este mapa es un punto fundamental de inicio para poder modelar escenarios futuros y establecer periodos de recurrencia para las distintas actividades que el volcán ha registrado en su historia eruptiva.

2.2 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS MAPAS DE PELIGRO EXISTENTES

Uno de los primeros antecedentes que tratan temas sobre mapas de peligro del Volcán de Colima lo constituye el trabajo de Lugo-Hubp *et al.* (1993), en el que identifica y clasifica a la morfología (profundidad de barrancos, pendientes, etc.) y a la resistencia de los materiales emplazados como los factores más determinantes de las condiciones de peligro. Estos autores también mencionan la posibilidad de represamientos por avalanchas de escombros en los grandes ríos localizados en los límites este y oeste del graben de Colima.

El primer mapa de amenazas del Volcán de Colima fué presentado por Martin del Pozzo *et al.* (1995). Estos autores clasificaron las áreas afectadas por diferentes tipos de flujos piroclásticos, flujos de lava, caída de pómez gruesa y ceniza, lahares y avalanchas de escombros.

El mapa de peligros del Volcán de Colima de Navarro y Cortés (2003) de la Universidad de Colima es considerado como el mapa “oficial” de las autoridades estatales de Colima aún antes de ser impreso en forma masiva en 2003 (ver anexo). La principal diferencia entre ambos mapas es que este último tiene líneas de dirección predominante del viento según el semestre del año, e indica un radio de 5 km como máximo alcance de proyectiles balísticos. Es importante observar que estos mapas mencionan la cronología de los eventos eruptivos más importantes y sus fenómenos asociados, aunque no presentan algún tipo de zonificación basada en probabilidades. Por otra parte, el mapa de Martin Del Pozzo *et al.* tiene isopacas (las cuales no tiene el de Navarro y Cortés).

Por su parte, Sheridan y Macías (1995) utilizaron el alcance máximo de flujos piroclásticos reportados en la literatura para definir sus coeficientes de fricción, empleando el concepto de líneas de energía. De esta forma clasificaron dichos flujos en grandes, o sea, aquellos producidos por actividad pliniana o peleana de pómez y bloques y ceniza ($H/L= 0.22-0.28$) y pequeñas avalanchas de bloques y ceniza ($H/L= 0.33-0.38$). Estos datos los proyectaron sobre hojas de papel de probabilidad aritmética, obteniendo valores de probabilidad aproximada para cada tipo de flujo. De la misma forma se pueden

calcular los coeficientes de fricción (o de Heim) de poblados situados alrededor del volcán trazando líneas de energía. Así se determinaron las probabilidades de riesgo de varias localidades localizadas alrededor del volcán.

Otros dos mapas del Volcán de Colima fueron elaborados por científicos de la Universidad de Guadalajara y de la Universidad de Colima (Suárez Plascencia et al., 2002). Uno de ellos se titula *Volcán de Fuego "El Colima", proceso eruptivo 1999-2002, Áreas de exclusión y amortiguamiento para eventos explosivos tipo 10 de febrero VEI 2-3*. Este mapa (ver anexo) muestra tres áreas: una de *exclusión total a actividades económicas y asentamientos poblacionales debido a peligro de caída de rocas por eventos de tipo explosivo (con un radio medio de ocho km.)*, otra llamada *de amortiguamiento* en la que *se puede habitar* y desarrollar actividades económicas, manteniendo un estado de alerta, la que dependerá de la actividad explosiva que presente el volcán, y una tercer área de amortiguamiento expuesta a peligros por lahares y flujos piroclásticos en las barrancas. Durante reuniones del Comité Técnico Científico Asesor celebradas en 1999, los autores explicaron que se basaron en cálculos físicos hechos a partir de estudios de campo de cráteres de impactos de proyectiles balísticos de las explosiones del 10 de febrero y 10 de mayo de 1999, para establecer que la expulsión de estos proyectiles implicó la liberación de cierta cantidad de energía, y que no era necesaria mucha más energía para que los proyectiles pudiesen llegar a distancias de 8 o 9 km (distancias a las cuales se encuentran localizadas las comunidades más cercanas al cráter).

Los mismos autores elaboraron un mapa de vulnerabilidad de lahares (ver anexo), que muestra la red de barrancos no solamente de este volcán, sino también del Nevado de Colima, mostrando las localidades e infraestructura que pueden ser afectadas directamente (Suárez Plascencia et al., 2002). El mapa indica que las barrancas del flanco suroeste del Volcán de Colima (Cuenca de los cauces La Lumbre/El Zarco/El Cordobán/San Antonio/El Remate) son las más vulnerables *debido a la concentración de materiales emitidos durante el proceso eruptivo 1999-2002 y a que es la zona con mayor precipitación pluvial*. El mapa muestra algunas localidades que marca como moderada o altamente vulnerables a lahares.

Estudios recientes basados en la reconstrucción de la erupción de 1913 (Saucedo, 1997) y en estudios detallados de las erupciones de 1991 (Saucedo *et al.*, 2003) y de 1998 y 1999 (Saucedo *et al.*, 2001, 2004), realizó un extenso trabajo que incluyó investigación histórica, estratigráfica, sedimentológica, y simulación por computadora mediante el programa FLOW3D de flujos piroclásticos, y presentó un mapa de peligros para flujos piroclásticos (ver anexo). Este mapa muestra tres zonas de

peligro que dependen de la frecuencia y alcance de los flujos piroclásticos de tipo Merapi, Soufriere y Pliniano.

2.3 RESEÑA HISTÓRICA DEL MANEJO DE LAS CRISIS VOLCÁNICAS EN COLIMA.

Los primeros informes sobre una respuesta social a una erupción del Volcán de Colima datan de la erupción pliniana de 1913, en la que según Saucedo (1997), la población de San Marcos decidió evacuarse a pocas horas de iniciada la erupción. La ausencia de actividad eruptiva significativa de 1913 a 1962 hizo que las erupciones de 1962, 1975 y 1981 captaran la atención de las autoridades académicas y políticas del estado de Colima y despertaran en ellas la iniciativa para comenzar a fundar los cimientos de un sistema de vigilancia volcánica. Para finales de la década de 1980-1990, la creación de la Red Sismológica Telemétrica de Colima, en la Universidad del mismo estado, junto con la implementación del Sistema Estatal de Protección Civil (SEPROC), se constituyeron como dos pilares de un sistema de mitigación y prevención de desastres volcánicos en el lugar.

2.3.1. Los planes de contingencia en el estado de colima

La erupción de 1991, fué el primer evento que registrado y estudiado, por lo que pudo ser relativamente pronosticado. En ese entonces ya se habían conformado en el país los sistemas nacional y estatales de protección civil, además de que había un mayor número de académicos con formación vulcanológica que se desplazaron a Colima a estudiar el evento. Pocos años antes, el gobierno local se encargó de redactar, con la participación de académicos de la UNAM y de funcionarios federales, el Plan Operativo Volcán de Colima. Este plan, basado en el modelo de la United Nations Disaster Relief Office (UNDRO), básicamente consta de tres fases de alerta relacionadas con la evolución de los indicadores de la actividad volcánica, es decir, qué hacer antes, durante y después de la erupción, destacando la importancia de la colaboración interinstitucional ante la contingencia, aunque carece de señalamientos sobre las responsabilidades específicas de cada institución estatal.

Es importante destacar que este plan sigue vigente y que no existe una actualización oficial del mismo que vaya de acuerdo con los cambios que ha sufrido la vigilancia volcánica, el incremento del conocimiento de la evolución de los estilos eruptivos y de los procesos de emplazamiento de los productos eruptados que se ha registrado en los últimos 10 años. Un cambio importante lo constituyó la

formación del Comité Técnico Científico Asesor del Volcán de Colima, formado a solicitud del ejecutivo estatal en septiembre de 1998 a raíz del incremento de la actividad volcánica que daría inicio a una erupción dos meses después. Como dato adicional cabe mencionar que algunas medidas adoptadas por dicho comité ante la actividad volcánica de la fase explosiva del año 1999 produjeron una respuesta social variada, desde la aceptación total a la evacuación hasta el rechazo a la misma (Gavilanes, 2000).

La Unidad Operativa del SEPROC ha redactado el Manual de Procedimientos Operativos en Caso de Emergencia (ver anexo), mismo que contiene un apartado dedicado a mitigación del riesgo volcánico. Las partes principales de este documento, facilitado por las autoridades del SEPROC, se presentan en el Anexo. Según dichas autoridades, este documento se encuentra en revisión por las autoridades locales, por lo que aún no está oficialmente concluido ni aprobado por el gobernador del estado. Este documento describe de manera general las características de la vigilancia volcánica, muestra las rutas de evacuación y hace hincapié en la función del Comité Técnico Científico Asesor y del Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima, que consiste en elaborar tanto del diagnóstico de la actividad volcánica y del grado de amenaza, como de recomendaciones a las autoridades respectivas. Por último, el documento describe los significados de los colores del semáforo de alerta volcánica y establece una lista de pasos a seguir para el público según el color del mismo.

2.3.2 La protección civil y la mitigación del riesgo volcánico según las autoridades competentes del estado de colima.

En entrevista realizada en julio de 2002 al Sr. Javier Eugenio Velasco Villa, Secretario Técnico del Consejo Estatal de Protección Civil de Colima, se obtuvo la siguiente información relativa a la creación, evolución, conceptualización y funciones de la protección civil en el estado.

A finales de la década de 1980-1990, un decreto de la administración del Lic. Elías Zamora Verduzco (entonces gobernador del Estado de Colima) publicado en el Periódico Oficial del Gobierno Constitucional de Colima, dió conocer la creación de la Ley del Sistema Estatal de Protección Civil. Según Velasco Villa, en 1988 se sientan las primeras acciones tomando como fundamento las bases que establece el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), el 6 de mayo de 1986, motivando a los estados a tomar medidas específicas, lo cual está referido en la página 171 del citado periódico.

Así comenzó la creación del Sistema Estatal de Protección Civil (SEPROC), como una necesidad estatal catalizada por el sismo de 1985 y con estas bases. Desde 1987, el gobernador del estado convocó a los organismos de atención de emergencia existentes en la entidad, confiriéndole al Sr. Melchor Ursúa (actual Director Operativo del SEPROC) la tarea de integrar la información necesaria para encaminar una adecuada coordinación interinstitucional de donde surge el Primer Plan Operativo.

Según el entrevistado, la primera estructura en materia de protección civil que se da en la entidad se publica en la Gaceta Oficial del Estado en noviembre de 1988.

El 11 de mayo de 1990 se publica un decreto en el Diario Oficial de la Federación que crea el Consejo Nacional de Protección Civil como órgano consultivo de coordinación de acciones y de participación social para planear la protección civil. El SEPROC, según Velasco Villa, encaja a imagen y semejanza en este decreto, por lo que el 23 de mayo de 1992, se crea mediante el decreto No. 55 de la Ley Estatal de Protección Civil, en donde se formaliza la estructura orgánica en la materia. En esto participaron el entonces ejecutivo del estado Lic. Carlos de la Madrid Virgen, el Lic. José Delgado Magaña (secretario general de gobierno) y una comisión dictaminadora del Congreso del Estado, que se incluía al hoy director operativo del SEPROC, Sr. Melchor Ursúa Quiroz.

Según Velasco Villa, hasta ese momento (1992) se contaba con tres personas que coordinaban las acciones de protección civil, mismas que sólo recibían estímulo económico.

Posteriormente, las dependencias federales relacionadas con la protección civil (como órgano de consulta) comenzaron a integrarse para actuar en coordinación. Operativamente Melchor Ursúa se manejaba con el H. Cuerpo de Bomberos Voluntarios, la Dirección de Seguridad Pública y el Ejército.

En 1987 se integró el proyecto de la Red Sismológica Telemétrica de Colima (RESCO) siendo el primer proyecto de monitoreo volcánico y sísmológico efectuado por personal especializado. Prosiguiendo con la información de Velasco Villa, El Gobierno del Estado al parecer financia la RESCO con 5 estaciones sismológicas. La Universidad de Colima comienza a hacer intercambios con especialistas del mundo orientadas a la prevención de riesgos volcánicos y sísmicos.

Para Velasco Villa, un sistema de alerta es "El mecanismo que nos permita llevar un eficaz monitoreo o seguimiento de un fenómeno en cuanto al grado de riesgo que éste implique para la población, de tal manera que en medida del avance de este fenómeno puedan prepararse oportunamente tanto la autoridad como la población".

Además inició que el modelo de sistema de alerta volcánica en Colima funciona sobre los mecanismos de aviso, alerta y alarma, no como semáforo, añadiendo que "Esto ha permitido la orientación tanto a funcionarios como a la población".

Velasco Villa indica que la estimación de riesgos es efectuada por los técnicos y científicos, que independientemente de ser la Universidad de Colima, son miembros del SEPROC. La función del SEPROC es vigilar que exista una coordinación principalmente entre los tres niveles de gobierno (municipal, estatal y federal) y que estén involucrados el sector social, el privado y los grupos voluntarios para que en conjunto se puedan integrar planes de atención de emergencia o desastres que rebasen la capacidad de respuesta.

El funcionario afirmó que el sistema de alerta del Volcán de Colima funciona y se puede mejorar: "Puede darse desde lo que es en sí el análisis del fenómeno, la evolución de un fenómeno, la disponibilidad de recursos humanos y materiales en el aprovechamiento de nuevas tecnologías para eficientar esos avisos o alertas que permitan hacerlo más digerible de la autoridad para la población, preponderantemente en lo respectivo a comunicación social". "Se ha trabajado super-bien con la gente que vive cerca el volcán". "Sin embargo, he de reconocer que la gente que no está tan cerca del volcán ha descuidada por nosotros, pero es que no podemos estar en todo, hay prioridades". "Los de la comunidad La Yerbabuena ya saben cómo es el aviso, como es la alerta o la alarma. La información se ha dado a la gente que más la necesita".

Continúa: "Las evacuaciones se deciden cuando ya se tiene una opinión firme con fundamento científico o se considera la alta probabilidad o la inminencia del impacto, es cuando se toma la decisión de evacuar". "Una evacuación la decide de manera colegiada el Comité Científico Asesor del Volcán de Colima y el Consejo Estatal de Protección Civil. "Aunque no necesariamente necesita sesionar el Comité científico o el pleno del Consejo Estatal: la valoración técnica o científica del fenómeno, los involucrados con la operatividad y en el caso del volcán, con los probables afectados". "Se les toma opinión a los habitantes de La Yerbabuena, por ejemplo".

A cerca de la crisis de 2002, Velasco indicó que "La evacuación de febrero de 2002 fue decidida por el Consejo Estatal de Protección Civil (que reunido en pleno o no tiene la capacidad de tomar la decisión)", añadiendo que "de manera forzosa el gobernador y/o el secretario de gobierno deben estar enterados". El presidente municipal de Comala o Quesería, en su caso, se encargarían de la operatividad. En el caso de la evacuación de mayo de 2002, Velasco aseguró que "...el Comité Científico opinó sobre la peligrosidad y las áreas probables de afectación, y la decisión la tomó el Consejo Estatal de Protección Civil". Como se verá en el capítulo IV, esto contradice lo expresado al respecto por el secretario de gobierno de Colima horas después del inicio de la evacuación.

III. LOS PELIGROS VOLCÁNICOS

3.1 Introducción

3.1.1 Características generales de los peligros volcánicos

Según Tilling (1989), los peligros volcánicos pueden clasificarse en

- a) Flujos de lava y domos
- b) Corrientes piroclásticas de densidad, las cuales se subdividen en
 - Flujos piroclásticos
 - Oleadas piroclásticas calientes
 - Oleadas piroclásticas frías o basales
 - Explosiones dirigidas
- c) Lahares, descargas terminales de lahares y crecientes
- d) Colapsos estructurales, compuestos de
 - Avalanchas de escombros y colapsos graduales
- e) Caídas de tefra y proyectiles balísticos
- f) Gases volcánicos
- g) Sismos volcánicos
- h) Ondas de choque atmosféricas
- i) Tsunamis

De estos peligros volcánicos, los gases, los sismos, las ondas de choque atmosféricas y los tsunamis no representan peligros importantes en el Volcán de Colima, por lo cual no serán mencionados en el presente trabajo.

3.1.1.1. Flujos piroclásticos

Los flujos piroclásticos son masas de escombros piroclásticos (bloques de lava juveniles y no juveniles en proceso de trituración, ceniza juvenil y no juvenil) y gases con temperaturas comprendidas entre los 200 y los 800°C que se desplazan sobre la superficie a velocidades entre 40 y 350 km/h (Tilling, 1989). Se componen de una parte basal y densa y de una nube turbulenta de

ceniza que precede o sobreyace a la misma, y que pueden presentar nubes convectivas de ceniza (y que a su vez forman depósitos de caída de tefra) (Tilling, 1989; Blong, 1984, 1996). Los flujos piroclásticos se forman por colapsos gravitacionales de columnas eruptivas, por la destrucción gravitacional o explosiva de domos de lava y flujos de lava (Rose et al., 1977, en Tilling, 1989). Estos flujos son comunes en volcanes andesíticos como el de Colima. Los flujos de bloques y ceniza, que se componen de fragmentos densos o ligeramente vesiculados inmersos en una matriz de ceniza suelen ser de volúmenes y movilidad reducida y generalmente su alcance es de pocos kilómetros (Tilling, 1989). Los grandes flujos de pómez tienen alcances muy superiores (dada su masa y volumen mayor), siendo capaces de alcanzar decenas de kilómetros de distancia, así como de superar barreras topográficas de cientos de metros de altura (Barberi et al., 1978, en Tilling, 1989). Los flujos piroclásticos y oleadas piroclásticas pueden producir asfixia, enterramiento, incineración o muerte por impacto (Tilling, 1989). Las oleadas piroclásticas suelen formarse por delante del frente de avance de un flujo piroclástico (oleada basal según Sparks et al., 1973, en Tilling, 1989), o por colapso de columna eruptiva (Fisher, 1979), o bien por la propia nube de ceniza generada por el flujo piroclástico (Crandell y Mullineaux, 1973, Fisher y Heiken, 1982). Las explosiones lateralmente dirigidas se producen por la despresurización súbita del sistema magmático o hidrotermal dentro del volcán, generando corrientes de densidad de velocidades muy altas (superiores a los 100 m/s) capaces de saltar sobre las barreras topográficas.

3.1.1.2 Lahares

Los lahares son corrientes rápidas de escombros rocosos movidos por agua que se generan en las pendientes de los volcanes (Crandell, 1971, en Tilling, 1989) y pueden originar distintos tipos de depósitos, de flujos de escombros a flujos hiperconcentrados. La distinción entre estos dos tipos de flujos se hace con base en la concentración de material sólido: los flujos de escombros están caracterizados por una concentración entre el 70 y el 90% en peso de sedimento, mientras que los flujos hiperconcentrados presentan concentraciones menores, del 40 al 70% en peso. Un flujo hiperconcentrado se puede transformar a partir de un flujo de escombros no-cohesivo (i.e. Costa, 1987). Los lahares pueden alcanzar velocidades de hasta 40 m/s en las pendientes altas de los volcanes (Janda et al., 1981, en Tilling, 1989).

3.1.1.3 Avalanchas de escombros

Las avalanchas de escombros son generadas por colapsos de un sector o de un flanco de un volcán. Éstas son debidas a la alteración hidrotermal ejercida por los fluidos ácidos y por la constitución estructural débil de los estratovolcanes, sumada a la acción intrusiva o explosiva del magma, así como a fenómenos sísmico-tectónicos. Las avalanchas son flujos granulares, con una concentración de sedimentos mayor al 90%, por lo que el mecanismo de transporte principal es por colisión entre los clastos. Estos fenómenos son muy peligrosos debido a su génesis repentina y a su gran movilidad. Los deslizamientos en masa y las avalanchas volcánicas pueden ser pequeñas o excepcionalmente grandes, por lo que su potencial destructivo es extraordinariamente elevado. Además, las avalanchas de escombros son capaces de disparar grandes tsunamis (de hasta centenares de metros de altura) (Tilling, 1989).

3.1.1.4 Flujos de lava

Los flujos de lava basáltica son los menos viscosos que existen. A diferencia de éstos, las lavas más viscosas (andesitas, dacitas y riolitas) forman flujos de lava de dimensiones más reducidas, con espesores mayores que pueden llegar a cubrir áreas de unos cuantos kilómetros cuadrados (Tilling, 1989). La velocidad de estos flujos raramente sobrepasa los pocos cientos de metros por hora, en el caso de alto contenido de sílice (como los del Volcán de Colima), o de algunos kilómetros por hora para los flujos de lava basálticos, por lo que estos eventos raramente constituyen una amenaza para el hombre (Tilling, 1989). En el caso del Volcán de Colima los alcances distales de estos eventos no han sobrepasado durante los últimos 450 años, los 7.5 kilómetros (los asentamientos humanos más próximos al cráter se sitúan a 8 km). En los últimos 100 años, los flujos de lava más voluminosos y largos (menos de 6 km) han sido los ocurridos en 1975 y 1999 (Navarro *et al.*, 2002). Debido a su nivel bajo de amenaza, se decidió no incluir a los flujos de lava en este trabajo.

3.1.1.5 Lluvia de ceniza y proyectiles balísticos

Los fragmentos de roca y lava que son expulsados hacia la atmósfera por columnas eruptivas forman la lluvia de ceniza y los proyectiles balísticos. Las columnas eruptivas son impulsadas en su parte inferior por el empuje de los gases, en su parte media por corrientes convectivas (Sparks y Wilson, 1976, en Tilling, 1989) y en su parte superior la densidad de la

mezcla eruptiva iguala a la de la atmósfera circundante, momento en el cual iniciará su expansión lateral, formando una nube en forma de paraguas (Sparks *et al.*, 1986, en Tilling, 1989). Los productos emitidos tienen dimensiones desde la ceniza (menores a los 2 mm) hasta bloques y bombas (de proyección balística) con diámetros mayores a los 64 mm. La ceniza seca tiene un peso de 40 a 70 kg/m², mientras que la húmeda puede duplicar dichos valores.

En este trabajo no se incluye a los proyectiles balísticos, ya que los registros históricos indican que sus alcances son inferiores a 8 km. (Saucedo, 1997).

3.2 METODOLOGÍA

- ❖ Recopilación de datos previos sobre cada fenómeno eruptivo (flujos piroclásticos, avalanchas de escombros, lahares y caídas.) y patrones de viento (Galindo *et al.*, 1998).

- ❖ Simulación digital de fenómenos de flujo o movimiento gravitacional (flujos piroclásticos, avalanchas de escombros y lahares), para determinación de los alcances y áreas de afectación. Para poder delinear el alcance máximo y las trayectorias de los flujos gravitacionales se utilizan los programas FLOW3D (para flujos piroclásticos y avalanchas de escombros) y el programa LAHARZ (para lahares) con los cuales se producen simulaciones de flujos con base en los parámetros obtenidos del estudio de los depósitos antiguos.

FLOW3D

El programa FLOW3D fue creado para simular la trayectoria y el alcance máximo de flujos gravitacionales como flujos de bloques y ceniza, oleadas piroclásticas y avalanchas de escombros (Kover, 1995). El programa calcula el vector de la aceleración de la gravedad a lo largo de la superficie topográfica con base en los parámetros físicos de fricción (H/L, coeficiente de fricción aparente), viscosidad y turbulencia. La topografía utilizada está representada por una red irregular de triángulos. En particular los parámetros utilizados son:

- 1) H/L: coeficiente de fricción aparente, en donde H es el desnivel entre el punto de donde se inicia el flujo y el punto de máximo alcance del mismo, y L es la distancia máxima alcanzada.

- 2) a_1 : viscosidad (Relación entre el esfuerzo cortante y la deformación, y es una medida de la resistencia a fluir) y a_2 turbulencia (estado dinámico de un flujo en el cual el movimiento entre las partículas no es laminar y describe trayectorias convectivas). Son muy difíciles de estimar y como se explica en el capítulo de flujos piroclásticos, no se consideraron en este trabajo.

LAHARZ

Iverson y otros (1998) propusieron una metodología para zonificar áreas bajo amenaza en caso de lahares. El método denominado LAHARZ, desarrollado por estos autores, se basa en el análisis estadístico de casos conocidos (27 lahares) y sobre la hipótesis de que las áreas afectadas dependen directamente del volumen del lahar. Los autores encuentran dos relaciones fundamentales para delinear las áreas amenazadas:

$$A = 0.05 V^{2/3}$$

$$B = 200 V^{2/3}$$

donde A es la sección transversal del área inundada y B es la superficie total inundada. Para poder aplicar el método basta con escoger algunos volúmenes límite (máximo y mínimo, por ejemplo) con base en eventos conocidos. Los autores desarrollaron un programa que integra el modelo topográfico tridimensional del terreno y los valores de los parámetros teóricos A y B para poder obtener la zonificación de manera automática.

❖ Cálculo de la probabilidad.

Los volcanes son sistemas muy complicados cuya actividad puede estar condicionada por distintos factores. Cuando la dinámica de un sistema está caracterizada por un gran número de variables cuya contribución individual es difícilmente cuantificable, se prefiere definir el estado del sistema con base en cantidades promedio que puedan dar indicaciones sobre el comportamiento global del volcán. El parámetro más fácil de medir es el tiempo que hay entre una erupción y la siguiente. Si existe un registro completo de un volcán, se puede hacer una estimación de la probabilidad de la recurrencia. En algunos casos, el número de eventos en un determinado periodo sigue una ley de distribución denominada de Poisson, según la cual, la

probabilidad de tener una erupción en un periodo es independiente del tiempo y es la misma en cada momento (Wickmann, 1966). Estos volcanes se denominan sin memoria exactamente porque en cada momento se tiene la misma probabilidad de ocurrencia. Para poder aplicar esta teoría hay que respetar las siguientes condiciones:

- 1) Se tiene que poder dividir el periodo considerado en muchos subintervalos para que la probabilidad de recurrencia para cada uno de estos pequeños intervalos sea mínima.
- 2) La probabilidad de recurrencia en cada subintervalo tiene que ser constante para todo el periodo considerado.
- 3) La probabilidad de dos o más eventos en cada uno de los subintervalos debe de ser lo suficientemente baja para que se pueda ignorar.
- 4) El éxito en cada subintervalo no tiene que modificar la probabilidad en los intervalos siguientes.

El único parámetro que caracteriza la distribución poissoniana es el número medio de eventos en la unidad de tiempo (λ) que corresponde con el valor de la media. Entonces, la probabilidad de que un evento x ocurra en el intervalo de tiempo dt es

$$P(x) = \lambda e^{-\lambda}$$

Para que se pueda aplicar esta ecuación es necesario que los eventos considerados no tengan una recurrencia constante, en cuyo caso ya sería innecesario hacer estimaciones.

- ❖ Construcción de un mapa de peligros para cada tipo de actividad (Merapi, Soufriere, pliniana y Bezimianny (colapsos de edificio volcánico sectoriales y de flanco) y proponer su zonificación probabilística

3.3 SIMULACION Y MAPEO DE LOS PELIGROS DEL VOLCÁN DE COLIMA

3.3.1 Avalanchas de escombros.

3.3.1.1 Introducción

La historia eruptiva del Volcán de Colima (VdC) incluye diferentes eventos de colapso de origen magmático o tipo Bezimianny (Robin *et al.*, 1987; Luhr y Prestegard, 1988; Martin del Pozzo *et al.*, 1990; Stoopes y Sheridan, 1992; Siebe *et al.*, 1992; Komorowski *et al.*, 1997; Cortés, 2002). Existen diferencias en cuanto al número de colapsos ocurridos, existe diferencia entre los distintos autores. Robin *et al.* (1987) describen un único depósito de avalancha de escombros para el VdC ocurrido hace aproximadamente 9370 años. Luhr y Prestegard (1988) y posteriormente Stoopes y Sheridan (1992), describen este mismo depósito, con la única diferencia de que le atribuyen una edad más joven (aproximadamente 4280 años) y que alcanzó una distancia máxima de 70 km. La tabla 1 muestra los parámetros determinados por estos autores. Por el contrario, Komorowski *et al.* (1994a y b, 1997) reportan un escenario completamente distinto ya que determinan hasta nueve eventos de colapso para el VdC (tabla 1). Sin embargo, estos autores no reportan la distribución espacial de dichos depósitos debido a su extremadamente complicado arreglo estratigráfico, por lo cual estos datos serán considerados solamente para determinar el tiempo de recurrencia mayor, siempre que se considere válido el dato. Finalmente, Cortés (2002) describe detalladamente un depósito de avalancha de escombros emplazado hacia el sector SW del volcán, hasta una distancia de 25 km, para el cual determina una edad aproximada de 3600 a. A.P. Además, Cortés (2002) y en el mapa geológico del CVC reporta más edades posiblemente asociadas a depósitos de avalancha de escombros, aunque en este caso no reportan más datos espaciales, por lo que se usarán estos datos solamente para el cálculo de su posible recurrencia.

Con base en las descripciones reportadas por todos estos autores, el origen de la inestabilidad del edificio volcánico ha sido de origen magmático (tipo Bezimianny), en donde el crecimiento de un criptodomo provoca la desestabilización del edificio hasta

determinar el colapso de un flanco o sector del edificio. Es muy importante subrayar que el colapso no necesariamente tiene que determinar el deslizamiento de una porción del edificio incluyendo su cima. Por el contrario, en aquellos volcanes en donde este tipo de fenómeno es frecuente, normalmente el colapso afecta solamente un flanco, como el observado en el volcán St. Augustine, en Alaska (Beget y Kienle, 1992) o el depósito de 3,600 años en el VdC (Cortés, 2002). Con base en esta observación, a continuación se presentan distintos escenarios eruptivos, considerando el colapso casi total del edificio, o la removilización de uno de sus flancos.

Como ya se ha mencionado en el capítulo de la metodología, las simulaciones para avalanchas de escombros se llevaron a cabo utilizando el programa FLOW3D (Kover, 1995). Para el presente trabajo se consideraron solamente dos valores distintos del parámetro H/L: 0.13 y 0.11. El valor 0.13 corresponde al valor obtenido por Cortés (2002) del depósito originado por el colapso del flanco SW, que posiblemente corresponde con el límite mayor (o sea de menor magnitud) registrado en la historia eruptiva del VdC. En la tabla 1 se observa que en los primeros trabajos de Luhr y Prestegard (1988), Robin (1987) y Stoopes y Sheridan (1992), reportan valores de H/L mucho menores, de hasta 0.06, en donde el depósito asociado alcanza una distancia de hasta 75 km de la fuente. Este escenario sería catastrófico, por lo que sería poco práctico considerarlo en el presente trabajo ya que sería imposible proponer un plan de contingencias, que incluya una séptima parte de la superficie del estado de Colima, incluyendo la capital del estado. Por lo tanto, se consideró como segundo escenario eruptivo un evento con valor de H/L de 0.11, que corresponde a un promedio para eventos de colapso de origen magmático (Siebert *et al.*, 1989). Como veremos en la simulaciones, este segundo valor coincide con el área de afectación de otros mapas de peligros para el VdC.

Con estas simulaciones se pretende determinar la extensión de las áreas amenazadas, qué barrancas son las más probables en canalizar flujos de esta naturaleza y qué barreras morfológicas cambian la dirección de emplazamiento de las avalanchas. Finalmente, se hará una comparación con mapas de peligros por avalanchas de escombros ya publicados.

Tabla 1. Cronología de depósitos de avalanchas de escombros estudiados por distintos autores en el Volcán de Colima. Los eventos que están separados por lapsos menores de 500 años se consideran como un solo evento con dos fechamientos parecidos.

Edad (años AP)	Alcance máximo (km)	H/L	REFERENCIA	
45030	nr	nr	1	
39090	nr	nr	1	
35780	nr	nr	1	
27800	nr	nr	1	
21500	nr	nr	1	
14885	nr	nr	1	
9700	nr	nr	1	
9370	32	0.095	2, 3, 4	
7000	nr	nr	1	
4300	46.3	0.73	5	
4280	70 (mínimo)	0.06	6, 3, 4	
3699	nr	nr	1	
3600	25.5	0.13	7	
2690	nr	nr	8	
2565	nr	nr	1	
Número de eventos	Intervalo medio (años)	Intervalo mínimo (años)	Intervalo máximo (años)	Recurrencia media (años) durante los últimos 10,000 años
11	≈4000 a.	≈1100 a.	≈8000 a.	≈2000 a.

nr=No reportado

Referencias: 1.Komorowski *et al.*, 1997; 2.Robin *et al.*, 1987; 3.Martin del Pozzo *et al.*, 1990; 4.Lugo-Hubp *et al.*, 1993; 5.Stoopes y Sheridan, 1992; 6.Luhr y Prestegaard, 1988; 7.Cortés, 2002; 8.Siebe *et al.*, 1992 (en Cortés, 2002).

3.3.1.2. Escenarios eruptivos

En la figura 2 se reportan las simulaciones realizadas con un H/L de 0.13 considerando: 1) colapso de un sector incluyendo la cima del edificio y 2) de un flanco, por lo que la aplicación de una distribución radial de los colapsos mediante el modelo FLOW3D determinaría ambas distribuciones.

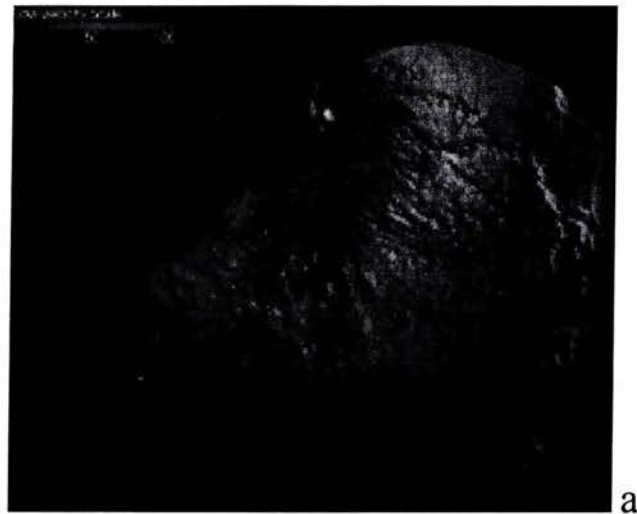




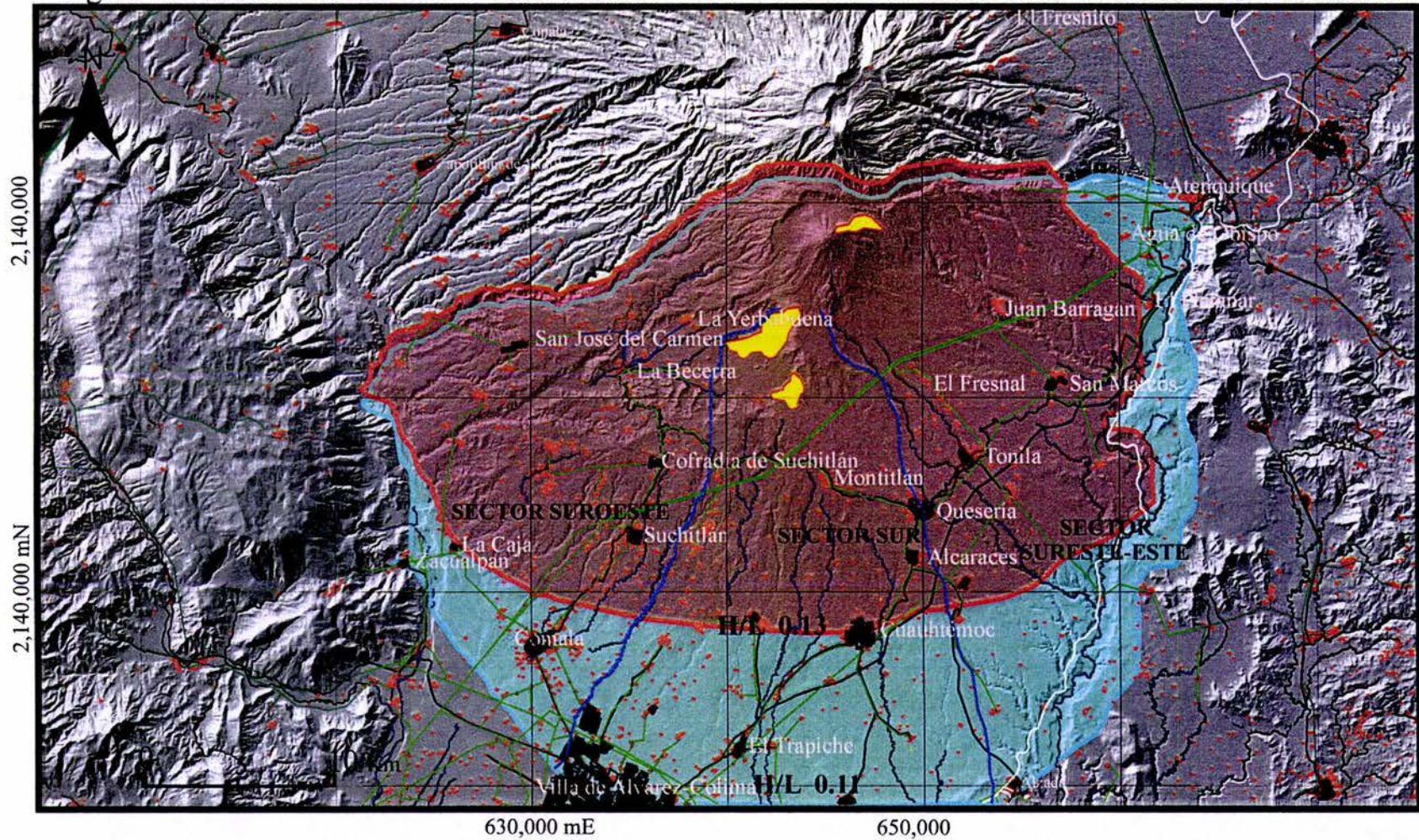
Figura 2 (a, b y c). Simulaciones de avalanchas de escombros con H/L 0.13 mediante FLOW3D

3.3.1.2.1 Colapso sectorial.

En este caso el colapso que involucra la cima del volcán daría origen a flujos de avalancha de escombros con una distribución prácticamente radial. Debido a la presencia de la caldera del Paleofuego, en la cual se encuentra el cono actual del VdC, y a que el volcán está asentado sobre un basamento ligeramente inclinado hacia el sur, todos los flujos simulados se distribuyen en un cono de aproximadamente 200° de amplitud hacia el S.

Con base en el alcance de los distintos flujos obtenidos por H/L de 0.13, se pudo trazar una línea que limita el área de posible afectación, la cual cubre una superficie de aproximadamente 720 km y afecta a todos los asentamientos humanos, propiedades y obras de infraestructura que se encuentran dentro de un radio de 15 (hacia el E) y 25 km (hacia el SW) desde la cima del volcán. Simulando el mismo escenario, pero utilizando un valor de H/L de 0.11 se obtiene una distribución similar de las trayectorias, que en este caso alcanzan distancias mayores, hasta de 30 km, afectando una superficie de 1000 km², hasta la ciudad de Colima. En ambos casos se observa cómo algunas elevaciones topográficas señaladas en color amarillo en la figura 3 constituyen importantes barreras capaces de desviar estos flujos. Además, se observa cómo independientemente del valor utilizado para la simulación, las barrancas que en la mayoría de los casos canalizan un mayor número de avalanchas de escombros (de W a E, en el sentido contrario a las

Figura 3. MAPA DE PELIGRO POR AVALANCHAS DE ESCOMBROS DEL VOLCÁN DE COLIMA.



LEYENDA

- | | | | |
|---|--|---|---|
|  | Zona de posible afectación por avalanchas de escombros con H/L de 0.13 |  | Límite entre sector |
|  | Zona de posible afectación por avalanchas de escombros con H/L de 0.11 |  | Zona urbana |
|  | Zona libre de afectación por avalanchas de escombros |  | Asentamientos humanos no urbanos |
| | |  | Arroyos y ríos principales |
| | |  | Líneas de conducción eléctrica |
| | |  | Carreteras y caminos asfaltados y no asfaltados |
| | |  | Vías de ferrocarril |

manecillas del reloj) son: La Arena, La Bueyada, La Lumbre, El Cordobán en todos sus ramales, El Remate, San Antonio, La Joya, Armería, Las Trancas, El Mezcal, Tomatillos, Reynoso, San Juan, Suchitlán, Las Calabazas, La Lima, Río Verde, Las Grullas, La Lima, La Idea, El Frijol, San Antonio, Montegrando, Los Cigarros, La Primavera, La Arena, Los Lobos, El Copal, La Tuna, El Rosario, El Cafecito, La Arena (que pasa por San Marcos), Beltrán, El Durazno, Los Plátanos, El Limón, El Platanar, Atenquique y Tuxpan.

3.3.1.2.2 Colapso de un flanco

El colapso de uno de los flancos del edificio, sin involucrar la cima completa del volcán, podría representar el escenario más probable si se considera la reconstrucción de eventos propuesta por Komorowski et al. (1997) en donde se reportan cinco colapsos durante los últimos 10 mil años (Tabla 1). Dichos autores estiman que la tasa de emisión del Volcán de Colima en los últimos 2,500 años es de 1 a 2 millones de m^3 por año, la cual podría ser apropiada para que en un periodo igual, el edificio volcánico se reconstruyera y volviera a presentar un colapso.

Para el presente escenario se decidió simular el colapso de tres flancos, el SW, S y ESE con un H/L de 0.11 (figura 4), y como se puede apreciar en la figura 3, utilizando los dos valores de H/L de 0.13 y 0.11, se mantienen los límites entre sectores, pero varía la distancia máxima de alcance. En la misma figura se marcan los límites de estas zonas con líneas punteadas.

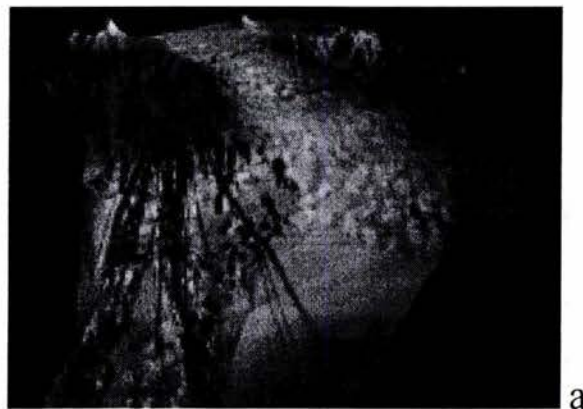




Figura 4 (a, b y c). Simulaciones de avalanchas de escombros con H/L 0.11

Flanco suroeste

En la simulación dirigida hacia el flanco suroeste, empleando valores de H/L de 0.13 y 0.11 se obtiene una distancia de alcance máximo de 25 y 31 km, respectivamente (figura 3). El área de afectación está delimitada al norte por el sistema de barrancas La Arena-La Bueyada-El Plátano, ya que las trayectorias hacia el norte y norte-noroeste lograban saltar las paredes de la caldera del Paleofuego. De la misma manera, todas las avalanchas de escombros simuladas hacia el oeste lograban saltar dicha caldera. El límite oeste está constituido por el Río Armería, al suroeste la simulación cubre la comunidad La Caja y llega a 2 km al noreste de Comala. El límite oriental de esta área la constituye la Barranca Santa Cruz (Agua Caliente para los lugareños). Al este de ésta se pudo identificar una zona que durante la aplicación de la simulación no es cubierta por

avalancha de escombros, misma que por su elevación constituye una barrera topográfica que la desvía hacia el suroeste, siguiendo como límite oriental río abajo las barrancas Las Calabazas-La Barragana. Este sistema de promontorios está formado al parecer por depósitos de flujos de lava (2,420 msnm) y por restos de hummocks (1540-1800msnm).

Los principales asentamientos humanos que se encuentran en el área de afectación por un h/l de 0.13, además de La Caja, son San José del Carmen, El Espinal, Loma de la Cruz, El Tecuán, Las Galeanas, La Concha, Tlajomulco, El Borbollón, La Cofradía, La Yerbabuena, La Becerrera, El Guayabal, La María, El Hotel San Antonio, El Jabalí, El Refugio, Los Zapotes, El Remudadero, Los Colomos, El Remate, La Presita, Agosto, Suchitlán, San Martín de los Pinos, Loma Delgada, El Coyote, La Nogalera, Cofradía de Suchitlán, Tomatillos, La Travesía, El Jazmín, El Viejo, Nuevo San Antonio, Las Cañas y Carrizalillo. Considerando un valor de h/l de 0.11, además de las localidades ya mencionadas, se incluyen otras localidades dentro del área de afectación, como Comala, Nogueras, Zacualpan, Los Mezcales, La Providencia, Las Animas, La Cañada, Los Llanitos, La Parranda, La Texcalama, Palo Alto, El Camichín y Vistahermosa.

Flanco sur

Para el sector sur, utilizando los mismos valores de H/L de 0.13 y 0.11 se obtienen un límite de máximo alcance de los flujos de 21 y 31.5 km, respectivamente (figura 3). Obviamente el límite occidental de esta área coincide con el límite previamente descrito para el sector Suroeste. Así que el área de afectación está delimitada por las barrancas Las Calabazas-La Barragana al este, mientras que al oeste se limita por la barranca El Muerto. La simulación indicó que una elevación topográfica situada a 8 km al sur-suroeste del cráter del Volcán de Colima, de unos 260 m de altura (1960 m de altitud), no es cubierta por la avalancha de escombros y provoca la desviación de las mismas trayectorias.

Los principales asentamientos humanos que se encuentran en el área limitada por un h/l de 0.13 son, además de Cuauhtémoc, Nuevo Naranjal, El Naranjal, La Lima, El Coyonau, El Carrizal, El Polvorete, El Monrilca, Joyitas, El Chivato, El Cortijo, Ocotillo, Rancho Blanco, Rancho Alegre, Alcaraces, Quesería, El Aguacate, Cerro Colorado, Palmillas, El Ramalazo, Rancho Alegre, San Miguel, El Tarasco, El Gallinero,

La Capilla, La Pareja, la Cebada, El Tejocote, un rancho nuevo cerca de Causentla al que en este trabajo denominaremos rancho "Nuevo" (en el costado occidental del arroyo El Muerto), Montitlán, Las Cuevitas y El Cedillo.

Considerando el límite por H/L de 0.11, además de las localidades mencionadas, se incluyen los poblados y ranchos de Pastores, El Manzano, El Cóbano, El Parián, la parte urbana de Villa de Álvarez, hasta la ciudad de Colima, La Capacha, El Remolino (o El Aguinaldo), Santa Bárbara, La Ermita, La Tapatía, Chatanoga, El Trapiche, San Joaquín, Las Berenices, La Palma, Los Aguacates, El Monasterio, El Porvenir, Las Yeguas, San Agustín, Cuatrovientos, La Estancia, Cardona, Los Camichines, El Camichín, La Huizcalillera, San Juan, Las Enelicias, Agua de Gallo, El Barrigón, Buenavista y el aeropuerto de Buenavista.

Flanco Este-sureste

Para este sector se obtuvieron distancias máximas de 21.5 km y 30 km, considerando los valores de H/L de 0.13 y 0.11, respectivamente (figura 3). Algunas de las trayectorias de la simulación que descendían hacia el norte y norte-noreste saltaron las paredes de la caldera del Paleofuego, logrando remontar hasta en unos 400 m la pendiente sur del Nevado de Colima, mientras que otras trayectorias se encauzaban por las partes altas de la Barranca Atenquique. Varias de las trayectorias que descendían sobre esta última se salían hacia el sureste, aproximadamente en la cota 2500msnm, descendiendo sobre la cabecera de la barranca El Platanar y barrancas paralelas. Fué posible identificar una zona que no fue afectada por avalanchas de escombros: el promontorio conocido como El Volcancito y sus flancos orientales, en altitudes comprendidas entre los 2500 msnm y los 3550 msnm. El límite occidental de este sector lo constituye la sección de la barranca El Muerto localizada al norte de Quesería, continuando a partir de esta localidad hacia el sur-sureste, al oeste de dicha barranca. Los asentamientos humanos que estarían afectados por un H/L de 0.13 son la estación repetidora de Cerro Alto, El Limón, Los Machos, El Saucillo, Juan Barragán, El Durazno, El Agostadero, la orilla noreste de El Platanar, Pialla, San Marcos, La Higuera, Tenexcamilpa, El Fresnal, Cofradía, Causentla, Atenguillo, El Embudo, Tonila, El Pinar del Chayán, La Nueva Esperanza, la mitad oriental de Quesería, Cerro Colorado, Santa

Teresita, Las Piedras, Palmillas, San Miguel, Estación ferroviaria de Villegas y Cachepehual.

Para el caso de un H/L de 0.11, además de los poblados antes mencionados, se verían afectadas también los asentamientos humanos, ranchos o instalaciones de Alzada, Ejido Fernández (La Parotita), La Eriza, Santa Rosa, Rancho Tene. Y en las márgenes del río Tuxpan, de sur a norte: Estación ferroviaria Fernández, Los Charcos, La Esperanza, Las Grebillas, estación ferroviaria Tonilita, Los Tizates, Las Dolores, Los Dolores Viejos, Palo Blanco, El Manguito, La Encinera, El Cirián, La Higuera, Los Lobos, Platanarillo, estaciones ferroviarias Villegas y El Platanar, Platanarillo, El Agosto, Agua de Obispo, Loma de la Cruz, La Joya (Las Tejas), Rancho de Mejía (El Calabozo) y Atenquique.

3.3.1.3. Cálculo de probabilidades.

La tabla 1 reporta todos los eventos de colapso que se han registrado en el VdC. En total se han reconocido once eventos de colapso durante los últimos 45,000 años, por lo cual se obtiene una recurrencia promedio de 4,000 años. Sin embargo, graficando el número acumulativo de eventos con respecto al tiempo, se observa que durante los últimos 10,000 años se han registrado cinco eventos, obteniendo una recurrencia promedio de aproximadamente 2,000 años (figura 5). Además, en la misma figura se observa cómo los eventos de colapso se han hecho más frecuentes durante el Holoceno (10,000 años AP).

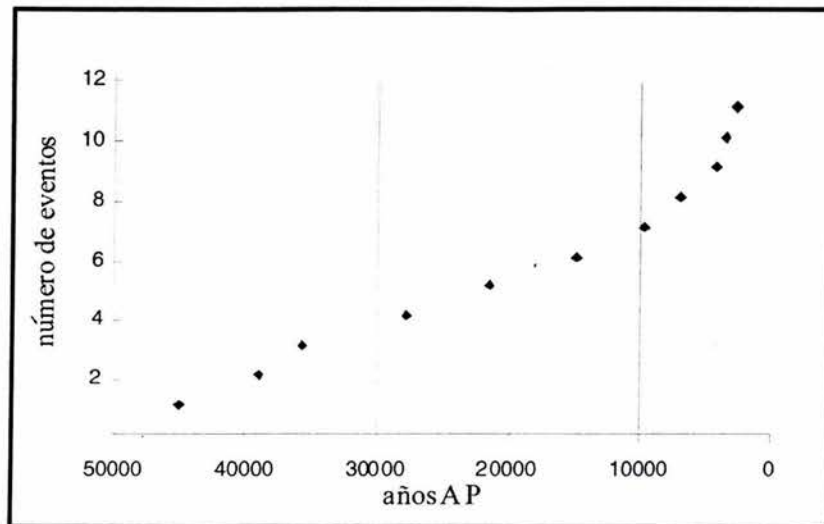


Figura 5. Frecuencia de avalanchas de escombros durante el Holoceno.

El propósito del presente trabajo es proponer escenarios eruptivos a corto y mediano plazo, lo cual en el caso de eventos de colapso quizás es difícil de ocurrir debido a su recurrencia que puede ser hasta de 8,000 años. Sin embargo, observando la tendencia que ha mostrado el volcán durante el Holoceno (figura 5) consideramos apropiado estimar la probabilidad de que un evento de colapso ocurra en un intervalo de 500 años. Esto se hizo utilizando la fórmula:

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda \Delta t}$$

donde P es la probabilidad de que el evento ocurra en un intervalo t

λ es el número de eventos por unidad de tiempo (número de eventos dividido entre el intervalo de tiempo analizado, en este caso 10,000 años)

Δt es el intervalo de tiempo por el cual se está determinando la probabilidad de recurrencia, en este caso 100 años.

Para el caso considerado se obtiene $P(t) = 0.04$, que significa una probabilidad del 4% de que ocurra un evento de colapso en un intervalo de 100 años. Debido a que el propósito del presente trabajo es estimar la ocurrencia de escenarios eruptivos a corto y

mediano plazo (1, 10 y 100 años), para que se pudiera integrar en los mapas de peligro la probabilidad de colapso, se decidió hacer el cálculo para un intervalo de 100 años.

Sin embargo, este valor no es muy significativo si se considera la recurrencia que en realidad se ha observado para este fenómeno. De esta forma, aunque el resultado no se pueda comparar con lo otros peligros estudiados, se calculó también la probabilidad de ocurrencia de avalancha en un intervalo de 2,500 años que corresponde a la edad del último evento, por lo que se estimó la probabilidad, con base en una recurrencia de 4000 años, la que se obtiene promediando los once eventos de que se tiene noticia. Utilizando estos valores, se obtiene un $P(t)$ de 0.45 que corresponde a un 45% de probabilidad de ocurrencia.

3.3.2. FLUJOS DE ESCOMBROS O LAHARES

3.3.2.1 Introducción.

Los flujos de escombros representan una de las principales amenazas para las vidas humanas y las propiedades en las comunidades aledañas al Volcán de Colima (figura 6). Cada año, durante las temporadas de lluvias, estos eventos se presentan en las principales barrancas que descienden del volcán

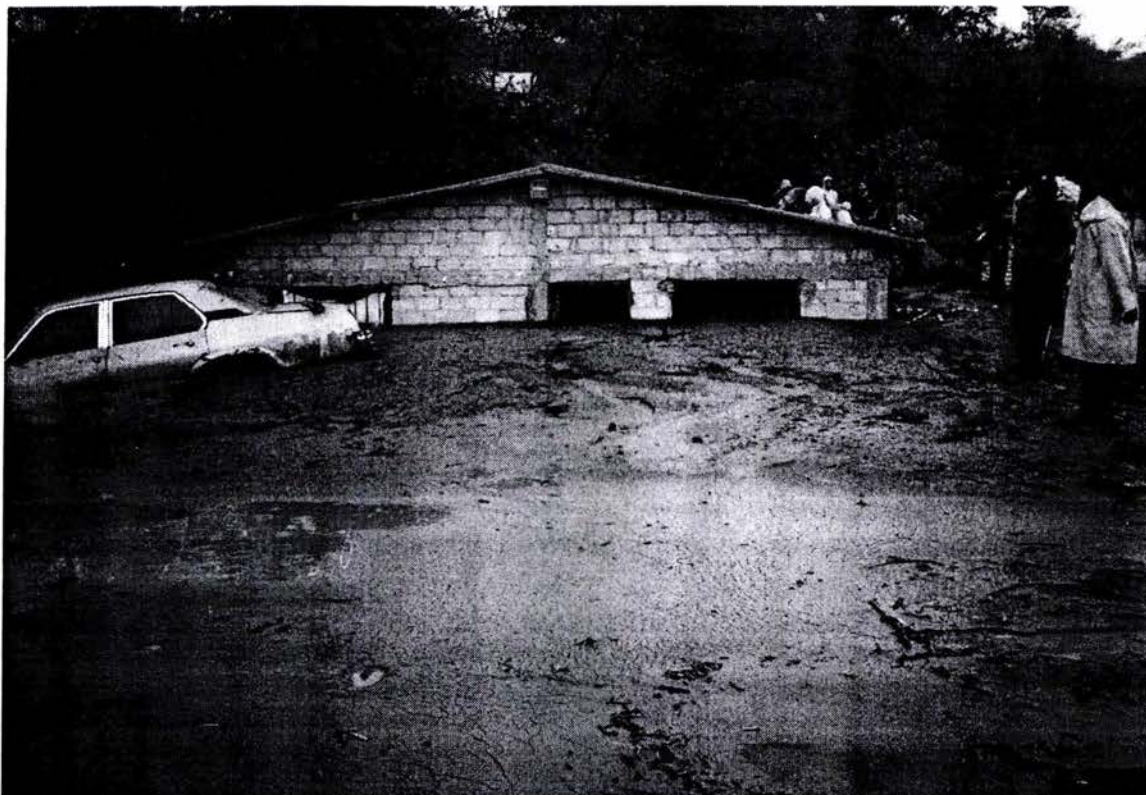
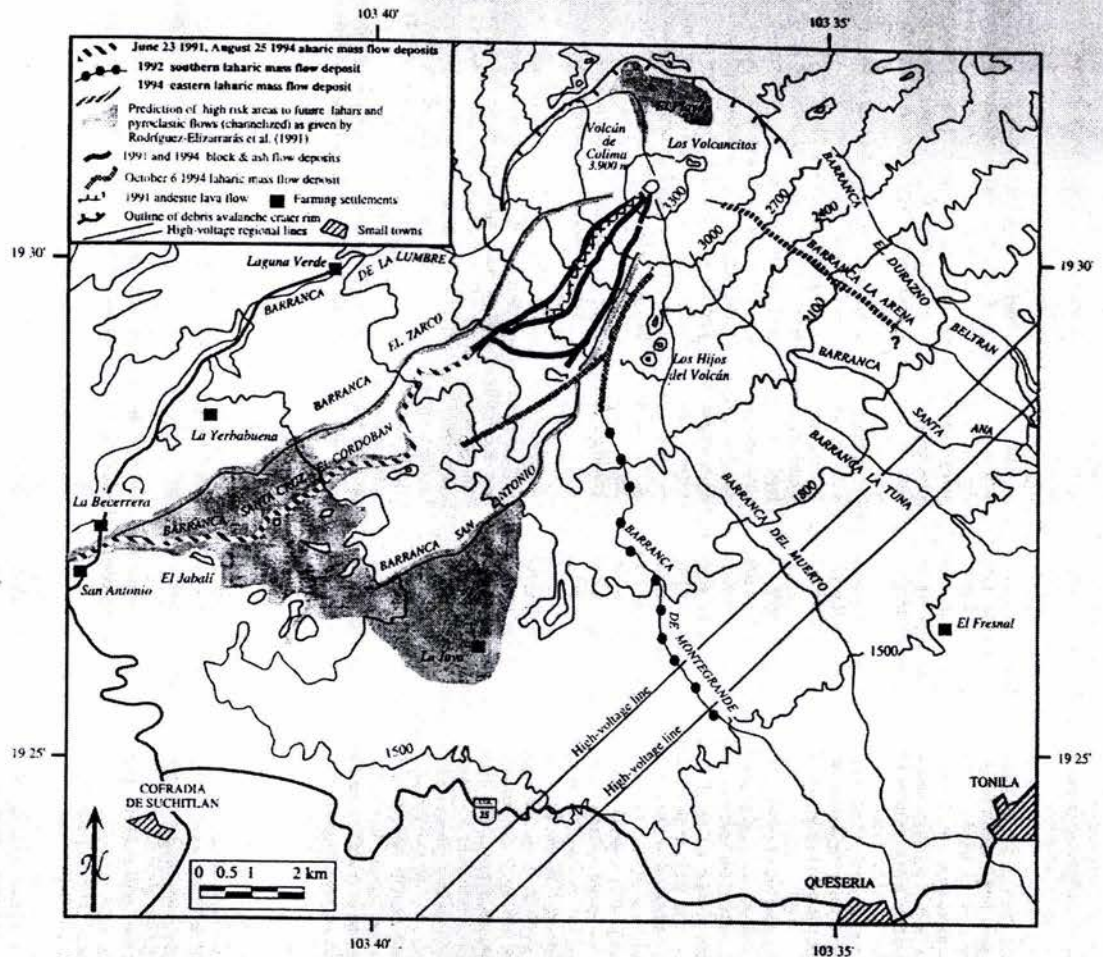


Figura 6. Inundación por un lahar ocurrido el 1 de junio de 2000 en La Becerrera, Col. Dos niñas que ocupaban la vivienda, al escuchar el estruendo del flujo, alcanzaron a salir antes del arribo del material.

De las diversas amenazas del VdC, el registro disponible de los lahares es uno de los más reducidos, no obstante la elevada frecuencia de su ocurrencia, siendo las primeras referencias detalladas de estos fenómenos aquellas indicadas por Saucedo (1997) sobre el importante testimonio del Sr. Juan Mancilla, testigo de la erupción de 1913 y de los lahares producidos a partir de los depósitos de flujos piroclásticos de esa erupción durante al menos los 3 años subsecuentes (Tabla 2). Los reportes más detallados sobre lahares son los hechos por los geólogos de la Universidad de Colima y de la UNAM,

iniciados en las postrimerías de la erupción de 1991, incluidos en una extensa publicación sobre diversos tipos de estudios sobre el Complejo Volcánico de Colima hecha por Komorowski *et al.* (1997), quienes destacan que una de las manifestaciones más dinámicas y frecuentes del VdC es la generación de lahares, cuyos depósitos son abundantes y de diversos volúmenes (figura 7).



General map showing the extent of the 1991 and 1994 block- and ash-flows, as well as the June 23 1991, 1992, the August 25 1994, and the 1994 La Arena laharc mass flows emplaced within drainages S and SE of Colima volcano as a result of erosion of loose 1991 (Rodríguez-Elizarrarás *et al.*, 1991) and older pyroclastic flow deposits by surface runoff from the 1991 rainy season and the exceptional precipitation related to the 1992 ENSO (El Niño Southern Oscillation) event, and rainy seasons in 1994. Note that the 1994 block- and ash-flow deposits only reached the central and eastern Cordoban drainage and not as far as the 1991 flows (Modified from Rodríguez-Elizarrarás *et al.*, 1991 with data from Navarro *et al.*, 1992; 1993; 1994; Saucedo *et al.*, 1994; Gavilanes *et al.*, 1996).

Figura 7. Mapa que muestra la extensión de depósitos de flujos piroclásticos de 1991 y 1994 en el Volcán de Colima, y depósitos de flujos de escombros derivados de éstos. Tomado de Komorowski *et al.*, 1997.

Recientemente, personal de la Red Sismológica Telemétrica de Colima y del Observatorio Vulcanológico (ambos de la universidad mencionada) han podido detectar (e incluso localizar) lahares a partir de señales sísmicas, pudiendo corroborarlo

posteriormente en el campo. De esta manera, en el año 2003 pudieron registrar la ocurrencia anual de lahares, la mayoría pequeños, en el VdC (Cortés y Navarro, 2003). En las figuras 8 y 9 se aprecian las principales áreas de sedimentación de los flujos de escombros del Volcán de Colima.

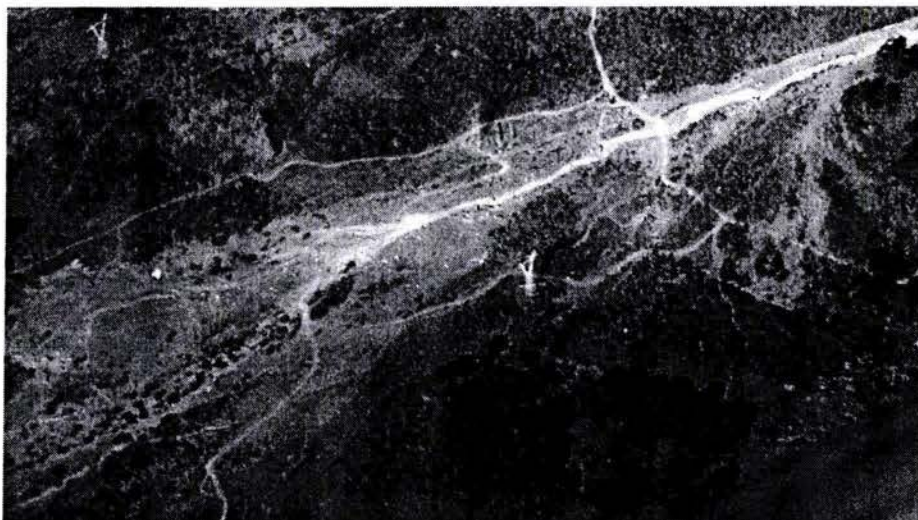


Figura 9. Zona en la que inician los mayores niveles de sedimentación de flujos de escombros de la barranca Montegrande, a 7.5 km del cráter. Nótese las torres de la línea de conducción eléctrica situadas a ambos lados del cauce. Fotografía aérea cortesía de Carlos Navarro Ochoa, Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.

Tal como lo indica la tabla 2, en este trabajo se incluyen los lahares que se emplazaron o pudieron haberse emplazado por las barrancas que drenan directamente del cono volcánico, y debido a la limitada disponibilidad de datos, la información que inicia en la temporada de lluvias de 1913 constituye la base de datos principal. Aunque no se cuenta con información directa sobre los lahares de ese año, tanto los testimonios como la aplicación de la simulación LAHARZ sugieren que los lahares que ocurrieron desde entonces hasta por lo menos 1916 fueron los de mayor magnitud. Se ha observado que aunque el emplazamiento de los lahares no necesariamente depende de la actividad eruptiva, parece haber una relación directa entre la ocurrencia de lahares y la formación de depósitos de flujos piroclásticos, proceso que ha podido ser verificado desde que existe personal dedicado a la vigilancia volcánica. Tal es el caso de las erupciones de 1991, 1994, 1998-99 y 2001-2003, eventos que a posteriori generaron lahares más o menos de dimensiones proporcionales a los volúmenes de bloques y cenizas eruptados. Consideramos que es más probable que los lahares que estamos infiriendo hayan ocurrido

y más improbable que no. Con base en esto, hemos decidido considerar la posible ocurrencia de lahares, con su respectiva estimación de volúmenes, después de los eventos eruptivos de 1975-76, 1981-82 y 1987. Todo lo mencionado hasta el momento en este apartado se expone en la tabla 2.

Tabla 2. Registro de lahares desde 1913 hasta 2003 en el Volcán de Colima. Se asume que muchos eventos de volumen inferior a 500,000 m³, así como varios mayores, ocurrieron sin que se tenga disponible su registro.

AÑO	BARRANCAS	OBSERVACIONES	VOLUMEN (m ³)	FUENTE
1913 a 1916	La Lumbre/El Remate/Armería	Se asume que el volumen fue superior al de los lahares de junio de 2000 (Alcance mínimo al Río Armería). Mancilla menciona que los lahares de material de 1913 ocurrieron al menos hasta 1916.	Mínimo de 5,000,000 El modelo LaharZ indica este volumen como necesario para alcanzar el Río Armería	Juan Mancilla (en Saucedo, 1997)
1913 a 1916	El Cordobán/El Remate/Armería	"	"	"
1913 a 1916	El Zarco/El Remate/Armería	"	"	"
1913 a 1916	San Antonio/El Remate/Armería	"	"	"
1913 a 1916)	Montegrando/Los Lobos/Tuxpan	Alcance hasta el Río Tuxpan.	Mínimo de 1,500,000 El programa LaharZ indica que se requiere este volumen mínimo para llegar al R. Tuxpan	"
1913 a 1916	El Muerto/Tuxpan	"	"	"
1913 a 1916	La Tuna/Tuxpan	"	"	"
1913 a 1916	Santa Ana/El Rosario/Tuxpan	"	Mínimo de 3,000,000 El programa LaharZ indica que se requiere este volumen mínimo para llegar al R. Tuxpan	"
1913 a 1916	El Cafecito/La Arena/Tuxpan	"La mezcla llevaba flotando bloques de gran tonelaje, llegando hasta el Río Tuxpan, a 17 km de distancia, lo que se repitió por 3 años más". Muerte probable del Sr. Demesio Macías.	"	"
1913 a 1916	Beltrán/Los Cañones/Tuxpan	Llegó al R. Tuxpan	"	"
1976 ?	Beltrán, El Cafecito, La Arena, La Lumbre ?	Posible a partir de material de la erupción de 1975-76, cuyo volumen fué un poco superior al de la de 1998-1999	3,000,000 ? (por ser un vol. similar al del lahar post erupc. 1998-1999)	Autor
1982 ?	El Muerto, La Tuna, Santa Ana ?	Posible a partir de material de la erupción de 1981-82, cuyo volumen fué inferior al de la de 1991	200,000 ?	Autor
1988 ?	Beltrán, El Cafecito, La Arena ?	Posible a partir de material de la explosión de 1987 (Posible volumen de depósito de flujo piroclástico similar al de la de 1994)	1,500,000 ?	Autor
1991, 25 de junio	El Cordobán	A partir del DFBC de 1991. Mató por lo menos 20 vacas. Afectó el Rancho El Jabalí. Pasó por L. Becerreá y San Antonio. Alcanzó 9.9 km desde la cima	500,000	BGVN 17:06 (06/92) Por personal del CICT BGVN 18:08 (08/93) Komorowski <i>et al.</i> , 1997

Tabla 2 (continuación).

1992	Monte grande	Alcanzó 7 km desde la cima (a 4 km de Quesería). Daños a propiedades (2 Ha). Las fuentes coinciden en que los lahares ocurren frecuentemente en la temporada de lluvias, variando en magnitud.	830,000	BGVN 18:08 (08/93) (Cortés y Navarro) Komorowski <i>et al.</i> , 1997 Sres. Trinidad Carrillo y Juvenal Ortega, en Komorowski <i>et al.</i> , 1997
1993	La Lumbre, El Cordobán	Pasó a un lado de la vivienda del Rancho Schulte.	20x4000x2=160,000	Abel Cortés, com. pers.
1994	San Antonio, Cordobán Oriental	A partir de material del DFBC (450,000m ³) del 21 de julio de 1994	3.5x6000x20= 420,000 +30% agua= 546,000	Saucedo <i>et al.</i> , 1995 Gavilanes <i>et al.</i> , 1996 Komorowski <i>et al.</i> , 1997
1994 (oct 7)	Santa Cruz-Cordobán	Cubrió una cerca	500,000 (según LaharZ aplicado al alcance distal)	Saucedo <i>et al.</i> , 1995, en Komorowski <i>et al.</i> , 1997
1994	La Arena	Marcas en árboles a aprox. 2 m de altura en la cota 1800 o 1900m	100,000-500,000	Komorowski <i>et al.</i> , 1997
1997 o 1998	Sta. Cruz-El Cordobán	Destruyó cercas del Rancho El Jabalí	5,000x2x20=200,000	Ursúa y Gavilanes, com. pers.
2000	El Zarco, El Remate, La Lumbre,	Sepultó una casa, casi mueren 2 personas. El frente del depósito quedó emplazado muy cerca del Río Armería (en este lugar tuvo 1 m de espesor x 6 m de anchura). Según LaharZ se requieren 3,000,000 m ³ de lahar para llegar casi al R. Armería	15,000x2x50=1,500,000 Solamente para El Zarco/El Remate 6,000x2x50=600,000 Para La Lumbre hasta La Becerrera Total= 2,100,000 sedimento + 50% agua= 3,150,000	Cortés y Navarro, com.pers. Autor
2000	Monte grande	Destruyó una torre de línea de conducción eléctrica de alta tensión	Zona de terrazas donde inicia la cañada: 5x100x0.6= 300 de sedimento Abanico: 3500x300x0.6= 630,000 de sedimento Total= 630,300m ³ + 50% de agua= 945,450	Cortés, Navarro y Sarocchi, com. pers.
2000 (24 agosto)	Cordobán, La Lumbre, El Zarco	Flujo hiperconcentrado a <i>streamflow</i> muy pequeño		Carlos Navarro, en http://www.ucol.mx/volcan/ultimos_datos.html
2003	Monte grande y San Antonio	14 lahares. Durante toda la temporada de lluvias el OVUC identifica y localiza lahares mediante registros sísmicos y algunos los verifica en campo. Uno alcanzó los 12.5 km desde la cima, muy cerca de Quesería. Uno de los pequeños (B. San Antonio, 16 agosto) fué presenciado desde su inicio. Otro pequeño (25 oct.) alcanzó 6 km desde el cráter. Según LaharZ se requieren 3,000,000 de m ³ para que pase por Quesería, lo cual es consistente con el cálculo de Cortés y Navarro.	Los más pequeños de 2000x0.75x2=3000 a 4x6000x2= 48,000 De 450,000 (abanico) a 1,800,000 (casi hasta Quesería) + 50% de agua= 2,700,000	Cortés y Navarro, 2003 Nick Varley, com. pers. Saucedo y Vargas, com. pers. Autor.

3.3.2.2 Simulación de lahares mediante LAHARZ.

En este trabajo se simularon lahares por las 9 barrancas principales que descienden del VdC mediante el programa LAHARZ (Iverson *et al.*, 1998), todas ellas dirigidas hacia el SW, S y SE. De esta manera ha sido posible estimar las áreas de inundación por eventos lahéricos de volúmenes comprendidos entre 500,000 y 5,000,000 m³, rango que incluye los eventos registrados o inferidos en este volcán hasta la fecha. Es importante mencionar que el programa indica que todos los volúmenes manejados por lo

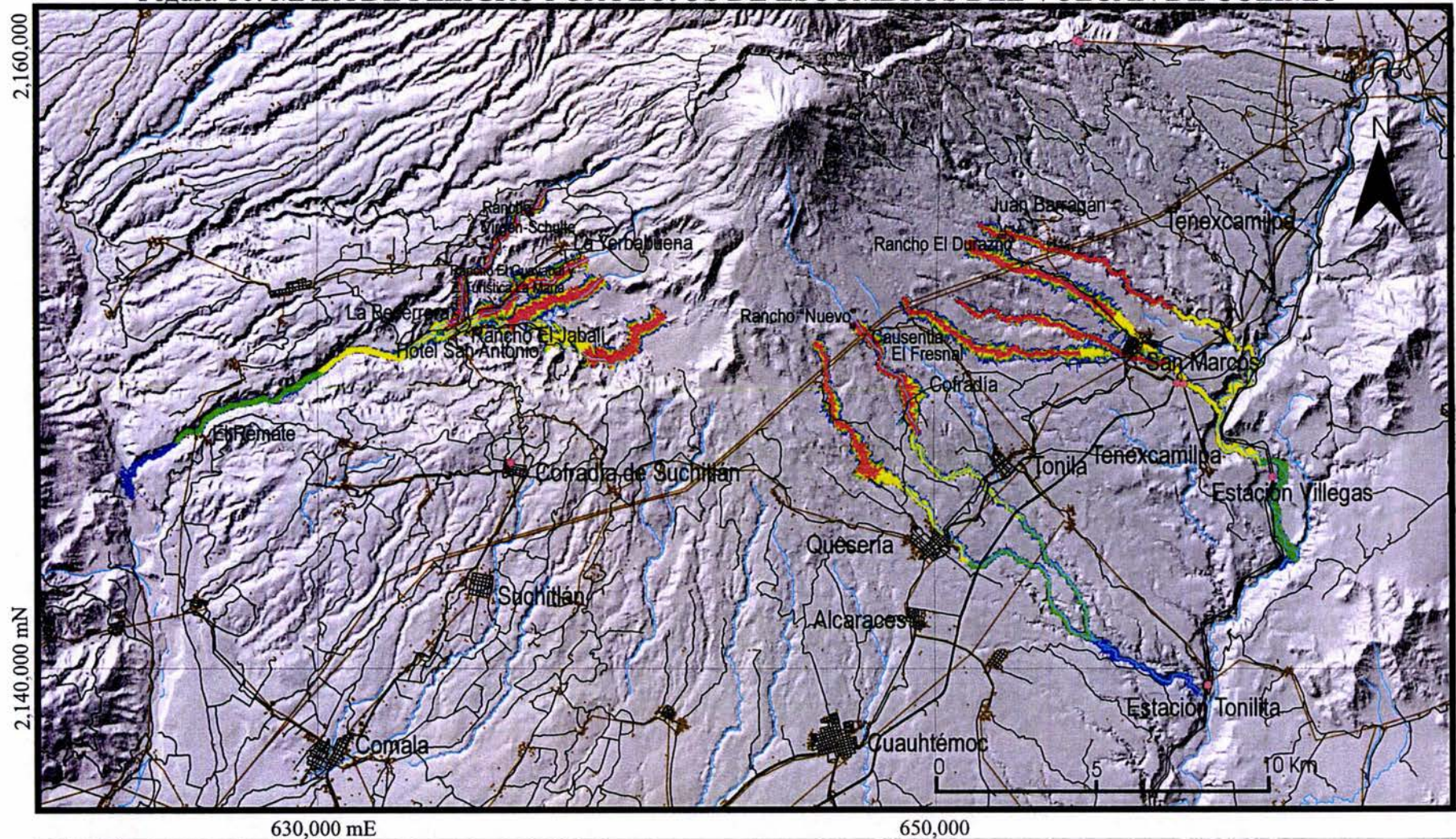
general no desbordan los valles principales, sino que quedan confinados, siendo la diferencia principal entre sus magnitudes el alcance máximo río abajo. Es decir, a mayor volumen la primera "respuesta" del lahar es incrementar su alcance máximo río abajo, mientras que el aumento de su capacidad de inundación lateral es menor. Sin embargo, es indispensable poner atención a las diferencias en la capacidad de inundación lateral entre los rangos de volúmenes especificados. Si bien estas diferencias pueden estar comprendidas típicamente entre los 10 y los 100 m, en algunos casos pueden alcanzar los 600 m entre el volumen menor y el mayor, y quizá dentro de estas distancias esté localizado un asentamiento humano o una propiedad, misma que pudiera ser sepultada por un lahar.

Es importante mencionar que el programa LAHARZ simula las zonas de inundación, por lo que los límites de áreas de posibles afectación tienen su inicio en correspondencia de una línea de energía equivalente a H/L de 0.3. Como ya se ha explicado en la metodología, el programa asume que en la zona proximal del volcán, limitada por la línea de energía, los lahares tienen un elevado poder erosivo, y aumentan de volumen hasta una cierta distancia, en donde inicia la mayor depositación. Para el caso del VdC, la línea con un valor de 0.3 corresponde en promedio con la distancia a la cual los lahares en el pasado han comenzado en mayor grado a depositar y a inundar. Además, este valor cae en el rango de 0.2-0.4, sugerido por los autores del programa. En particular, el límite de la línea de energía aquí considerada se encuentra a una distancia de aproximadamente 7-8 km del cráter del volcán.

En las figuras 10 y 11, los colores que representan las cuatro áreas de inundación también indican áreas de peligro mayor (rojo), intermedio (verde-amarillo) y bajo (azul), solamente con base en la frecuencia, en el sentido de que, por ejemplo, por el área roja pasan también lahares de mayores volúmenes. Sin embargo, la tabla muestra que los lahares menos voluminosos son también los más frecuentes. En el apartado sobre el cálculo de probabilidad se hablará más al respecto.

A continuación se describirán los alcances por cada barranca estudiada, ya que se ha observado que la formación de lahares por lo regular no afecta simultáneamente a todas las barracas, por lo que es necesario hacer una descripción detallada.

Figura 10. MAPA DE PELIGRO POR FLUJOS DE ESCOMBROS DEL VOLCÁN DE COLIMA



LEYENDA

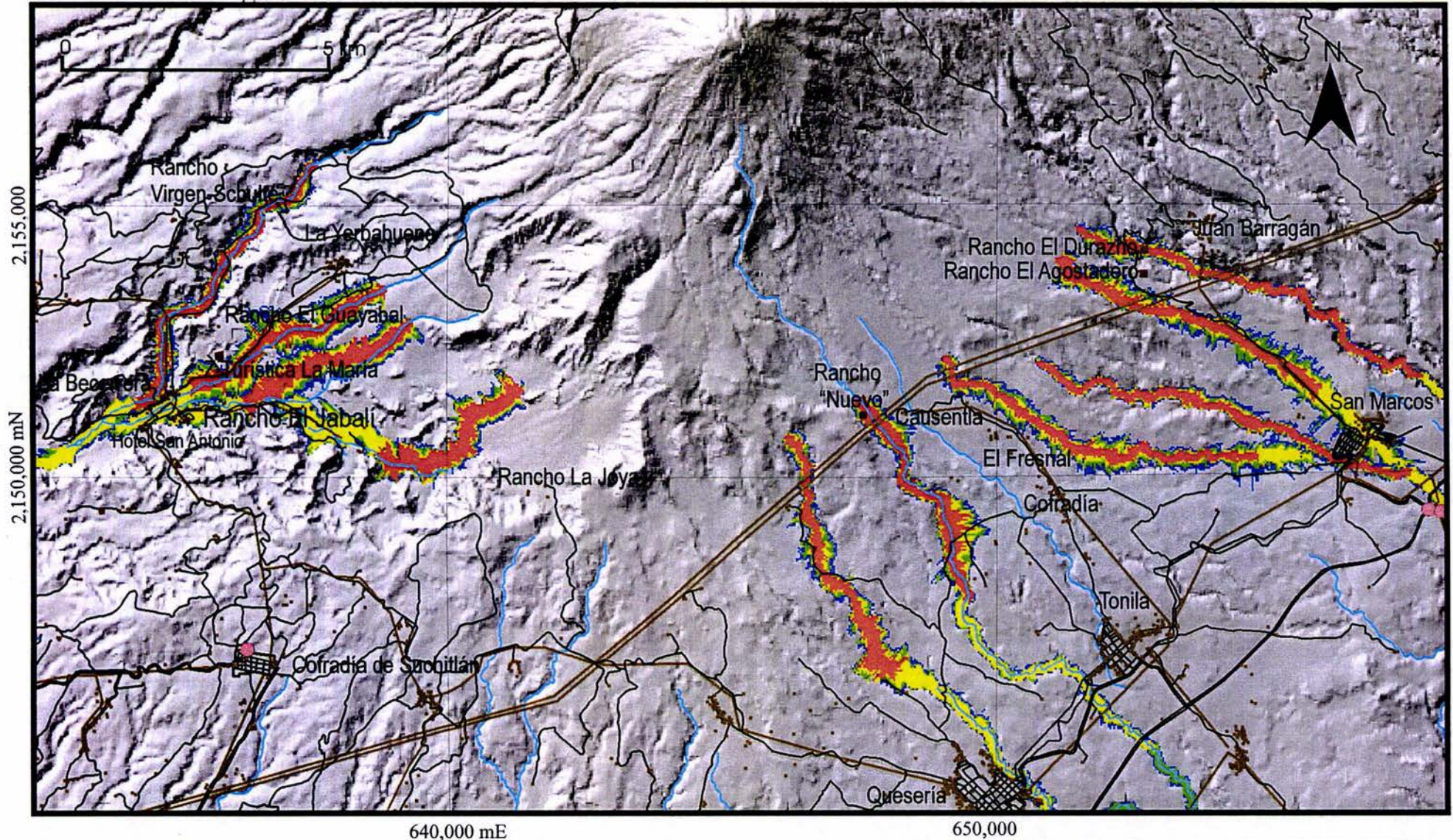
Peligro*	Volumen
ALTO	500,000 m ³
MEDIO-ALTO	1,500,000 m ³
MEDIO	3,000,000 m ³
BAJO	5,000,000 m ³

- Líneas de conducción eléctrica
- Carreteras y caminos asfaltados y no asfaltados
- Instalaciones de comunicación y transporte (telefonía, telegrafía, microondas, televisión, radio, terminales, etc.)

- Zona urbana
- Asentamientos humanos no urbanos
- Arroyos y ríos principales
- Líneas de conducción eléctrica
- Carreteras y caminos asfaltados y no asfaltados
- Vías de ferrocarril




* Por frecuencia de eventos. Los volúmenes menores, por ser los más frecuentes, se consideran como los más peligrosos.







Figura 11. MAPA DE PELIGRO POR FLUJOS DE ESCOMBROS DEL VOLCÁN DE COLIMA



LEYENDA

Peligro*	Volumen
ALTO	500,000 m ³
MEDIO-ALTO	1,500,000 m ³
MEDIO	3,000,000 m ³
BAJO	5,000,000 m ³

-  Líneas de conducción eléctrica
-  Carreteras y caminos asfaltados y no asfaltados
-  Instalaciones de comunicación y transporte (telefonía, telegrafía, microondas, televisión, radio, terminales, etc.)

-  Zona urbana
-  Asentamientos humanos no urbanos
-  Arroyos y ríos principales
-  Líneas de conducción eléctrica
-  Carreteras y caminos asfaltados y no asfaltados
-  Vías de ferrocarril

* Por frecuencia de eventos. Los volúmenes menores, por ser los más frecuentes, se consideran como los más peligrosos.

3.3.2.2.1 Volúmenes de lahar de 500,000 m³.

En color rojo se representan las áreas que pueden ser inundadas por lahares con volúmenes de 500,000 m³. Las distancias mencionadas son en línea recta y horizontales. El área total cubierta por este volumen representado es de 1,160,381 m².

Sector suroeste

Barranca La Lumbre. El área de inundación roja alcanza una distancia de 12 km a partir del límite de la línea de energía, alcanzando el puente de la carretera Suchitlán-San José del Carmen, además del rancho Virgen-Schulte (El Borbollón en la cartografía de INEGI), localizado a 8.8 km del cráter, las partes inferiores y medias de La Becerrera, así como algunas viviendas que marca INEGI frente a esta comunidad, del otro lado del río La Lumbre. Aunque dicha cartografía incluye a 2 viviendas río arriba del rancho mencionado, éstas no existen. Esta área tiene las menores anchuras de este sector, siendo de 270 m a 75 m.

Barranca El Zarco. El límite de inundación llega hasta una distancia de 11.7 km, a 250 m de La Becerrera. Esta área incluye 3 viviendas marcadas en la cartografía de INEGI, localizadas a 600 m al SE de La Yerbabuena, 2 del rancho El Guayabal y por lo menos otras 3 situadas en la zona de La María, así como el camino que comunica a la comunidad mencionada con La Becerrera (y que es la ruta de evacuación oficial), y tiene anchuras máximas de 450 m y mínimas de 125 m. Es importante señalar que la cartografía digital de INEGI tiene un error importante para este caso, ya que sitúa a un cauce que desciende desde el cono principal del volcán justo por el costado sur de La Yerbabuena (prácticamente tocando la comunidad), mismo que es inexistente. Además de esto, dicha topografía no reconoce al cauce del Zarco como tal. Debido a esto, las primeras simulaciones que se realizaron cubrían equivocadamente La Yerbabuena, la totalidad del rancho El Guayabal y todas las edificaciones de la zona turística La María. Una vez que se realizaron los ajustes necesarios al modelo digital de elevación, el modelo pudo hacer una delimitación mucho más real, recorriendo esta zona hasta 800 m al sur, quedando los puntos mencionados fuera de ella.

Barranca Santa Cruz-Cordobán. El alcance máximo se ubica a 11 km. La cartografía de INEGI indica que en el área que incluye esta zona se ubica una

construcción, probablemente perteneciente al rancho El Jabalí, localizada a unos 300 m al norte del cauce y a 10.2 km al SW del cráter. La anchura máxima de esta zona es de 550 m y la mínima es de 200 m.

Barranca San Antonio. El área de inundación alcanza una distancia máxima de 10 km, abarcando el extremo SE de la aeropista del rancho El Jabalí, así como 3 o 4 construcciones probablemente del citado rancho localizadas de 100 a 700 m al SE de la aeropista. En este cauce, esta área tiene anchuras aproximadas de 470 a 175 m.

Sectores sur y sureste

Barranca Montegrande. La zona de inundación alcanza una distancia máxima de 11.4 km., teniendo anchuras mínimas de 130 m. y máximas de 665 m. La zona es cruzada de SW a NE, en su parte alta, por una línea de conducción eléctrica de alta tensión, teniendo aquí la zona una anchura de 140m. Ahí se localiza una torre en las coordenadas UTM 13Q 645866 2149065, a 60 m del centro del cauce actual (figura 9). La siguiente torre se localiza a 191 m al E de la primera. La primera ha sido parcialmente cubierta en su base por alrededor de 1 m de espesor de sedimentos, sin que esto haya afectado su funcionalidad. De hecho, una torre que se localizaba entre estas dos fue destruída en 2000 (figura 12) por un lahar (Cortés y Navarro, 2003). Según la cartografía de INEGI, dentro de esta área se encuentra una construcción, en La Capilla.



Figura 12. Torre de línea de conducción eléctrica destruída por un lahar en el año 2000 en la barranca Montegrande, a 7.8 km del cráter del Volcán de Colima.

Barranca El Muerto. En esta barranca el área de inundación alcanza una distancia máxima de 11.3 km, incluyendo un rancho construído en 1999 ubicado a unos metros del curso de agua, a menos de 1 km al WNW de Causentla, así como una vivienda que muestra INEGI en la cota 1,430 m, a 150 m al NE del cauce. Esta área tiene anchuras máximas de 600 m (entre las cotas 1,400 y 1,500 m) y mínimas de unos 175 m.

Barranca La Tuna. Aquí el área tiene un alcance máximo de 12.5 km (a 1.2 km de San Marcos), teniendo anchuras comprendidas entre los 90 y los 280 m.

Barranca Santa Ana. El área tiene un alcance máximo de 15 km (a 600 m río abajo de San Marcos), con anchuras comprendidas entre los 90 y los 280 m., y cubre una parte del sur de San Marcos.

Barranca La Arena. Esta zona alcanza una distancia máxima de 12.5 km del mismo, a solamente 900 m de San Marcos, y cubre por lo menos 2 km del camino que comunica a esta población con Juan Barragán. La zona tiene anchuras mínimas de 175 m. y máximas de 400 m, a la altura del Rancho El Agostadero (cota 1490 m).

Barranca Beltrán. El punto más distal se ubica a 14.6 km, comprendiendo el rancho El Durazno, así como la parte del camino principal que cruza este cauce y que

comunica a Juan Barragán con San Marcos. Las anchuras de esta zona van de los 100 a los 270 m.

3.3.2.2.2 Volúmenes de lahar de 1,500,000 m³.

En color amarillo se representan las áreas que pueden ser inundadas por lahares con volumen hasta de 1,500,000 m³. Sin considerar pequeñas variaciones laterales, la zona de inundación roja se sobrepone a la zona amarilla en su área proximal. El área total cubierta por este volumen representado es de 2,413,688 m².

Sector suroeste

Barranca La Lumbre/El Remate. Los lahares simulados con este volumen alcanzan una distancia máxima de 16.9 km del cráter, muy cerca de donde en el mapa de INEGI este cauce cambia al nombre de El Remate. La anchura de esta área está comprendida entre 150 y 400 m. La diferencia en alcance de inundación lateral de este volumen con respecto al de 500,000 m³ (color rojo) excede en muy pocos puntos los 100 m. Abarca partes más elevadas de La Becerrera que en el caso previo, así como más viviendas localizadas, según INEGI, del lado opuesto del río La Lumbre.

Barranca El Zarco. Por esta barranca el punto más distal está a 12 km, en La Becerrera, lugar a partir del cual termina esta barranca. Con respecto a la zona de inundación roja, la inundación lateral excedería hasta 200 m., por lo que cubre áreas extensas de La Becerrera, así como una edificación representada en la cartografía de INEGI, localizada a unos 250 m al SW de la entrada del centro recreativo (otras más de la entrada misma) La María, y edificaciones del rancho El Guayabal, así como otra probablemente perteneciente al rancho El Jabalí. Esta área tiene anchuras máximas de 700 m y mínimas de 150 m.

Barranca Santa Cruz-Cordobán. El alcance máximo es de 12.2 km a partir del cráter (Puente El Cordobán). Esta área incluye la mayoría de las instalaciones principales del rancho El Jabalí, así como algunas pequeñas edificaciones que la cartografía de INEGI indica que se localizan a unos 1000 m al NE de las oficinas principales. También dentro de esta área se encuentran varias construcciones marcadas en la cartografía

referida, pertenecientes al hotel San Antonio. Las anchuras de esta zona son muy similares a las de la barranca El Zarco.

Barranca San Antonio. Esta zona alcanza una distancia máxima de 11 km, abarcando toda la aeropista del rancho El Jabalí, así como unas 7 edificaciones probablemente del citado rancho localizadas en la periferia de la aeropista. En este cauce, esta área tiene una anchura de unos 700 m en las partes más anchas y de unos 300 m en las secciones más estrechas (sin embargo, son pocas).

Sectores sur y sureste

Barranca Montegrando/Los Lobos. Esta zona alcanza una distancia máxima de 15.5 km del cráter, a menos de 1 km río abajo de Quesería. Cerca de la parte distal se advierte en la cartografía de INEGI una vivienda cerca de La Capilla, a 2 km al NW de Quesería. Incluye la torre siguiente al E (en UTM 13 Q 645677 2149036) de la línea de conducción eléctrica que se mencionó en la zona del color previo, misma que se ubica a 131 m al E del cauce actual. El área tiene una anchura mínima de 200 m. y máxima de 1000 m, estas últimas entre las cotas 1,300 y 1,400 m (zona de La Capilla). Además, esta área cubre al menos 10 edificaciones marcadas por INEGI sobre el borde NE de Quesería.

Barranca El Muerto. El límite distal de esta zona se ubica a 19.4 km del cráter, incluyendo una construcción pequeña incluida en la cartografía de INEGI (a 2.5 km al NW de Tonila). Incluye 2 edificaciones que INEGI sitúa en el cruce del río con los caminos principales que comunican a Quesería con Tonila. En este cauce, esta área tiene anchuras de unos 850 m en las partes más anchas (entre las cotas 1,440 y 1,740 m) y de unos 200 m en las secciones más estrechas.

Barrancas La Tuna/Santa Ana/Tuxpan. Esta área tiene una distancia máxima de 19.2 km con respecto al cráter, a poco más de 500 m al NW de la estación ferroviaria de Villegas, con una anchura de 150 a 500 m. Dentro del área correspondiente a la barranca La Tuna se encuentra una sección del camino El Fresnal-Causentla, una vivienda situada en la parte NW de El Fresnal, así como una mayor parte del sector S de San Marcos.

La Arena/Tuxpan. Esta zona tiene el mismo punto de mayor alcance que la barranca previa, y cubre la parte central del sector norte de San Marcos, además de una parte del camino de esta población hacia Juan Barragán. La zona tiene anchuras mínimas de 175 m y máximas de 450 m, a la altura de las cotas 1250-1350 m.

Barranca Beltrán/Tuxpan. El punto más distal de esta área es el mismo que el de la barranca previa. Las anchuras de esta zona van de los 100 (en la zona donde cruza la carretera libre Colima-Guadalajara) o 150 a los 400 m (en la sección del río Tuxpan).

3.3.2.2.3 Volúmenes de lahar de 3,000,000 m³.

En color verde se representan las áreas que pueden ser inundadas por lahares con volúmenes de 3,000,000 m³. Este volumen incluye también las áreas representadas en color amarillo y rojo (volúmenes de 1,500,000 y 500,000 m³), cubriendo un área total de 3,831,489 m²

Sector suroeste

Barranca La Lumbre/El Remate. Los lahares simulados con este volumen alcanzan una distancia máxima de 22 km con respecto al cráter, a unos 2 km del río Armería. En la zona distal, la anchura de esta área es de 150 a 400 m, mientras que en la zona proximal la anchuras excede en un máximo de 100 m la zona de cobertura de color amarillo, ocupando una mayor área de La Becerrera que por dicho color, así como más viviendas que INEGI sitúa frente a esta comunidad, del otro lado del río La Lumbre. En el cauce de El Remate INEGI marca 2 viviendas.

Barranca El Zarco. El punto más distal está a 12 km, en La Becerrera, lugar a partir del cual termina esta barranca. Con respecto a la zona de inundación lateral por volumen de 1,500,000 m³, la zona del volumen de 3,000,000 m³ la excedería lateralmente en un máximo de unos 400 m. (Zona de El Guayabal), por lo que casi la totalidad de las viviendas del rancho El Guayabal quedarían dentro de esta área, así como más construcciones del centro turístico La María. Además afectaría más de la mitad de La Becerrera. Esta área tiene una anchura de 650 a 400 m.

Barranca Santa Cruz-Cordobán. El alcance máximo se ubica a 12.2 km del cráter (Puente El Cordobán). Esta área incluye la mayoría de las instalaciones principales

del rancho El Jabalí que no son cubiertas por el área amarilla ni por la roja, así como una o dos viviendas que la cartografía de INEGI indica a unos 1000 m al NE de las oficinas principales. Las anchura de esta zona es similar a las de la barranca El Zarco, con (hasta de 750 m). Según el modelo, un lahar con un volumen de los representados en color verde sería suficiente para sepultar una mayor superficie (que por eventos con un volumen de 1,500,000 m³) de las instalaciones principales (incluyendo las oficinas) del rancho El Jabalí. Esto indica que probablemente se vería afectado el hotel San Antonio.

Barranca San Antonio. Esta zona alcanza una distancia máxima de 11 km., y tiene una anchura de 800 a 300 m. Dentro de esta área hay de 3 a 5 construcciones probablemente del rancho El Jabalí.

Sectores sur y sureste

Barranca Montegrando/Los Lobos. Este cauce alcanza una distancia máxima de 20.3 km del cráter, a 6 km río abajo de Quesería. Tiene una anchura de 100 a 300 m desde el límite de la zona roja río abajo, con máximos de 700 m en la zona de La Capilla, donde parece incluir una vivienda. Además, el área cubre casi la misma superficie de Quesería que aquella que representa el volumen de 1,500,000 m³.

Barranca El Muerto. El límite distal de esta zona se ubica a en el mismo punto que el de la barranca previa. Esta área tiene una anchura de 850 m (entre las cotas 1,400 y 1,500 m) y de unos 200 m en las secciones más estrechas. Algunas viviendas de Causentla están incluidas en esta área.

Barranca La Tuna/Santa Ana/Tuxpan. El punto más distal del área correspondiente a este volumen se sitúa a 22 km del cráter, en el río Tuxpan, a 2.8 km al SSE de la estación ferroviaria Villegas. En la sección correspondiente a la barranca La Tuna, el área incluye una vivienda que marca INEGI a 1.2 km alW de San Marcos (donde está una de las partes más anchas), así como el extremo sur de esta ciudad. Las partes más angostas miden unos 175 m. El área correspondiente a este volumen que cubre una parte de San Marcos es mayor a la del volumen previo.

Barranca La Arena/Tuxpan. En este cauce esta zona tiene su punto de mayor alcance en el mismo punto que la barranca previa, y cubre la parte central del sector norte

de San Marcos. La zona tiene anchuras mínimas de 175 m. y máximas de 700 m, a la altura de las cotas 1250-1350 m.

Barranca Beltrán/Tuxpan. El punto más distal se sitúa en el mismo punto que la barranca previa. Las anchuras de esta zona van de los 100 a los 500 m (entre las cotas 1,450 y 1,700m).

3.3.2.2.4 Volúmenes de lahar de 5,000,000 m³.

En color azul se representan las áreas que pueden ser inundadas por lahares con volúmenes de 5,000,000 m³. Este volumen incluye también las áreas representadas en colores verde, amarillo y rojo (volúmenes de de 3,000,000, 1,500,000 y 500,000 m³), cubriendo un área total de 5,386,003 m².

Sector suroeste

Barranca La Lumbre/El Remate. Los lahares simulados con este volumen alcanzan una distancia máxima de 24.5 km del cráter, y cubren casi un kilómetro del río Armería. En la zona distal la anchura de esta área es de 150 a 350 m, mientras que en la zona proximal la anchura excede en un máximo de 100 m a la zona de cobertura de color verde, con una anchura de 500 m. La zona azul cubre un área mayor de La Becerrera que la zona verde. Las viviendas que se encuentran frente a esta comunidad, en el lado opuesto del río La Lumbre, están en esta área.

Barranca El Zarco. Por esta barranca el punto más distal está a 12 km, en La Becerrera, lugar a partir del cual termina esta barranca. La zona de volumen de 5,000,000 m³ excede lateralmente hasta con 170 m a la zona de volumen de 3,000,000 m³, por lo que una mayor parte del centro recreativo La María quedaría dentro del área azul, además de afectar una mayor parte de La Becerrera que con el volumen menor. El área tiene una anchura máxima de 1000 m, por lo que casi llega a La Yerbabuena, y alcanza las granjas localizadas a menos de 1000 m al sur de la comunidad. La anchuras mínima es de 400 m.

Barranca Santa Cruz-Cordobán. El alcance máximo se ubica a 12.2 km del cráter (Puente El Cordobán). La anchura de esta zona es muy similar a la de la barranca El Zarco, con máximos de 950 m. Según el modelo, un lahar con un volumen de los representados en color azul sepultaría la totalidad de las instalaciones principales

(incluyendo las oficinas) del rancho El Jabalí. De la misma manera, el modelo indica que el hotel San Antonio sufriría destrucción.

Barranca San Antonio. Esta zona alcanza una distancia máxima de 11 km. Tiene una anchura de unos 900 m a 350 m. Todas las construcciones del rancho El Jabalí que se localizan cerca de este cauce serían sepultadas.

Sectores sur y sureste

Barranca Montegrande/Los Lobos/Tuxpan. Esta zona alcanza una distancia máxima de 24 km del cráter, y desciende a lo largo de 650 m del río Tuxpan a partir de su confluencia con el río El Muerto. El área tiene anchuras del orden de 100 hasta 750 m (en la zona de La Capilla). Además, esta área cubre casi la misma superficie de Quesería que aquella que representa el volumen previo.

Barranca El Muerto/Tuxpan. El límite distal de esta zona es el mismo que para el cauce anterior. Tiene una anchura de 950 m (entre las cotas 1,400 y 1,500 m) a 200 m. En la parte más ancha se encuentran aún más viviendas de Causentla que en la zona de color verde, así como otras dos que se encuentran en la cota 1,450 m, a 600 m WSW de Atenguillo.

Barranca La Tuna/Santa Ana/Tuxpan. El punto más distal del área correspondiente a este volumen es el mismo que para el cauce anterior. En la sección correspondiente a la barranca Santa Ana-El Rosario, el área incluye una zona de granjas ubicada a 850 m al WNW de San Marcos (donde está una de las partes más anchas), así como el extremo sur de esta ciudad, siendo las partes más angostas de unos 175 m. El área correspondiente a este volumen que cubre una parte de San Marcos es mayor a la del volumen previo.

La Arena/Tuxpan. Esta zona tiene su punto de mayor alcance en el mismo punto que la barranca previa, y cubre, además de la parte central del sector N de San Marcos, una parte de su sector NE. La zona tiene una anchura mínimas de 175 m a 900 m, a (cotas 1250-1350 m).

Barranca Beltrán/Tuxpan. El punto más distal de esta área se sitúa en el mismo punto que la barranca previa. La anchura de esta zona es de 100 a 600 m (entre las cotas 1,450 y 1,700 m).

3.3.2.3 Probabilidad de ocurrencia

Con base en la reconstrucción de eventos laháricos propuesta en la tabla 3, la recurrencia es discontinua y se intensifica obviamente después de una etapa eruptiva caracterizada por el emplazamiento de flujos piroclásticos. Sin embargo, se han observado también eventos, aunque menores, en los que los lahares se formaron por abundantes lluvias, las cuales removilizaron materiales piroclásticos que rellenaron los barrancos en años anteriores. Por estos motivos es muy difícil poder determinar la posible recurrencia para estos fenómenos, ya que ésta estaría ligada a la probabilidad de que ocurra un cierto tipo de actividad explosiva. Además, muchos de los eventos menores han sido reportado gracias a testigos directos, ya que lahares de pequeño volumen (500,000 m³) difícilmente quedarían registrados en la estratigrafía del volcán.

En la tabla 3 se observa cómo los lahares de mayor magnitud se asocian a la erupción pliniana (Saucedo, 1997) de 1913, para la cual, como se explicará más adelante, algunos autores consideran una recurrencia de aproximadamente 100 años. En este sentido, se podría afirmar que las áreas afectadas por lahares de volumen de 5,000,000 m³ tendrían una probabilidad recurrencia de 100 años.

Por el contrario, los otros volúmenes han sido reportados ya sea asociados a una actividad explosiva o no. Por este motivo, y considerando el número de eventos en los últimos 35 años (desde 1975, a partir del cual se tiene un registro bastante completo) es posible hacer cálculos de probabilidad para las tres áreas de peligro, roja, amarilla y verde. En la siguiente tabla se reporta el número de eventos por cada categoría.

Tabla. 3 Estimación del número de eventos laháricos según su volumen para los últimos 30 años.

AÑOS	V1: 500,000	V2: 1,500,000	V3: 3,000,000
1975-1980	2	1	
1980-1985	2	-	
1985-1990	2	2	
1990-1995	4	1	
1995-2000	1	1	2
2000-2005	14	-	

TOT	25	5	2
λ	25/35= 0.71	5/35= 0.14	

En la tabla resulta evidente que debido al registro de eventos se puede estimar la probabilidad solamente para los volúmenes V1 y V2.

Considerando un periodo de un año, la probabilidad de que un evento con V1 tiene la probabilidad del 35% de ocurrencia, mientras que por V2, la probabilidad disminuye al 12% de ocurrencia en un año. Hay que considerar que estos porcentajes pueden variar mucho durante la intensificación de la actividad explosiva que con el emplazamiento de flujos piroclásticos en los drenajes, aumenta la probabilidad de formación de lahares secundarios. En ese caso, durante una intensa actividad explosiva la formación de lahares es prácticamente del 100%. Sin embargo, el volumen removilizado (y por consiguiente la posible área de afectación) podrá depender del estilo eruptivo. Efectivamente, los lahares de mayores volúmenes se han originado solamente en ocasión de erupciones plinianas, mientras que los lahares de volumen de 500,000 son los más frecuentes durante o después de erupciones tipo Merapi.

3.3.3. Flujos piroclásticos.

3.3.3.1 Introducción.

En el Volcán de Colima los flujos piroclásticos han sido estudiados en detalle por Rodríguez-Elizarrarás *et al.* (1991), Sheridan y Macías (1993), así como por Saucedo *et al.* (2002). Los más distales y potencialmente destructivos son los estudiados por el último, en especial los generados durante la erupción pliniana de 1913, cuando estos eventos alcanzaron distancias de 15 km, destruyendo ranchos y ganado. Una vez emplazados, estos depósitos causaron la muerte de al menos 3 personas (Saucedo, 1997). Los flujos piroclásticos constituyen uno de los peligros más frecuentes del Volcán de Colima (Figuras 13, 14 y 15)



Figura 13. Flujo piroclástico de bloques y ceniza tipo Merapi descendiendo a más de 70 km/h en el Volcán de Colima el 10 de diciembre de 1998. Tomado de Gavilanes y Cortés (1999).



Figura 14. Depósito de flujo piroclástico, localizado a menos de 10 km al sureste del cráter del Volcán de Colima, cerca del cauce del arroyo El Muerto. Sobre él se ha construido un rancho nuevo.



Figura 15. Depósito de flujo piroclástico de la erupción de 1913, ubicado en los alrededores de la comunidad La Yerbabuena, Col., a 8 km de la cima del Volcán de Colima.

La tabla 4 muestra un resumen de las principales erupciones del VdC que diversos autores han descrito o re-descrito, sumando 38 periodos eruptivos de diversos tipos. El registro histórico comienza con un periodo eruptivo iniciado en 1519 que menciona Clavijero (1780; en Bretón *et al.*, 2002). El registro concluye con el periodo efusivo-explosivo de 2001-2003. Es importante mencionar que las interpretaciones de las descripciones de las erupciones anteriores al siglo XIX en su mayoría son difíciles de realizar, ya que muchas de ellas son escuetas y se prestan a la confusión, por lo que pueden variar de un autor a otro. A partir del siglo XIX, las crónicas y descripciones de la actividad del VdC se consideran más confiables o más fáciles de interpretar, quizá por ser registros más recientes.

Sin embargo, se decidió mantener las principales interpretaciones de Komoroswski *et al.* (1997), Saucedo (1997), Saucedo y Macías (1999), Saucedo (2001) y Saucedo *et al.* (2002), dado que estos autores son los que han estudiado con mayor extensión y detalle los flujos piroclásticos del VdC y sus procesos relacionados, por lo que se considera que pueden tener un mejor criterio para interpretar la información histórica sobre estos fenómenos.

Sin embargo, las contribuciones importantes de otros autores recientes como Medina (1983) y De la Cruz (1993) también se encuentran incluidas en la tabla, aunque Saucedo (2001) no las considere. Esto es en los casos en los que la descripción o interpretación citada corresponda claramente o más o menos claramente a erupciones efusivas o bien a erupciones explosivas medianas o grandes y, por lo tanto, generadoras de flujos piroclásticos tipo Merapi, de flujos piroclásticos de bloques y cenizas tipo Soufriere o bien de flujos piroclásticos derivados del colapso de una columna eruptiva pliniana (conceptos que explicaremos más adelante). Se utilizó esta clasificación de flujos piroclásticos, propuesta por Saucedo (2001) y Saucedo *et al.* (2004) quienes, basándose en datos históricos, estimaron que el VdC ha presentado por lo menos 25 erupciones que han producido flujos piroclásticos, de las cuales al menos 3 han sido originados por el colapso de una columna eruptiva pliniana (posiblemente en 1575, en 1606, posiblemente en 1690, en 1818 y en 1913), 12 han sido de tipo Soufriere y por lo menos 9 han sido de tipo Merapi.

Tabla 4. Síntesis de la historia eruptiva del Volcán de Colima (modificado de Saucedo, 2001; y actualizado al año 2003 por el autor). A partir de 1998 no se mencionan los eventos explosivos formadores de columnas de ceniza de hasta 6 km de altura que generaron depósitos de FBC menores a 1 km de longitud, o que no los formaron.

Número	Año	Tipo de erupción	Referencia	Características
1	1519-1523	Explosiva.	Clavijero, 1780 (En Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Generación de FP de efectos destructivos Posibles FBC tipo Soufriere
2	1576	Posible pliniana (Saucedo, 2001) (Vulcaniana en Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Bárcena, 1887 (En Saucedo, 2001)	Generación de FBC? Posible generación de FP
3	1585	Explosiones (De la Cruz le atribuye un VEI de 4)	Tello, 1651; Arreola, 1915; De la Cruz, 1993 (En Komorowski <i>et al.</i> , 1997)	Generación de FP, Caída de ceniza a más de 100 km. Se cita un día de ocurrencia. Posibles FBC tipo Soufriere
4	1590	Explosión	Waitz, 1935 (En Saucedo, 2001)	Lluvia de ceniza en una amplia zona Posibles FBC tipo Soufriere
5	1606	Posible pliniana (Saucedo, 2001) (2 peleanas según Bretón <i>et al.</i> , 2002) (VEI 4 para De la Cruz, 1993)	Tello, 1651; Arreola, 1915 (En Saucedo y Macías, 1999 y en Saucedo, 2001)	Explosión y caída de ceniza hasta Michoacán Posible generación de FP Posibles FBC tipo Soufriere
6	1611-1613	Explosiones	Bárcena, 1887(En Saucedo y Macías, 1999; Saucedo, 2001 y en De la Cruz, 1993).	Lluvia de ceniza en una amplia zona Posibles FBC tipo Soufriere
7	1622	Explosiva	Tello, 1651, Orozco y Berra, 1888 (En De la Cruz, 1993 y en Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Lluvia de ceniza en una amplia zona (hasta Zacatecas), Posibles FBCs tipo Soufriere (Según Saucedo, 2001)
8	1690	Posible pliniana	Luhr y Carmichael, 1990 (En Saucedo, 2001)	Posible generación de FP
9	1744	Explosiones	Archivo General de Indias, 1744 (En Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Caída de ceniza en la Cd. de Colima Expulsiones continuas de material incandescente. Lahares.
10	1769	Explosión	Lasaga, 1793(En Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Iluminación a 30 km. Posibles FBC tipo Soufriere.
11	1770	Explosión	Ponce de León, 1789(En Komorowski <i>et al.</i> , 1997 y en Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Flujos de lava, flujos piroclásticos - Posibles FBC tipo Merapi Posibles FBC tipo Soufriere- (que mataron ganado en la barranca La Joya). Caída de ceniza hasta aprox. 500 km al norte
12	1771	Explosión	Bárcena, 1887; Arreola, 1913 (En Saucedo y Macías, 1999; y en Saucedo, 2001)	Caída de ceniza en Guadalajara Posibles FBC tipo Soufriere
13	1780	Explosión	Ponce de León, 1789(En Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Expulsión de material incandescente al flanco S, causando incendios. Posibles FBC tipo Soufriere
14	1794	Explosión	Archivo Gral. de Indias, 1795(En Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Posibles FBC tipo Soufriere
15	1795	Explosión y efusiva	De la Cruz, 1993; Archivo Gral. de Indias, 1795 (En Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Flujos de lava Posibles FBC tipo Merapi
16	1804	Explosión moderada	De la Cruz, 1993. Arch. Hist. del Arzobispado de Jal. (Zapotlán), 1806 (En Bretón <i>et al.</i> , 2002)	Columna eruptiva moderada
17	1806-1808	Efusiva	De la Cruz, 1993.	Posibles FBC tipo Merapi

Tabla 4. (Continuación)

18	1818	Pliniana	Sartorius, 1871; Bárcena, 1887 y Arreola, 1915 (En Saucedo y Macías, 1999 y en Saucedo, 2001)	Generación de FP y caída de ceniza hasta la Cd. de México, ganado muerto por FP al S (barranca el Muerto)
19	1869-1872	Explosiones y actividad efusiva del cono adventicio	Sartorius, 1869; Bárcena, 1887 (En Saucedo y Macías, 1999 y en Saucedo, 2001)	Flujos de lava y FBC tipo Merapi y caída de ceniza Posibles FBC tipo Soufriere
20	1880	Efusiva	Kerber, 1882; C. Siebe, Comunicación personal (En Saucedo y Macías, 1999 y en Saucedo, 2001)	Flujos de lava y FBC tipo Merapi en el flanco SW
21	1881-1884	Explosiones moderadas	De la Cruz, 1993. Medina, 1983.	Caída ligera de ceniza
22	1885-1886	Efusiva	Bárcena, 1887 (En Saucedo y Macías, 1999 y en Saucedo, 2001)	Flujo de lava en el flanco SW FBC tipo Merapi.
23	1885-1886	Explosiones	Bárcena, 1887 (En Saucedo y Macías, 1999 y en Saucedo, 2001)	FBC tipo Soufriere?
24	1889	Explosiones	Medina, 1983, (en De la Cruz, 1993)	Caída de ceniza a 100 km al NE. Lanzamiento de proyectiles Posibles FBC tipo Soufriere
25	1890	Explosión	Arreola, 1915; De la Cruz, 1993 (En Saucedo, 2001)	Caída de ceniza en la Cd. de Guanajuato y FBC tipo Soufriere?
26	1891-1892	Explosión	Arreola, 1915; Starr, 1894 (En Saucedo, 2001)	Caída de ceniza en la Cd. de Colima y posibles FBC tipo Soufriere?
27	1903	Explosión	Arreola, 1915; Waitz, 1935 (En Saucedo, 2001)	Caída de ceniza y FBC tipo Soufriere
28	1908	Explosión	Arreola, 1915; Waitz, 1936 (En Saucedo, 2001)	Caída de ceniza y FBC tipo Soufriere
29	1909	Explosión	Arreola, 1915; Waitz, 1937 (En Saucedo, 2001)	Caída de ceniza y FBC tipo Soufriere
30	1913	Pliniana	Waitz, 1915, 1935; Arreola, 1915 (En Saucedo, 2001)	FBC tipo Merapi, FBC Soufriere, FP de columna pliniana y caída de ceniza a 720 km
31	1961-1962	Efusiva.	Mooser, 1961 (En Saucedo, 2001)	Alcance del flujo de lava aprox. 2 km tipo Merapi en el flanco N FBC tipo Merapi
32	1975-1976	Efusiva.	Thorpe et al., 1977 (En Saucedo, 2001)	Alcance del flujo de lava 4.5 km, FBC tipo Merapi en el flanco SE
33	1981-1982	Efusiva	Luhr y Carmichael, 1990 (En Saucedo, 2001)	Alcance del flujo de lava 1 km, tipo Merapi en el flanco S FBC tipo Merapi
34	1987	Explosión	Luhr y Carmichael, 1991 (En Saucedo, 2001)	Formó un cráter en la parte E de la cima y FBC tipo Soufriere
35	1991	Efusiva	Rodríguez-Elizarrarás <i>et al.</i> , 1991; Saucedo <i>et al.</i> , 2001 (En Saucedo, 2001)	Alcance de los FBC tipo Merapi, 4 km y del F. de lava, 2 km en el flanco SW FBC tipo Merapi
36	1994	Explosión	Saucedo <i>et al.</i> , 1995; BGVN 19:06 (06/94) (En Saucedo, 2001)	FBC tipo Soufriere con un alcance de 3.5 km

Tabla 4. (Continuación)

37	1998-1999	Efusiva y explosiones. Tres explosiones principales.	Saucedo <i>et al.</i> , 2001; Saucedo <i>et al.</i> , 2002; Navarro <i>et al.</i> , 2002; Zobin <i>et al.</i> , 2002. Sr. Gabriel Sandoval Chávez (Rancho El Borbollón, Jal.), comunicación personal. Autor.	Alcance de FBC de tipo Merapi de 4.5 km y FBC tipo Soufriere de 3.3 y 5 km (hasta 6.3 km -H/L=0.33-, según el autor y el Sr. Sandoval); alcance de los 3 flujos de lava: 3.8 km. Lanzamiento de balísticos hasta 3.5 km
38	2001-2003	Explosiones y Efusiva. Cuatro explosiones principales	Varley y Gavilanes, 2002. Gavilanes yVarley, 2002; BGVN 26:04 Varley <i>et al.</i> , 2003; Suárez Plascencia <i>et al.</i> , 2002; Gavilanes, 2004; Varley <i>et al.</i> , 2004. Núñez-Cornú <i>et al.</i> , 2002. BGVN 27:02, 27:05, 27:11. Autor	FBC tipo Soufriere con un alcance de 1.3 km. Lanzamiento de balísticos a 2 km. Crecimiento de domo dentro del cráter. Alcance de FBC de tipo Merapi de 1-2 km y FBC tipo Soufriere de 3 km; alcance de los flujos de lava 1.4 km. Lanzamiento de balísticos hasta 2.5 km

3.3.3.2 Clasificación de escenarios eruptivos.

Los flujos piroclásticos de bloques y ceniza (FBC) tipo Merapi, denominados así por Escher en 1931 (Boudon *et al.*, 1993) debido a la alta frecuencia con que se presentan en el volcán Merapi (Indonesia), se forman cuando la parte exterior de un domo de lava se colapsa debido al empuje lateral que ejerce la lava ascendente que está siendo extruída al centro del domo. También se generan cuando se desprenden bloques de lava del frente de un flujo de lava que desciende por la pendiente de un volcán. En la tabla 5 podemos observar que este escenario eruptivo, con la consecuente producción de este tipo de flujo piroclástico, puede haber ocurrido en al menos 23 ocasiones desde 1519. Esto significa que, al parecer, este es el segundo escenario que el VdC presenta con mayor frecuencia, coincidiendo con lo reportado por Saucedo (2001).

Por definición, los flujos piroclásticos de bloques y ceniza (FBC) tipo Soufriere se producen por la expulsión de un domo o tapón de lava que se encuentra obstruyendo el conducto (Cas y Wright, 1988), lo cual da origen a una columna eruptiva de hasta 15 km de altura (la cual sólo llega a mantenerse por segundos o minutos) por su densidad, aunada a la acción de la gravedad, se colapsa, generando flujos piroclásticos. En este trabajo se considerarán como FBC tipo Soufriere a aquellos flujos piroclásticos que se apeguen a estas características, cuya formación de columna eruptiva involucre o no la destrucción de un domo de lava. De hecho, Saucedo (2001) implícitamente se apega también a esta última condición al considerar como FBC tipo Soufriere al producido por

el evento del 17 de julio de 1999, en el cual ya no existía un domo emplazado en la cima del volcán y que, no obstante, produjo FBC, por lo que se asume que los bloques provenían de restos de los últimos colapsos de columna que volvieron a caer dentro del cráter (posiblemente al final de la explosión del 10 de mayo de 1999), o bien a magma solidificado en el interior del conducto volcánico. La tabla 5 muestra que este escenario eruptivo, con la consecuente producción de este tipo de flujo piroclástico, puede haber ocurrido en al menos 38 ocasiones en tiempos históricos, lo cual significa que este podría ser el escenario que el VdC presenta con mayor frecuencia, coincidiendo con Saucedo (2001).

Es importante mencionar que tanto la actividad tipo Merapi como la Soufriere generan flujos piroclásticos de bloques y ceniza que, como describen Saucedo et al. (2003) se componen de un flujo basal denso que se desplaza al ras del terreno y de una nube superior turbulenta (flujo piroclástico diluido), que tiene mayor movilidad y puede rebasar barreras topográficas, y cuyo alcance máximo puede exceder el flujo basal por más de 2 km (Saucedo, 2001). En el punto 4.5 se tratará el tema de los alcances de los flujos piroclásticos diluidos en el VdC.

Los flujos piroclásticos producidos por colapso de una columna pliniana se pueden producir por colapsos parciales de la columna sostenida o bien por el colapso total de la misma en las etapas terminales de la erupción, y generalmente consisten en flujos de pómez y ceniza. Saucedo (1997, 2001) describió la erupción pliniana de 1913 y observó que los flujos asociados estaban constituidos por pómez, ceniza y escoria. Este mismo autor estimó que estos flujos se colapsaron desde la base de la columna eruptiva, la cual mantuvo una altura de 20 km, según la aplicación a sus datos de campo al modelo de Carey y Sparks (1986), por más de 7 horas. Difiriendo un poco de Saucedo (2001), y con la finalidad de aportar otra apreciación, en las estimaciones probabilísticas del presente trabajo se decidió considerar no 3 sino 5 erupciones como formadoras de flujos piroclásticos por colapso de columna pliniana (tabla 5).

TABLA 5. Posible número de flujos piroclásticos ocurridos en el Volcán de Colima inferido de las descripciones históricas resumidas en la tabla 4.

PERIODO	FLUJOS DE BLOQUES Y CENIZA TIPO MERAPI	FLUJOS DE BLOQUES Y CENIZA TIPO SOUFRIERE	FLUJOS PIROCLÁSTICOS POR COLAPSO DE COLUMNA PLINIANA
1519-1528		5	
1529-1538			
1539-1548			
1549-1558			
1559-1568			
1569-1578			1
1579-1588		1	
1589-1598		1	
1599-1608			1
1609-1618		3	
1619-1628		1	
1629-1638			
1639-1648			
1649-1658			
1659-1668			
1669-1678			
1679-1688			
1689-1698			1
1699-1708			
1709-1718			
1719-1728			
1729-1738			
1739-1748			
1749-1758			
1759-1768			
1769-1778	1	2	
1779-1788		1	
1789-1798	1	1	
1799-1808	3		
1809-1818			1
1819-1828			
1829-1838			
1839-1848			
1849-1858			
1859-1868			
1869-1878	4	4	
1879-1888		3	
1889-1898		3	
1899-1908		2	
1909-1918	1	2	1

TABLA 5. (Continuación)

1919-1928			
1929-1938			
1939-1948			
1949-1958			
1959-1968	2		
1969-1978	2		
1979-1988	2	1	
1989-1998	2	1	
1999-2003	más de 20?	más de 15?	
TOTAL	38?	46?	5

3.3.3.3 Coeficientes de fricción aparente (H/L) de cada escenario eruptivo.

Para la realización de su mapa de peligros por flujos piroclásticos, Saucedo (2001) se basó en la distribución que encontró en el campo de los alcances de los FBC tipo Merapi, tipo Soufriere y flujos piroclásticos por colapso de columna eruptiva pliniana. Para lograr esto tuvo que estudiar la estratigrafía, distribución, sedimentología y mecanismos de emplazamiento de los depósitos de flujos piroclásticos de las erupciones de 1913, 1991 (basándose en los trabajos de Rodríguez-Elizarrarás *et al.*, 1991), 1994, 1998 y 1999. La distribución de estos depósitos se muestra en las figuras 16, 17 y 18.

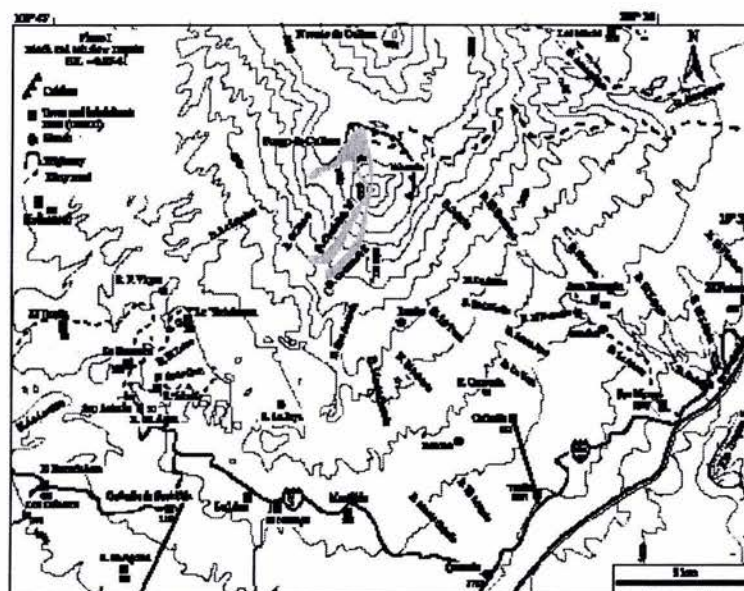


Fig. 16. Distribución de los depósitos de bloques y ceniza de la erupción de 1913 del Volcán de Colima. Tomado de Saucedo *et al.*, 2004.

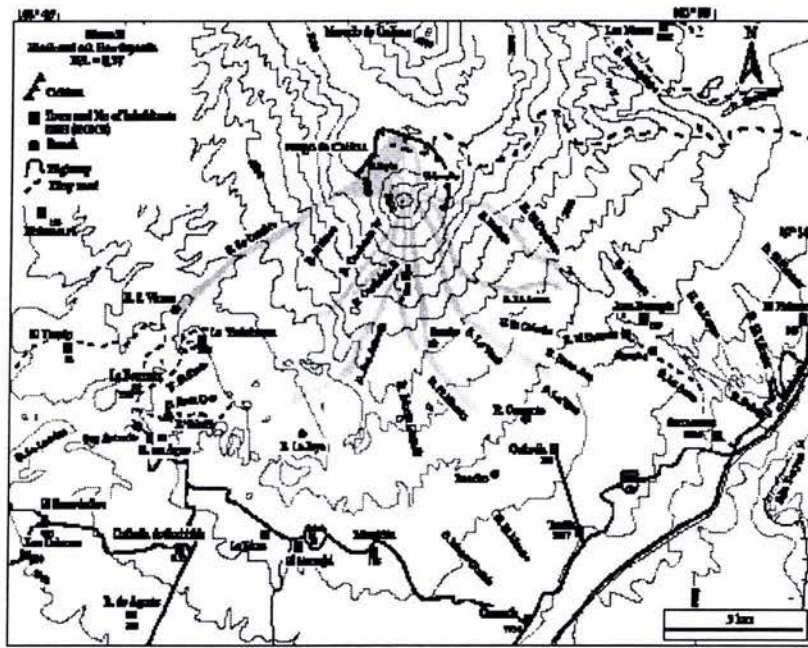


Figura 17. Distribución de los depósitos de flujos de bloques y ceniza tipo Soufriere de la erupción de 1913 del Volcán de Colima. Tomado de Saucedo *et al.*, 2004.

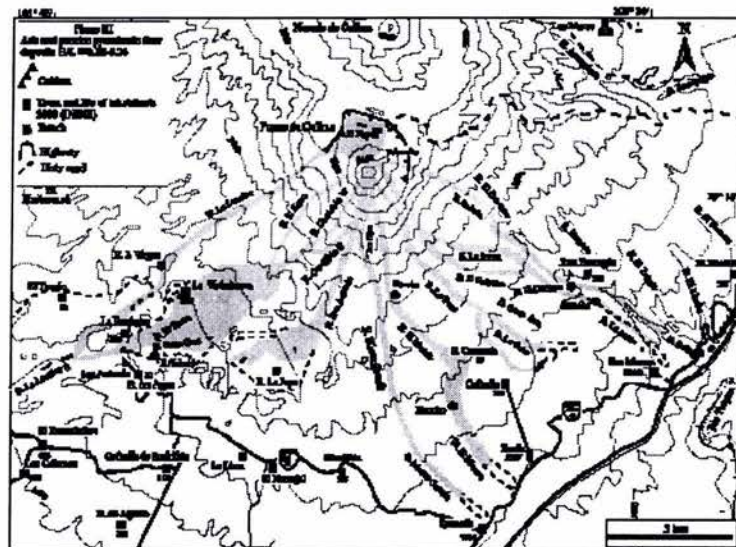


Figura 18. Distribución de los depósitos de flujos piroclásticos de bloques y ceniza derivados del colapso de la columna pliniana de la erupción de 1913 del Volcán de Colima. Tomado de Saucedo *et al.*, 2004.

Continuando con las aportaciones de Saucedo (2001), los alcances máximos de los FBC tipo Merapi en el periodo 1994-1999 estuvieron comprendidos entre 1.5 y 4.5 km, siendo la mayoría de los coeficientes de fricción H/L de 0.41 a 0.72 (solamente los H/L de 1913 fueron ligeramente menores, de 0.37 a 0.41).

Los FBC tipo Soufriere ocurridos entre 1994 y 1999 tuvieron alcances comprendidos entre 3 (en la barranca La Lumbre, en 1999) y 3.75 km, con coeficientes de fricción H/L de 0.41 a 0.48 (Saucedo, 2001). Este autor considera a este grupo como FBC tipo Soufriere de pequeña escala. Cabe destacar que durante el desarrollo del presente trabajo, al revisar fotografías aéreas tomadas pocos días después de la explosión del 17 de julio de 1999 (figura 19), se observó que el alcance máximo por la barranca La Lumbre de este tipo de flujos fué superior, de 6 km, lo cual extendería este rango de H/L hasta 0.33. Sin embargo, el multicitado autor descubrió que los FBC tipo Soufriere ocurridos en la erupción de 1913 tuvieron alcances muy superiores (9 km), con H/L de 0.27.



Figura 19. Vegetación deshidratada por un flujo piroclástico tipo Soufriere generado por la explosión del 17 de julio de 1999, en la barranca La Lumbre.

Para realizar sus simulaciones, Saucedo (2001) usó coeficientes de fricción aparente H/L de 0.35 para eventos tipo Merapi y para eventos pequeños tipo Soufriere, mientras que para los eventos tipo Soufriere de escala mayor aplicó un H/L= 0.17 (el valor calculado en campo de 0.27 no contempla la altura a la cual colapsó la columna eruptiva). Para la simulación de los flujos piroclásticos por colapso de columna pliniana ajustó el valor de H/L a 0.12, ya que el valor de 0.17, calculado sobre datos de campo, no incluía la altura a la que se produjo el colapso. Sus simulaciones fueron realizadas con una viscosidad aparente de 0.01, ya que encontró que con este valor los resultados de la movilidad y alcance de los eventos simulados se adaptaban mejor a los datos que encontró en el campo.

La metodología de Saucedo consistente en disminuir el valor de H/L de 0.27 a 0.17 para el caso de flujos tipo Soufriere, es un artificio que se utilizó para que el programa flow3d produjera alcances equivalentes a los que se observaron en el campo. Sin embargo, el valor utilizado de 0.17 no refleja el valor propio del flujo, en el sentido de que si solamente se consideran las observaciones de campo, el valor correcto de H/L es de 0.27. Esta disminución en el H/L utilizado en la simulación se debe a que Saucedo (2002) aplica un valor de la viscosidad del flujo de 0.01, que combinado con el H/L de 0.17 permite que el programa FLOW3D llegue a reproducir los alcances observados en campo. Por el contrario, en el presente trabajo se pretende simular los flujos con el H/L real de 0.27 modificando sin considerar otros parámetros como la velocidad inicial y la viscosidad, ya que representan factores muy difícilmente estimables a partir del estudio de un depósito piroclástico. En este sentido se quieren reducir al mínimo las incógnitas, y reproducir las trayectorias de los flujos con base solamente en el valor de H/L, único parámetro que realmente refleja el dato de campo. Esto puede ser importante porque investigadores que no puedan acceder al programa FLOW3D, van a poder definir la movilidad del flujo, o sea considerar su H/L que es más parecido al real, al observado en campo. En este sentido, los valores de H/L que presenta Saucedo en sus simulaciones son demasiado reelaborados y, por lo tanto, presentan una mayor diferencia con los que observó en campo.

En la tabla 6 se observan los distintos valores de H/L calculados para cada tipo de erupción, en los cuales se pudo determinar el alcance máximo de los flujos de bloques y ceniza. En general, los flujos tipo Merapi están caracterizados por un H/L entre 0.37 y 0.4, los tipo Soufriere entre 0.33 y 0.27 y los plinianos hasta 0.17.

Tabla 6. Coeficientes de fricción H/L máximos considerados para la simulación con FLOW3D en este trabajo.

Tipo de actividad	H/L medido (fuente)	H/L calibrado	Δ H/L
Merapi	0.4 (Saucedo, 2001)	0.4	0
Soufriere pequeños	0.33 (Autor)	0.3	0.03
Soufriere grandes	0.27(Saucedo, 2001)	0.24	0.03
Pliniana	0.17(Saucedo, 2001)	0.17	0

Para poder establecer los límites de las zonas de afectación por flujos piroclásticos, se utilizó el programa FLOW3d, y se aplicaron los H/L determinados directamente de los depósitos estudiados. Sin embargo, en el caso particular de la actividad tipo Soufriere, no se observa una exacta coincidencia con el resultado del modelo y el flujo modelado presenta una extensión menor con respecto al flujo real. Este comportamiento puede tener distintas explicaciones: 1) el H/L describe la línea de energía, una línea RECTA que une el cráter y el punto de máximo alcance. En la realidad el flujo baja por una barranca que puede no tener una trayectoria rectilínea, por lo que el valor real de L es mayor a la distancia calculada en línea recta. Si se subestima el L se obtiene un H/L mayor, por lo que el flujo que se simula es menos móvil con respecto al flujo real. 2) En el caso de una actividad tipo Soufriere el flujo normalmente se origina por el colapso de una columna, por lo que el flujo puede ya tener una velocidad inicial, ya que se forma desde una altura superior a la del cráter. Desafortunadamente el programa no permite introducir la altura del colapso y es bastante arbitrario poder estimar una velocidad inicial. 3) Uno de los parámetros que se puede introducir en el programa FLOW3D es la viscosidad del flujo, componente dinámica de un flujo que, si es considerada, determina una disminución en su movilidad. También este factor es difícil de estimar, aunque Saucedo (2002) propone un valor de 0.01 para los flujos de bloques y ceniza del Colima, sin realmente justificar este valor, mientras que otros autores (Sheridan *et al.*, 2004) la utilizan para flujos de pequeño volumen y para flujos de mayor magnitud no la consideran. Sin embargo, tampoco estos autores justifican el criterio para relacionar viscosidad y volumen.

En realidad, cuando se utiliza un programa de simulación como el FLOW3D se puede “jugar” con todos estos parámetros hasta obtener una simulación lo más similar a lo que se observa en el campo. De esta forma se “calibra” el programa para después determinar los límites de afectación. Sin embargo, no existe criterio alguno para la utilización de los distintos parámetros del *input* del programa. En el presente trabajo, simulando los H/L reales observados en el campo, se ha determinado que el programa puede generar flujos con alcances menores a los observados, y son más reducidos cuanto más sinuoso es el curso de la barranca en donde se emplazó el flujo. Al parecer, el motivo principal de la diferencia de simulación es una subestimación del valor de L, aunque

también habría que considerar una mayor movilidad por la altura del colapso, sobre todo para los flujos asociados a la actividad pliniana, y en menor proporción para los flujos tipo Soufriere ya que el colapso ocurre muy cerca de la boca eruptiva, mientras que es nulo para los flujos tipo Merapi. Asimismo, según el criterio expuesto por Sheridan et al. (2004), se podría considerar una viscosidad de 0.01 para los flujos de pequeño volumen y muy poco fluidizados, los tipo Merapi, y nula para los flujos mayores tipo Soufriere y Pliniano.

En el presente trabajo se decidió considerar una viscosidad de $\rho=0.01$ para los flujos de tipo Merapi, y nula para los flujos tipo Soufriere y Plinianos. Esta primera aproximación nos generó flujos muy similares a los observados en campo, con una diferencia de apenas 0.03 entre el H/L observado y utilizado por el programa, diferencia mucho menor con respecto a la reportada por Saucedo en donde utiliza valores de H/L que difieren de hasta 0.1 del valor real medido en campo, ya que este autor utiliza una viscosidad de 0.01, lo que reduce mucho la movilidad. Además, para flujos plinianos se mantuvo el H/L medido en campo ya que se obtuvo el mismo alcance, lo que no se observa en el trabajo de Saucedo, en donde para mantener una viscosidad de 0.01 tuvo que modificar el H/L de 0.17 a 0.12.

Por los motivos expuestos se decidió utilizar los siguientes valores para determinar los límites de las zonas de peligro: 0.4, 0.3, 0.24 y 0.17. En la tabla 6 se reportan los valores observados en campo (medidos) y los utilizados para las simulaciones (calibrados).

3.3.3.4 Simulación de flujos piroclásticos mediante FLOW 3D.

Estilo eruptivo Merapi (H/L 0.4)

La figuras 20a y 20b muestran las trayectorias y alcances de esta simulación. Los flujos simulados hacia el sector N alcanzan una distancia máxima de 1.9 km, mientras que los que descienden hacia al NW y W alcanzan los 2.7 km, casi tocando la pared W de la Caldera del Paleofuego, la cual en ningún caso es rebasada por las trayectorias. Hacia el SW la simulación alcanza distancias de 3 km. Esta distancia es 1.5 km menor que la de

los FBC tipo Merapi que reporta Saucedo et al. (2002) para el episodio efusivo de 1998. El modelo mostró áreas libres de flujos en las direcciones WSW, y SSW, lo cual resulta extraño ya que algunos derrumbes y flujos piroclásticos pequeños descendieron por ahí durante los períodos efusivos de los años 2002 y 2003. Esto quizá se deba a que el modelo digital de elevación está hecho con base en la topografía de INEGI de 1995, y dichos "vacíos" pueden representar en sus partes altas prominencias topográficas (depósitos de flujos de lava) que dejaron de serlo después del emplazamiento de los flujos de lava recientes. Por el sur, los flujos simulados llegaron hasta la base de las estructuras dómicas Los Hijos, a unos 2.6 km.



Figura 20a. Simulación con FLOW3D de flujos de bloques y cenizas con H/L 0.4



Figura 20b. Simulación con FLOW3D de flujos de bloques y cenizas con H/L 0.4

En el sector SE se registraron los mayores alcances (4.5 km), en dirección a las cabeceras de las barrancas El Muerto y La Tuna, Santa Ana, El Cafecito y La Arena. Al parecer la densidad de flujos es menor en la barranca Beltrán, donde apenas llegan a alcanzar la misma distancia.

Ningún asentamiento humano regular está situado a menos de 3 km de los puntos distales mencionados.

Estilo eruptivo Soufriere de escala pequeña, alcances máximos (H/L 0.3)

Las simulaciones correspondientes a este escenario que fueron dirigidas hacia el norte se detuvieron al ser contenidas por la pared de la caldera del Paleofuego, misma que alcanza en esta zona de 200 a 250 m de altura (figuras 21a y 21b)



Figura 21a. Simulación con FLOW3D de flujos de bloques y cenizas con H/L 0.3.

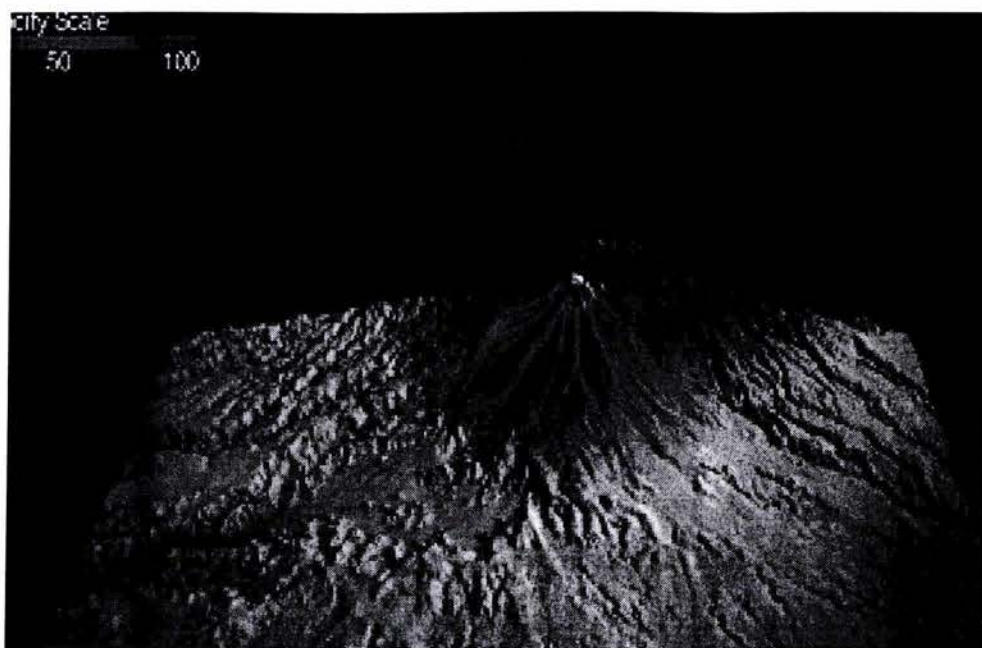


Figura 21b. Simulación con FLOW3D de flujos de bloques y cenizas con H/L 0.3

Los flujos dirigidos hacia el W remontan, sin rebasar, la pared de la mima caldera (que ahí tiene alturas de aproximadamente 100 m).

Al SW los flujos simulados descienden por el sistema de barrancas La Lumbre hasta detenerse a una distancia de 6 km, en el punto donde llegaron los FBC o la oleada piroclástica asociada generados por la explosión del 17 de julio de 1999. Por el sistema de barrancas El Cordobán las distancias son muy similares a las de La Lumbre, alcanzando unos 5.5 km, a 700 m de La Yerbabuena. Es importante destacar que una parte de los flujos logran remontar la parte baja del parteaguas Cordobán/Santa Cruz, alcanzando 6.3 km. Por la barranca San Antonio llegan a 5.3 km.

Al chocar con Los Hijos del Volcán, en el sector sur, los flujos se desvían a ambos lados de los domos, pero una parte logra saltarlos, deteniéndose un par de kilómetros más abajo, mientras que los que descienden por la barranca Montegrande, se detienen a casi 5 km de distancia. Los que son desviados al SE se encauzan por la barranca El Muerto, terminando su recorrido a 6.4 km.

En el sector SE, por las barrancas Santa Ana, La Tuna y El Cafecito los alcances son de 6.5 km, a 1 km de Causentla. Por las barranca Beltrán y La Arena, los alcances son menores, entre 4.5 y 5 km, a unos 4 km de Juan Barragán y 3.7 km del rancho El Agostadero.

Estilo eruptivo Soufriere de escala grande (H/L 0.24)

Los flujos simulados hacia el norte fueron contenidos por la pared de la caldera del Paleofuego, a excepción de un flujo que remontó la parte más baja (sección NE de la caldera), donde cambió de dirección hacia el E, a lo largo de 1 km y luego descendió hacia el SE sobre la topografía del antiguo volcán Paleofuego y sobre partes del Nevado de Colima (figuras 22a y 22b)



Figura 22a. Simulación con FLOW3D de flujos de bloques y cenizas con H/L 0.24

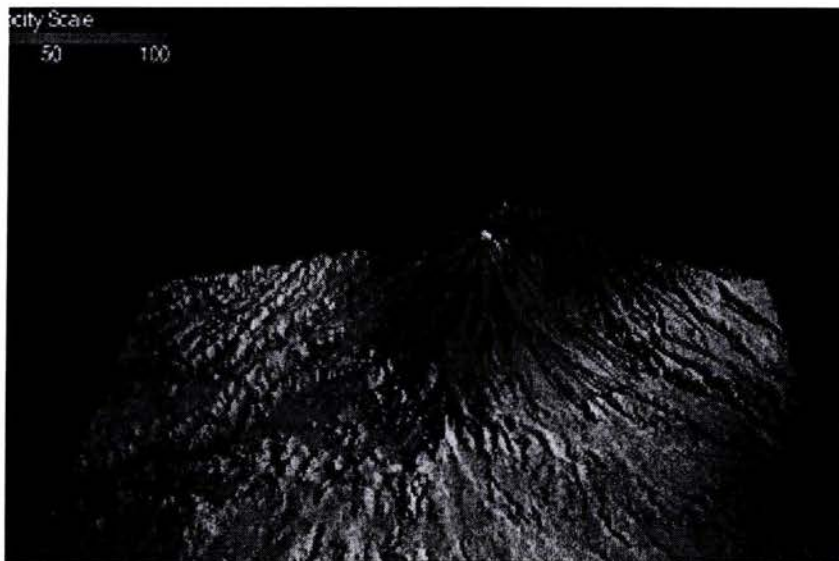


Figura 22b. Simulación con FLOW3D de flujos de bloques y cenizas con H/L 0.24

Hacia el sector occidental, los trayectorias de la simulación saltaron la pared del Paleofuego, se encauzaron sobre las cabeceras de las barrancas La Bueyada y Los Plátanos, y se detuvieron a 7 y a 8 km del cráter, respectivamente.

Algunos flujos, después de saltar la pared de la caldera, cambiaron ligeramente de dirección hacia el SW, avanzaron a lo largo de la barranca La Lumbre, y se juntaron con otras trayectorias que descendieron de manera directa por la misma barranca, hasta detenerse en el rancho Virgen-Schulte (rancho "P. Virgen" en los trabajos de Saucedo), a 9 km de distancia. Las partes altas comprendidas entre La Mesa de La Yerbabuena (planicie situada a 1 km al NE de la comunidad) y el punto situado a su misma longitud geográfica sobre la barranca La Lumbre fueron recorridos por numerosas trayectorias. Por el sistema de barrancas El Cordobán las trayectorias alcanzaron a cubrir las construcciones de granjas localizadas las orillas de la comunidad La Yerbabuena, así como la periferia de la misma, a 8 km del cráter. Tanto el número de trayectorias como el alcance de las mismas que remontaron el parteaguas entre las barrancas El Cordobán y Santa Cruz fué mayor, con alcances de 8.5 km.

Por el flanco sur, las trayectorias de los flujos cubrieron grandes superficies, fluyeron tanto por el fondo de las barrancas Montegrande y las cercanas a ella, como por las planicies adyacentes (en cuyo caso algunas tuvieron la energía suficiente para llegar a la cuenca del Cordobán-Santa Cruz-San Antonio), hasta distancias de 6.8 km.

Por la barranca El Muerto, ya en el sector SE del volcán, los flujos simulados (que desbordan el cauce) llegaron al rancho "Nuevo", localizado a menos de 1 km al NW de Causentla, y se detuvieron en la línea de conducción eléctrica de la C.F.E. Por la barranca La Tuna los alcances de las trayectorias fueron de 8.4 km, se desbordaron del cauce y cubrieron viviendas localizadas a los lados del camino que une a Causentla con el rancho "Nuevo" y con El Fresnal, cruzaron la línea de conducción eléctrica mencionada. Por las barrancas El Cafecito y La Arena también las trayectorias simularon claros desbordamientos laterales de material piroclástico y se detuvieron a aproximadamente 1 km del rancho El Agostadero, a distancias de 8.5 km (líneas de conducción eléctrica). Por la barranca Beltrán las trayectorias, al igual que en las barrancas previas, superaron barreras topográficas y se detuvieron a 9 km de distancia, a menos de 0.5 km de las viviendas más cercanas de la comunidad Juan Barragán y pasaron sobre el rancho El Duranzno, a menos de 0.5 km del rancho El Agostadero. Se puede decir que desde la barranca Santa Ana hasta la Beltrán el área de cobertura es total, ya que el modelo indica que toda el área fué barrida de manera uniforme por los FBC.

Estilo eruptivo pliniano (H/L 0.17)

Las trayectorias dirigidas hacia el NE pasaron sobre los depósitos de flujos de lava de la erupción de El Volcancito (y saltaron el borde de la caldera del Paleofuego). Siguieron las partes más altas del ramal superior sur de la barranca Atenquique, y se detuvieron a 6.4 km del cráter y a 4 km de la estación repetidora de Cerro Alto. La mayoría de las simulaciones correspondientes a este escenario que fueron dirigidas hacia el norte saltaron la pared de la caldera del Paleofuego, y remontaron por lo menos unos 100 m de altura de las pendientes meridionales del Nevado de Colima, a 3.5 km del cráter (figuras 23a y 23b).



Figura 23a. Simulación con FLOW3D de flujos piroclásticos por colapso de columna pliniana con H/L 0.17

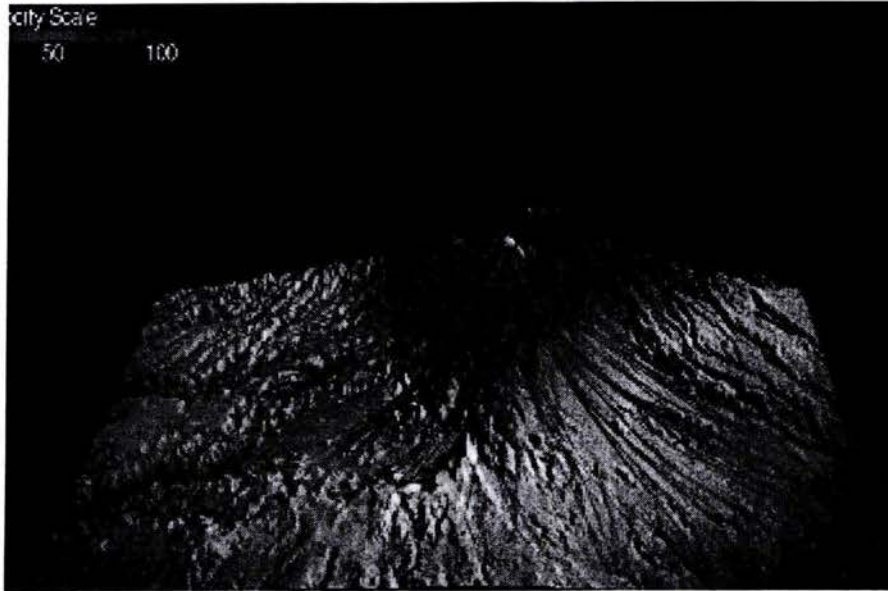


Figura 23b. Simulación con FLOW3D de flujos piroclásticos por colapso de columna pliniana con H/L 0.17

Los flujos dirigidos hacia el W y SW saltaron la pared de la caldera, atravesaron los cañaverales localizados en la periferia de las localidades de Tlajomulco y El Tecuán (las trayectorias casi tocaron esta localidad), a una distancia de 13 km y fluyeron dentro y fuera de las barrancas. Algunos flujos se salieron de unas barrancas y se encauzaron en otras, como los de la barranca La Lumbre, que se emplazaron en las barrancas La Bueyada y El Huacal, saltando barreras topográficas de 200 m a 11 km del cráter. Las trayectorias cubrieron el rancho El Borbollón, La Yerbabuena, La Becerrera, todas las construcciones del Rancho El Jabalí, el Hotel San Antonio (al cual sobrepasaron en casi un km), así como todas las construcciones localizadas entre dichos lugares, por lo que alcanzaron 13.7 km de distancia y remontaron barreras topográficas de 100 a 200 m de altura, como los restos de hummocks que constituyen el límite S de la cuenca de los arroyos Cordobán-Santa Cruz-San Antonio, incluyendo la zona del restaurant El Jacal de San Antonio, al cual alcanzaron. Al SSW las trayectorias pasaron sobre el rancho La Joya y varias lograron saltar desniveles de 200 m hasta llegar a El Naranjal, a 12.2 km del cráter.

Los flujos que descendieron por el sur los hacen de manera directa, por lo que los domos lávicos Los Hijos del Volcán fueron fácilmente saltados. Sin embargo, una elevación topográfica que se ubica a 8 km al SSW del cráter y que constituye el límite

oriental de la cuenca de los arroyos Cordobán-Santa Cruz-San Antonio, logra desviar las trayectorias, por lo que un área de 3.5 km de longitud localizada al sur de este promontorio quedó libre de flujos simulados.

Las trayectorias que descendieron dentro y fuera de la barranca Montegrande se salieron de los cauces principales desde la cota 2,200 m, continuaron en línea recta hacia el sur, y terminaron su recorrido a distancias de 12 km, a 600 m de Montitlán, cubriendo algunas construcciones pequeñas localizadas a 2-3 km al norte de esta localidad. La modelación muestra que la topografía prominente que se localiza al SSE del cráter, que se ubica desde la cota 2,300 a los 1,600 m, hace que esas zonas y las ubicadas en niveles inferiores no sean tocadas por ninguna trayectoria. Algunos flujos simulados se detuvieron a 12.3 km del cráter (a 1.5 km de Quesería, en la misma dirección). Las trayectorias que descendieron por o paralelamente a la barranca El Muerto se detuvieron a 1 km de Tonila, en la zona del rancho El Embudo, cubriendo el rancho "Nuevo" que está cerca de Causentla y algunas construcciones pequeñas localizadas al SE del mismo.

La simulación indica otra zona libre de flujos en el flanco SE que se inicia en la parte somital del volcán, que incluye la mayor parte de Causentla, con una anchura máxima de 700 m, extendiéndose hasta una distancia de 11 km (zona marcada en la cartografía de INEGI como Atenguillo).

En el sector SE, por las barrancas Santa Ana, La Tuna y El Cafecito los alcances fueron de 14 km, cubrieron casi la totalidad de Tonila y pasaron muy cerca del sector SW de San Marcos, incluyendo prácticamente toda el área comprendida entre Tonila, el cráter y San Marcos (gran parte de Causentla, todo El Fresnal y Cofradía). Por las barrancas Beltrán y La Arena, los alcances fueron un poco más reducidos, entre 12.5 y 13 km, pero alcanzaron a cubrir a Juan Barragán, el rancho El Agostadero y pasaron a menos de 500 de Los Machos y 3.7 km del rancho El Agostadero. Una trayectoria se detuvo a 1 km de El Saucillo.

3.3.3.5. Simulación de flujos piroclásticos diluídos mediante el cono de energía con FLOW3D.

En sus trabajos sobre los flujos piroclásticos del VdC, Saucedo (2001) y Saucedo *et al.* (2004) reportan que éstos se componen de una avalancha densa basal que desciende en contacto con el terreno, así como de una nube turbulenta de ceniza superior o flujo piroclástico diluído que viaja sobre la avalancha basal. Según los mismos autores, el flujo piroclástico diluído tiene la capacidad de remontar algunas barreras topográficas y de continuar su camino por varios kilómetros, aún cuando la avalancha basal se haya detenido. Debido a que es sumamente difícil encontrar en campo los depósitos de flujos piroclásticos diluídos (ya que son altamente erosionables), es difícil estimar el alcance de estos eventos. Sin embargo es de fundamental importancia poder determinar sus alcances, ya que estos flujos han cobrado víctimas, inclusive vulcanólogos, como fue el caso de los Krafft, que murieron en 1991 en el volcán Unzen, probablemente porque fueron alcanzados por una nube diluida.

Para simular el alcance de los flujos piroclásticos diluídos generados por la erupción de 1980 del volcán St. Helens, McEwen y Malin (1988) aplicaron el modelo de *conos de energía* de Sheridan y Malin (1989) mediante el programa FLOW3D. Este modelo empírico se compone de una línea de energía girada 360 grados sobre un cono. En el modelo, el límite del flujo piroclástico diluído está definido por la intersección del cono con la superficie del terreno de un Modelo Digital de Elevación.

Se simuló mediante el cono de energía de FLOW3D los flujos piroclásticos diluídos del VdC para cada uno de los tipos de bloques y ceniza, ya que en estos la diferencia de movilidad entre su parte basal densa y la nube superior turbulenta ha sido identificada (Saucedo *et al.*, 2004). Esto le da sentido a esta simulación, la cual ayuda a conocer el alcance máximo de la nube. Por el contrario, los flujos piroclásticos por colapso de columna pliniana del VdC se forman de ceniza y pómez en su parte más densa (Saucedo, 1997), siendo más móviles y uniformes en su constitución, por lo que consideramos que su simulación ya efectuada a su valor H/L puede ser muy parecida a la realidad.

Se observa en todos los estilos eruptivos simulados con el cono de energía FLOW3D la alta movilidad de los flujos piroclásticos diluídos, mismos que tienen una cobertura lateral muy amplia, desbordando con facilidad los valles, por lo que entre las barrancas no dejan espacios laterales libres del alcance de este tipo de flujos. Además, la distancia máxima que alcanzan los flujos piroclásticos diluídos con respecto a los flujos piroclásticos densos (los simulados previamente) llega a ser de varios kilómetros. En todos los casos, la elevada topografía del Nevado de Colima (al N del VdC) interrumpe el avance de las simulaciones, por lo que en esta dirección los alcances son los más cortos.

Estilo eruptivo Merapi (H/L 0.4)

La línea de energía correspondiente a este coeficiente de fricción alcanza las distancias mayores hacia el SW, a una distancia máxima de 6.8 km, y una mínima de 2.1 km al N, donde los flujos son detenidos por la topografía del Nevado de Colima (esto último se repite con los siguientes valores simulados). Esta área no incluye asentamientos humanos (figura 24).

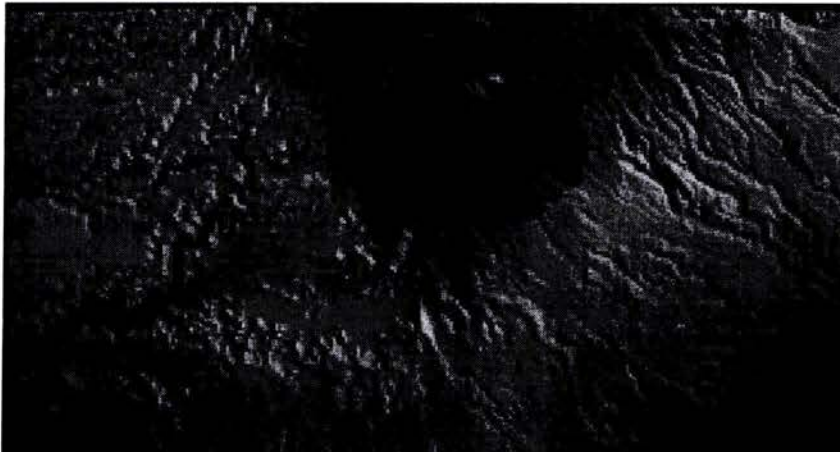


Figura 24. Simulación del cono de energía con H/L 0.4

Estilo eruptivo Soufriere de escala pequeña, alcances máximos (H/L 0.3)

Generalmente, la simulación de este estilo excede en unos 3 km los alcances máximos de los flujos simulados previamente con este mismo coeficiente de fricción, con distancias máximas de la fuente del orden de 8 km (figura 25). Esta excedencia es muy comparable con la que reporta Saucedo (2002), el cual aumenta en aproximadamente 2 km el límite de alcance. Esta área incluye unas pocas viviendas de La Yerbabuena, así como Causentla y el rancho "Nuevo" que se localiza cerca de esta última comunidad.

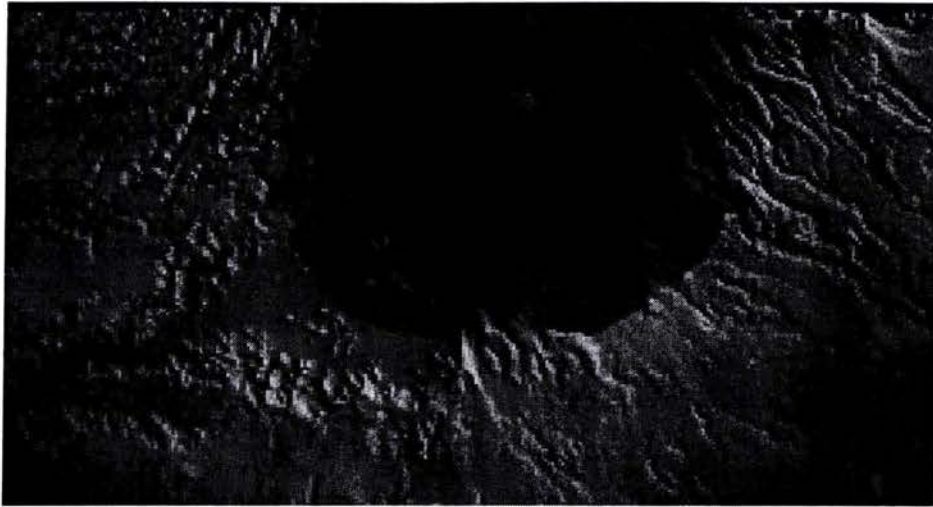


Figura 25. Simulación del cono de energía con H/L 0.3

Estilo eruptivo Soufriere de escala grande, alcances máximos (H/L 0.24)

En este caso, el cono de energía indica que los alcances pueden llegar a los 11.2 km (al W y SW), excediendo hasta en un 33% la distancia máxima previamente simulada para los flujos piroclásticos con este coeficiente de fricción. El área cubierta por el cono incluye, además de las áreas con H/L mayor, al Rancho el Borbollón, rancho Virgen-Schulte, Tlajomulco, una gran parte del rancho El Jabalí, la zona turística y habitacional La María, al rancho La Joya, El Fresnal, los ranchos El Duranzo, El Agostadero y Juan Barragán (Figura 26).



Figura 26. Simulación del cono de energía con H/L 0.24

3.3.3.6 Mapa de peligros por flujos piroclásticos

La figura 27 muestra el mapa de peligro por flujos piroclásticos. Se evidenciaron 4 áreas, cada una determinada por los valores de H/L antes definidos. Las áreas sombreadas con colores rojo, amarillo, verde y azul, reflejan el grado de peligrosidad (alto, medio-alto, medio, y bajo, respectivamente), representando zonas de posible afectación por flujos piroclásticos de bloques y ceniza (H/L de 0.4 a 0.24) o por flujos piroclásticos por colapso de columna eruptiva pliniana (H/L de 0.17). Las líneas punteadas representan los alcances máximos de flujos piroclásticos diluidos correspondientes a cada valor H/L (en el mismo color). El criterio de peligrosidad está definido solamente con base en la frecuencia de ocurrencia.

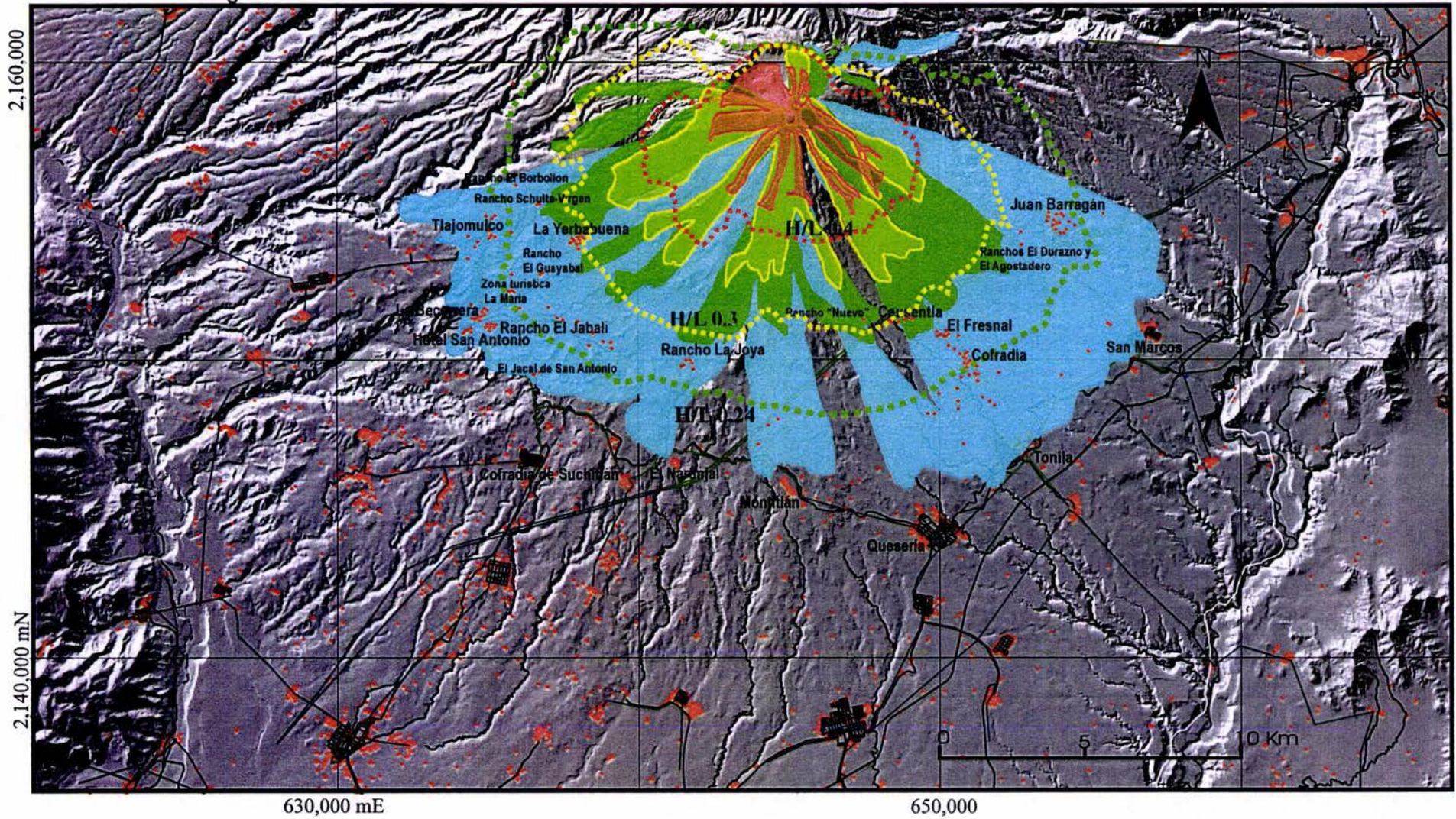
3.3.3.7 Probabilidad

Con base en la tabla 4 se puede observar que desde que se tiene el registro histórico de la actividad del volcán de Colima, éste ha presentado al menos 38 crisis volcánicas desde el año 1519, caracterizadas por distintos estilos eruptivos, prevalentemente tipo Soufriere, Merapi y solamente 5 de tipo pliniano. La duración de estas etapas eruptivas fue diferente: desde un mínimo de un año hasta de 10 o más años.

Como ya se ha explicado, esta irregularidad en la recurrencia se apega a la ley de distribución poissoniana, por lo que es posible calcular la probabilidad de recurrencia. Con los datos sobre mencionados, considerando un intervalo de 10 años ($\lambda:38/48=0.79$) se obtiene una probabilidad del 35% de que durante una década pueda iniciar una nueva fase eruptiva. De la Cruz (1993) utiliza la misma metodología, aunque divide las distintas erupciones según el índice volcánico de explosividad (VEI por sus siglas en inglés) propuesto por Newhall y Self (1982). En el presente trabajo, en el que se clasificaron las erupciones por estilos eruptivos, es más difícil poder hacer un cálculo de probabilidades.

Efectivamente, como se puede apreciar en la situación actual del Volcán de Colima, de 1999 al 2003 ha presentado hasta 20 eventos tipo Merapi y más de 15 tipo Soufriere, lo que hace imposible estimar la probabilidad de ocurrencia de estos dos estilos eruptivos durante una crisis volcánica. Sin embargo, si consideramos el registro histórico

Figura 27. MAPA DE PELIGRO POR FLUJOS PIROCLÁSTICOS DEL VOLCÁN DE COLIMA



LEYENDA

Peligro por flujos piroclásticos

- ALTO H/L 0.4
- MEDIO-ALTO H/L 0.3
- MEDIO H/L 0.24
- BAJO H/L 0.17

⋯ Alcance máximo de nubes de ceniza (flujos piroclásticos diluidos) producidos por flujos piroclásticos con H/L especificados

- Zona urbana
- Asentamientos humanos no urbanos
- Arroyos y ríos principales
- Líneas de conducción eléctrica
- Carreteras y caminos asfaltados y no asfaltados
- Vías de ferrocarril

desde el año 1959, se cuentan 28 eventos tipo Merapi y 17 tipo Soufriere, con lo que se puede estimar una probabilidad de ocurrencia para un periodo de 1 año, obteniendo porcentajes de recurrencias del 33% y 25%, respectivamente. Por otro lado, la actividad pliniana ha presentado un comportamiento más regular, con una recurrencia de 100 años, periodo de retorno ya aceptado por otros autores como el más probable.

3.3.4 Caída de ceniza.

3.3.4.1 Introducción.

El Volcán de Colima ha presentado numerosos episodios con lluvia de ceniza y pómez. La más significativa y reciente ocurrió en la fase pliniana de 1913, cuando sobre Ciudad Guzmán (a 26 km al noreste de la fuente) se depositó una capa de 15 cm de espesor, ocasionando el oscurecimiento del cielo y el colapso de numerosos techos de viviendas (Saucedo, 1997; Saucedo y Macías, 1999). Más recientes han sido los episodios eruptivos que han causado lluvia de cenizas así como proyecciones balísticas mucho más ligeras, durante las crisis de 1998-1999 y 2001 (figuras 28 y 29), cuando proyectiles de más de 25 cm de diámetro fueron lanzados a distancias comprendidas entre los 2 y los 3.5 km de distancia (Gavilanes y Cortés, 1999; Zobin *et al.*, 2002).



Figura 28. Exhalación moderada de ceniza y gases vista desde el collado de El Volcancito, a 750 m del cráter, durante la instalación de un equipo de inclinometría, el 29 de abril de 1999. Segundos después el personal recibió un ligero baño de arena volcánica.



Figura 29. Columna eruptiva que alcanzó los 7,500 msnm, generada por una explosión ocurrida el 10 de mayo de 1999 en el Volcán de Colima, vista y escuchada desde la ciudad de Colima, a 32 km al sur. Además de producir flujos piroclásticos tipo Soufriere pequeños, la nube depositó una capa de ceniza muy delgada en los alrededores.

Los registros históricos indican que la actividad explosiva del VdC es frecuente. Es fácil inferir que esta actividad siempre produce emisiones de ceniza de diversas magnitudes y, por lo tanto, alcances. La tabla 4 indica por lo menos un registro de 17 erupciones y periodos eruptivos en los que se reportó caída o lluvia de ceniza a distancias mayores a 20 km. Desgraciadamente, existen muy pocos estudios de la distribución de estos productos.

Se sabe que, en promedio, una capa de ceniza seca de 10 cm de espesor ejerce una carga de 30-70 kg/m². Este valor llega a duplicarse si la ceniza está mojada (en caso de lluvias, por ejemplo). Debido a esto, la caída de ceniza en grandes cantidades puede acumularse en los techos de las casas y otras construcciones y por su peso hacerlos caer. Aún en cantidades menores puede dañar cultivos, los sistemas electrónicos y de comunicación o afectar la alimentación del ganado, así como dañar los motores de los aviones (en especial los de tipo turbina) hasta interrumpir su funcionamiento.

3.3.4.2 Elementos considerados para la representación de las zonas posibles de caída de ceniza

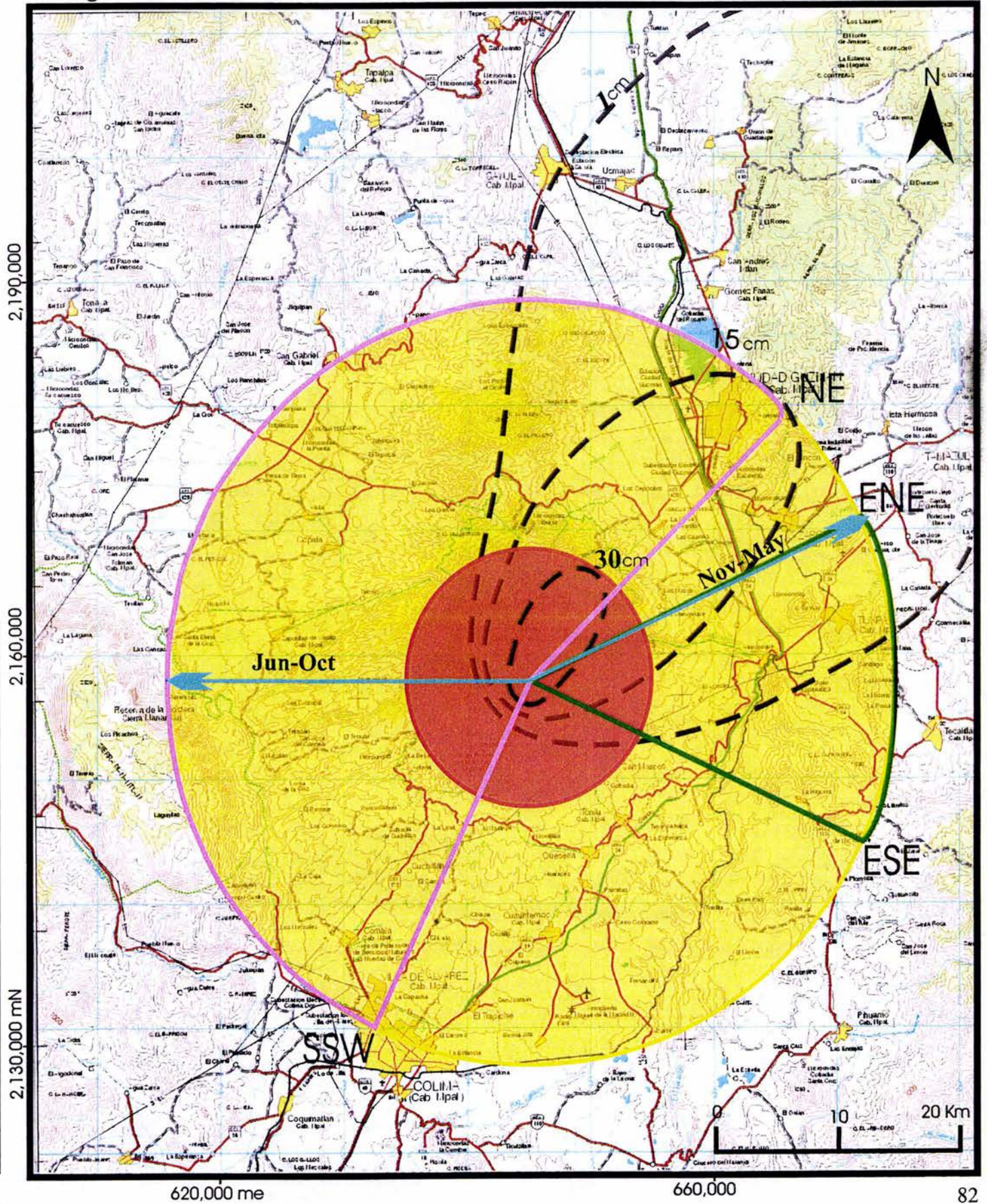
Para la representación de las posibles áreas de afectación por caída de ceniza producidas por erupciones del VdC, se recurrió al mapa de isopacas (espesores de material de caída) de la erupción de 1913 de Saucedo (1997). Hemos incluido las principales isopacas proximales de ese mapa en la figura 30 como antecedente. Dado que esa erupción fué clasificada como pliniana con un índice volcánico de explosividad 4, consideramos que hasta el momento ése es el estudio que mejor puede representar los espesores posibles de una erupción de dimensiones mayores en este volcán. Según ese mapa de isopacas, la erupción de 1913 del Volcán Colima causó una lluvia de ceniza de 15 cm de espesor sobre Ciudad Guzmán (el eje de dispersión de la columna eruptiva fué hacia el NE del volcán), a 26-29 km de distancia del cráter, al igual que en Zapotiltic y El Rincón, Jal; en Los Mazos, Jal, a 13 km del Volcán, cayeron alrededor de 25 cm de ceniza. A distancias comprendidas entre 6.5 y 12.5 km del cráter, en la dirección en la que se dirigía el viento, cayeron entre 45 y 30 cm de ceniza.

Otras erupciones han producido caída de ceniza menos intensa (espesores menores a 0.01 m) en ciudades ubicadas en un radio de 250 km o más. Se sabe de eventos que han producido lluvia de ceniza hasta la Ciudad de México, como en el caso de la ocurrida en 1818 (y vertida en el mapa de peligros del Volcán de Colima de Martin Del Pozzo *et al.*, 1995).

3.3.4.3. Direcciones de viento en los niveles superiores de la tropósfera, en la tropopausa y en la estratósfera

El Mapa de Peligros del Volcán de Fuego de Colima de Navarro y Cortés (2003) muestra las áreas bajo mayor probabilidad de ser afectadas por productos de caída (en color gris) mediante dos parábolas opuestas (línea punteada) y mostrando los ejes principales de dispersión de las mismas (una al W y la otra al ENE), indicando que se han encontrado depósitos de estos materiales hasta de 10 m de espesor dentro de un radio de 7 km del cráter (ver anexo). Estas zonas indican el espesor de la caída esperada de ceniza y pómez, así como el tamaño esperado de los fragmentos, siendo estos valores máximos de

Figura 30. MAPA DE PELIGRO POR CAÍDA DE CENIZA DEL VOLCÁN DE COLIMA



LEYENDA



Área dentro del radio de 10 Km, con posible lluvia de ceniza de 30 cm o más de espesor.



Área dentro del radio de 10 a 30 Km con posible lluvia de ceniza de 30 a 15 cm de espesor

SIMBOLOGÍA



Áreas cubiertas por ceniza durante la erupción de 1913 (se especifica el espesor depositado). Según Saucedo (1997).



Dirección predominante del viento durante los meses especificados. Según Navarro y Cortés (2003), para altitudes de 5,500 a 30,000 msnm.



Área más probable de recibir lluvia de ceniza transportada por vientos a alturas próximas a la cima del volcán, en los meses de febrero, marzo, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Según datos de Galindo et al. (1998).



Área más probable de recibir lluvia de ceniza transportada por vientos a alturas próximas a la cima del volcán, en los meses de enero, marzo, abril y mayo. Según datos de Galindo et al. (1998).

Elaboración propia sobre la base de INEGI (1995), escala 1:250,000

10 cm o más hacia el NE y de 2 cm de diámetro, respectivamente, así como la dirección y velocidad del viento preferente en diferentes estaciones del año. El mapa especifica que fuera de las zonas señaladas, se espera que las caídas sea más reducidas. Los autores destacan que para esto se consultó la información meteorológica de 10 años de radio-sondeo VAISALA (de 1,000 a 30,000 m de altura), proporcionada por el observatorio meteorológico de la CNA en Manzanillo. Es importante mencionar que en este mapa los autores se refieren solamente a direcciones preferentes del viento, lo cual no significa que excluyan que otras direcciones puedan darse. Posiblemente no incluyeron otras direcciones para evitar al máximo la complejidad en ese mapa y, por tanto, incrementar su comprensión por el público.

Decidimos que los ejes principales determinados por estos autores pueden ser los más representativos para la parte de la tropósfera que está en contacto con la tropopausa (5,500 a aproximadamente 6,000 m.s.n.m.), la tropopausa (6,000 a 8,000 m.s.n.m.), y la estratósfera (8,000 a 30,000 m.s.n.m.), por lo cual esta información será muy importante para el caso de erupciones con formación de columnas eruptivas que alcancen las altitudes mencionadas, en particular para las de escala mayor, como las plinianas y subplinianas. Uno de estos ejes está dirigido hacia el W para el periodo comprendido entre junio y octubre, hasta una altitud de 29,000 m, a una velocidad de 13 m/s. El otro está dirigido hacia el ENE de noviembre a mayo, con una velocidad de 15 a 30 m/s.

3.3.4.4. Direcciones de viento en los niveles cercanos a la cima del volcán

Galindo *et al.* (1998), publicaron un estudio climatológico del VdC que incluye un detallado análisis de los datos de dirección del viento registrados continuamente cada 5 minutos, de 1994 a 1997 para algunos meses y de 1995 a 1997 para otros, en la cima del cono adventicio El Volcancito (3,550 m.s.n.m.), localizado al ENE y a 850 m del cráter, por una estación climatológica automatizada y telemetrizada. Se consideró que estos análisis son muy representativos de los niveles cercanos a la cima del volcán, por lo que fueron utilizados para representar las direcciones más probables en que los vientos pueden transportar ceniza a alturas de aproximadamente 3,500 a 5,000 m.s.n.m.

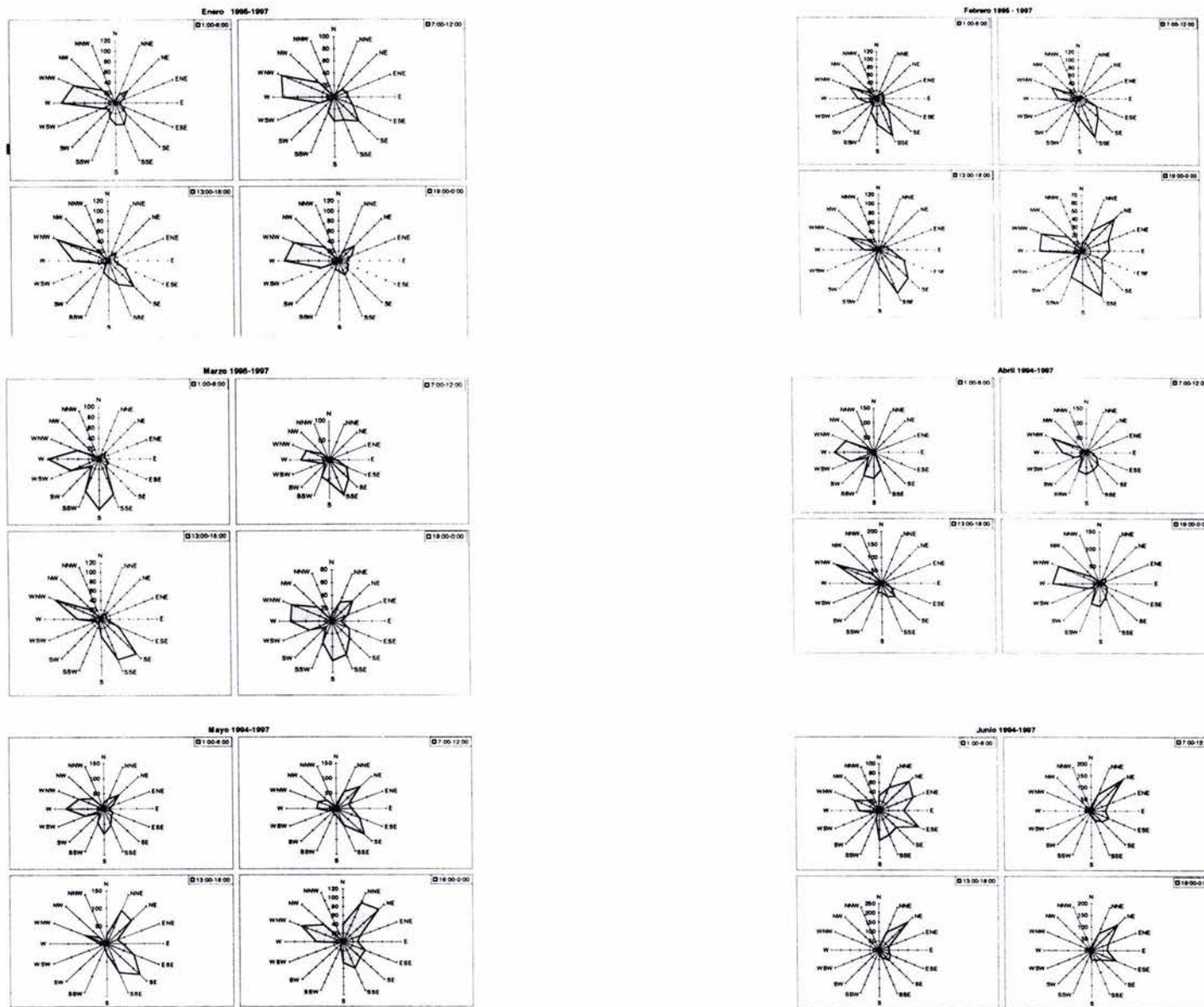


Figura 31a. Vientos predominantes registrados de 1994 a 1997 en la cima de El Volcancito, a 3,550 msnm de enero a junio. Tomado d Galindo *et al.* (1998).

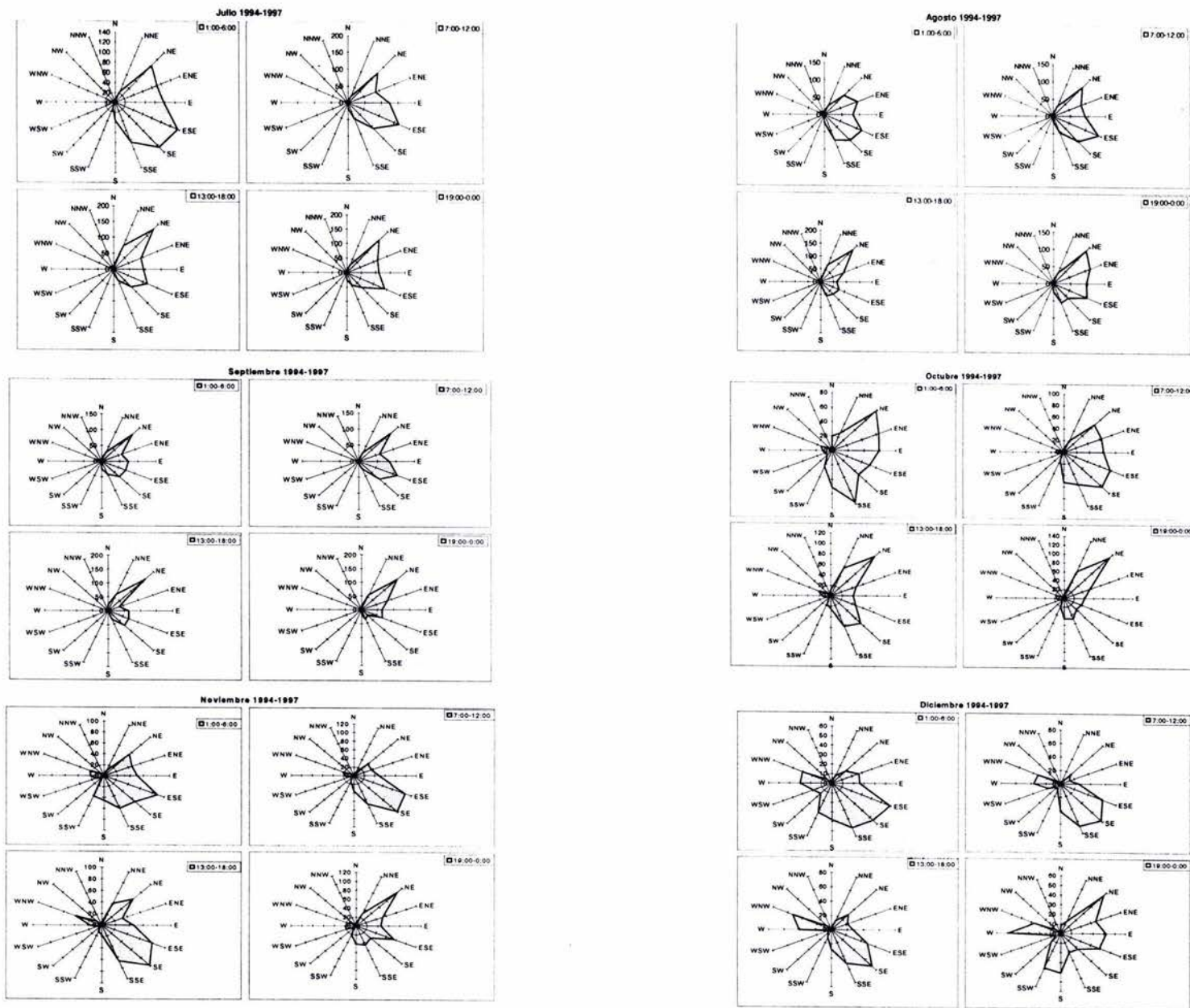


Figura 31b. Vientos predominantes registrados de 1994 a 1997 en la cima de El Volcancito, a 3,550 msnm de julio a diciembre. Tomado de Galindo *et al.* (1998).

La figura 31 muestra las direcciones de viento en intervalos de 6 horas. Las gráficas indican la dirección de la cual proviene el viento, es decir, su componente. Es importante mencionar que la mayoría de las gráficas muestran que la dirección de los vientos puede ser muy variable en un solo día, y que existen hasta 3 o más componentes principales en un solo mes.

Para hacer más fácil la comprensión de los datos, las direcciones del viento de las gráficas previas fueron clasificadas por rangos, invirtiendo la dirección de las componentes para mostrar la dirección a la que se dirige el viento. Esto se muestra en la tabla 7. Se muestran los rangos preferenciales secundarios en los meses en que estos fueron más claramente identificables, es decir, para los meses de enero, febrero, abril, junio, octubre, noviembre y diciembre. El rango preferencial secundario del mes de noviembre coincide con la caída de ceniza causada por una explosión ocurrida el 6 de noviembre de 2003 en La Yerbabuena, localizada al SW del cráter. En algunos casos, las direcciones de tercer o cuarto orden reportadas por Galindo et al. (1998) (y que no incluimos en el cuadro para evitar la complejidad) han sido comprobadas en el campo (caída de ceniza registrada el 14 de noviembre de 2003 en Quesería, Col., localizada al SSE del volcán).

Tabla 7. Rangos preferenciales de dirección del viento por mes para alturas comprendidas entre 3,500 y 5,500 m.s.n.m.. Las direcciones incluidas en cada rango constituyen "el abanico" que agrupa las direcciones a las que el viento se dirige. Basado en Galindo *et al.* (1998). (*)Los 2 y 3 rangos de marzo y mayo, respectivamente, tienen una frecuencia equivalente (ninguno predomina).

MES	Rango preferencial primario (más frecuente)	Rango preferencial secundario		¿Queda el rango primario dentro del rango NE-SSW?	¿Queda el rango primario dentro del rango ENE-ESE?
Enero	ESE-E	WNW-NNE			Sí
Febrero	NW-NNW	E-ESE		Sí	
*Marzo	NW-NNE	ENE-ESE		Sí	Sí
Abril	ESE-ENE	NNE-NW			Sí
*Mayo	WNW-NNW	SSW-SW	ENE-ESE	Sí	Sí
Junio	SSW-WSW	E-ESE		Sí	
Julio	SSW-NNW			Sí	
Agosto	SSW-NNW			Sí	
Septiembre	SSW-NNW			Sí	
Octubre	SSW-N	ESE-E		Sí	
Noviembre	SSW-N	ESE-NE		Sí	
Diciembre	SW-NNE	ESE-E		Sí	

Por su parte, Nick Varley (com. pers.), con el propósito de conocer mejor las direcciones y condiciones de la visibilidad de la pluma volcánica del VdC para mejorar la eficiencia de sus mediciones de bióxido de azufre de la misma, desde 2002 efectúa observaciones visuales diarias de la dirección del viento (hacia dónde se dirige la pluma). Estas direcciones se resumen en la tabla 8, misma que muestra que en los niveles próximos a la cima del volcán, del 18 al 27% de las direcciones de los vientos están fuera de las áreas mostradas en el mapa de peligros del Volcán de Colima (Navarro y Cortés, 2003). A su vez, esto corrobora que las direcciones mostradas en el mapa de Navarro y Cortés son las predominantes.

Tabla 8. Registro de observaciones de las direcciones de la pluma volcánica del VdC efectuadas de 2002 a principios de 2004, según Nick Varley.

PERIODO	RANGO W-SW (hacia donde se dirige) % de ocasiones (1/día)	RANGO E-NE-SE (hacia donde se dirige) % de ocasiones (1/día)
Septiembre a octubre de 2002	73 (coincide con el mapa de Navarro y Cortés, 2003)	27
Noviembre a mayo de 2003	21	79 (coincide con el mapa de Navarro y Cortés, 2003)
Junio a octubre de 2003	82 (coincide con el mapa de Navarro y Cortés, 2003)	18
Noviembre 2003 a marzo de 2004	26	74 (coincide con el mapa de Navarro y Cortés, 2003)

Esto significa que, al menos en los niveles de la cima del volcán, los vientos, aunque presentan algunos rangos de dirección preferencial, pueden dirigirse en casi cualquier dirección y transportar ceniza.

Se marcó con dos círculos completos las zonas de posible afectación por caída de estos materiales con espesores de 0.30 (color rojo) y 0.15 m (color amarillo). Solamente utilizamos los rangos de direcciones predominantes primarias para la representación gráfica de las direcciones más probables.

Las dos últimas columnas de la tabla 7 muestran los 2 grupos en los fueron clasificadas las direcciones predominantes hacia las que se dirigen los vientos en los niveles cercanos a la cima del volcán (NE-SSW y ENE-ESE). Se observa que en los meses de marzo y mayo los vientos pueden soplar hacia ambos rangos. Estos dos rangos,

correspondientes a las direcciones predominantes a las que los vientos se dirigen en altitudes cercanas a la cima del VdC, están representadas en la figura 30 en áreas delimitadas por líneas de color rosa y verde..

3.3.4.5 Áreas probables de mayor afectación por lluvia de ceniza

3.3.4.5.1 Área dentro del radio de 10 km con posible lluvia de ceniza de 0.3 m o más de espesor.

En esta área se encuentran los asentamientos humanos del rancho El Borbollón, rancho Virgen-Schulte, La Yerbabuena, rancho La Joya, la mayoría de las construcciones del rancho El Jabalí (incluyendo la aeropista), El Guayabal, Juan Barragán, El Fresnal, Causentla, el rancho "Nuevo" El Agostadero y el Rancho El Durazno.

3.3.4.5.2 Área dentro del radio de 10 a 30 km con posible lluvia de ceniza de 0.3 a 0.15 m de espesor.

Los espesores mayores de este rango se esperarían en localidades o asentamientos humanos localizados a distancias del cráter comprendidas entre los 10.5 y 15 km, tales como (al N) Los Alpes, Pto. del Floripondio, (al NW y W) Telcruz, Huizómetl, Loma de las Flores, El Tecuán, Las Galeanas, Tlajomulco, (al SW) La Cofradía, La Becerrera, el hotel San Antonio, el rancho El Refugio, el restorán el Jacal de San Antonio, y zonas de traza urbana (cada una con 1,500 a 7,000 habitantes) como Cofradía de Suchitlán, (al SE y E) Quesería, Tonila, San Marcos y (al NE) Los Mazos, parte de El Fresnito, así como Bajada Nueva, (al N) Piedra Ancha y Latillas. En esta subzona habitan más de 15,000 personas (INEGI, 1997).

Dentro del radio comprendido entre los 15 y los 30 km se encuentran las ciudades y otras zonas habitacionales como Alista, El Jazmín, Comala, Villa de Álvarez, Colima, El Trapiche, Chiapa, Cuauhtémoc, el aeropuerto nacional Miguel de la Madrid, La Higuera, Atenquique, Tuxpan, Zapotitlic y Huescalapa, además de decenas de ranchos y comunidades pequeñas.

3.3.4.6. Mapa de peligros final.

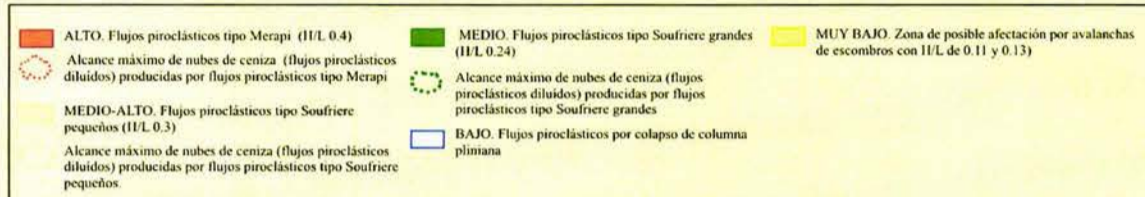
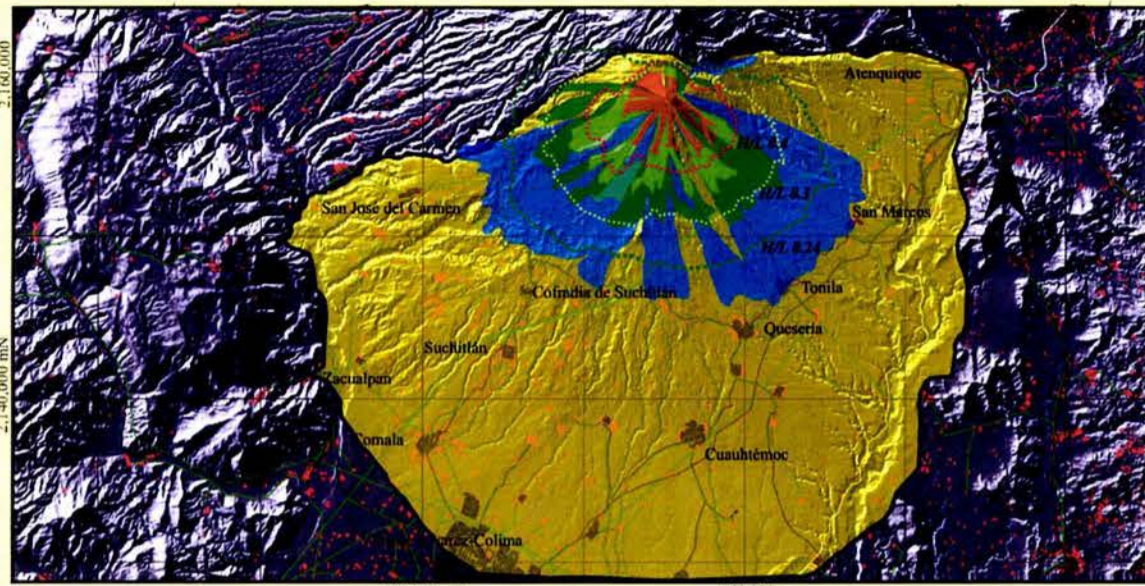
En la figura 32 se presenta el mapa final de peligros del Volcán de Colima que reúne las zonificaciones obtenidas en el presente trabajo, incluyendo las que son producto de simulaciones y las que fueron realizadas con base en los datos de otros autores. El mapa probabilístico que se muestra en la parte inferior de esa figura se explicará en el capítulo IV.

Con la finalidad de evitar la saturación de datos en una sola figura, en dicho mapa se incluyen 3 representaciones: la de peligro por avalanchas de escombros y por flujos piroclásticos, la de peligro por flujos de escombros y la de peligro por caída de ceniza.

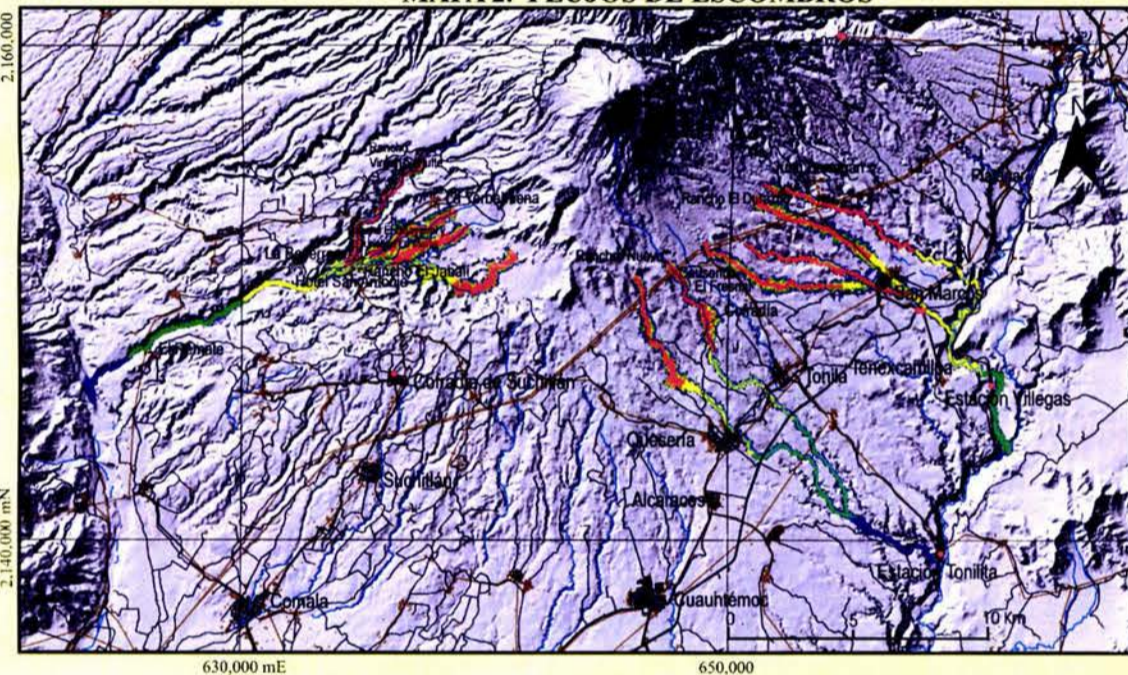
En dicho mapa, las avalanchas tienen alcances un poco mayores hacia el NE, N y NW que los mapas de Navarro y Cortés (2003) y de Martin del Pozzo *et al.* (1995), ya que las simulaciones así lo indicaron. Esto es importante porque indica que las avalanchas superan fácilmente, en esas direcciones, las paredes de la caldera del Paleofuego, por lo que aportarían importantes volúmenes de material que después podrían ser removilizados como flujos de escombros hacia el WSW y hacia el ENE. Hacia el WSW el mapa incluye asentamientos humanos como San José del Carmen y El Tecuán, al igual que el mapa de Navarro y Cortés (2003); por el contrario, el de Martin del Pozzo *et al.* (1995), excluye esta zona. Sin embargo, en el presente trabajo los límites hacia el sur, para valores H/L de 0.11, no son tan distales como en los otros mapas. Hacia el SE, nuestros alcances son un poco superiores (hasta unos 3 km más al lado opuesto del río Naranjo, frente a Piälla y Platanar). Otro dato interesante del mapa indica que Atenquique, Agua de Obispo y otras comunidades cercanas a éstas están dentro del alcance de avalanchas con H/L de 0.11, mientras que los demás mapas no las incluyen. Se identificaron también 3 zonas que pueden desviar las avalanchas de escombros y que podrían quedar intactas después de un colapso del edificio volcánico sectorial o de flanco. Las trayectorias de las simulaciones permitieron agrupar 3 sectores direccionales principales de los colapsos de flanco. Es importante mencionar que, en general, la mayoría de los alcances que se reportan coinciden con los de las avalanchas de escombros del mapa de Navarro y Cortés (2003).

Figura 32. MAPA DE PELIGROS DEL VOLCÁN DE COLIMA

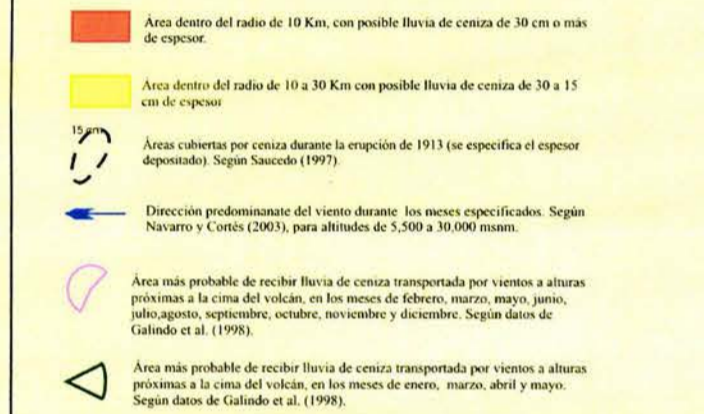
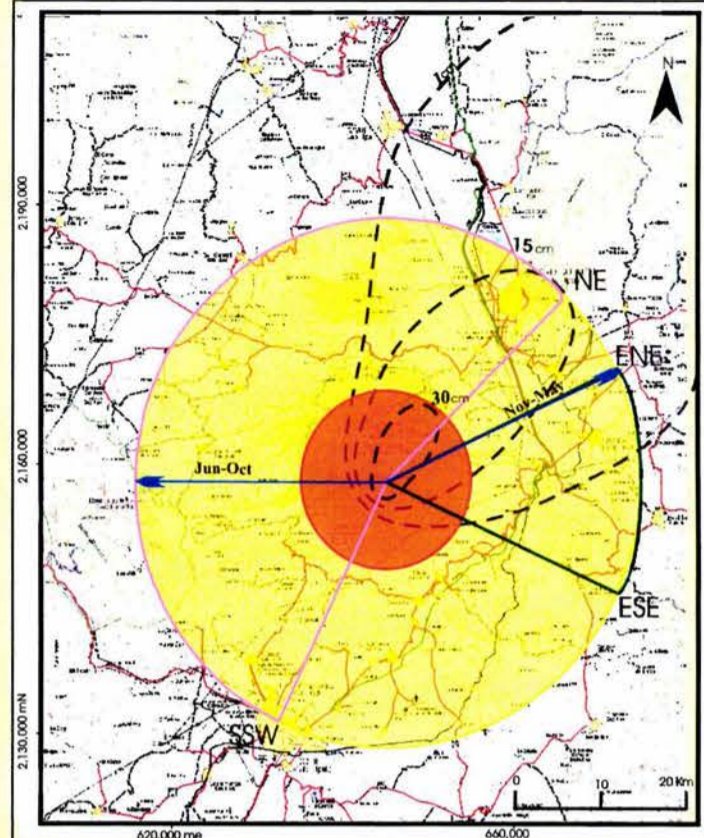
MAPA 1. FLUJOS PIROCLÁSTICOS Y AVALANCHAS DE ESCOMBROS



MAPA 2. FLUJOS DE ESCOMBROS



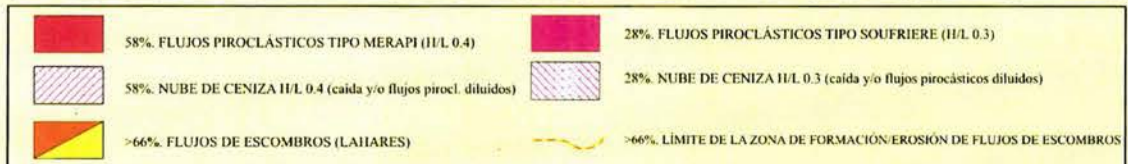
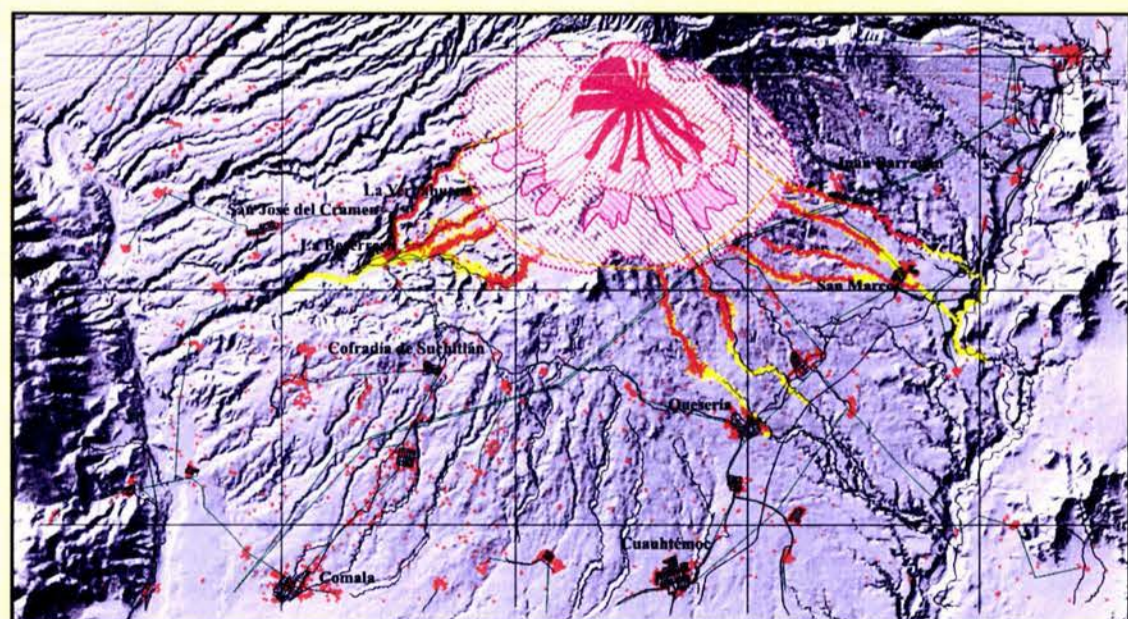
MAPA 3. CAÍDA DE CENIZA



ZONIFICACIÓN DE PELIGROS VOLCÁNICOS

Los fenómenos volcánicos que tienen un mayor potencial de afectar a las zonas habitadas próximas al volcán son: flujos piroclásticos de bloques y ceniza (tipo Merapi, Soufriere y por colapso de columna eruptiva pliniana), avalanchas de escombros (MAPA 1), flujos de escombros (MAPA 2) y caída de ceniza (MAPA 3). Estos mapas de peligros muestran los límites de las áreas de posible afectación. El grado de peligrosidad asignado a cada área (ALTO, MEDIO-ALTO, MEDIO, BAJO Y MUY BAJO) depende de su probabilidad de ocurrencia.

MAPA 4. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA EN UN PERIODO DE 1 AÑO



Con base en el registro histórico de la actividad del Volcán de Colima desde el año 1519, se han podido estimar probabilidades de ocurrencia de distintos fenómenos. En la tabla se muestran dichas probabilidades. En el mapa 4 se muestra de forma gráfica la probabilidad de que los peligros asociados a actividad tipo Merapi, Soufriere y flujos de escombros (lahares) ocurran durante un periodo de un año. Este escenario es el más probable considerando la actividad que ha caracterizado a las crisis volcánicas recientes. Como se puede observar, la formación de flujos de escombros (LAHARES) es la que tiene la mayor probabilidad, ya que durante cada temporada de lluvias el material depositado por los flujos piroclásticos puede ser fácilmente removilizado.

Tipo de actividad	1 AÑO	Intervalo de tiempo	100 AÑOS
MERAPI	33%	10 AÑOS	
SOUFRIERE	28%		
COLAPSO DE FLANCO O SECTORIAL			4%
PLINIANA		10%	100%
LAHAR	66-100%		

En el caso de que se considere posible la ocurrencia de una actividad tipo pliniana o inclusive el colapso del edificio volcánico (cuya recurrencia se ha establecido entre 100 y mas de mil años, respectivamente) es necesario considerar los mapas de peligros 1, 2 y 3.

En la simulación del peligro por flujos piroclásticos, como se ha explicado anteriormente, los valores de H/L utilizados son los que se obtuvieron a partir de los depósitos reconocidos en campo, tratando de modificar al mínimo dichos valores para poder reproducir los alcances reales que han tenido los flujos. Esto refleja la necesidad de reproducir datos lo más reales posibles, y que sean comparables con datos de otros autores (inclusive de otros volcanes) en donde se presenten valores de H/L que solamente reflejen el alcance medido en el campo. Por el contrario, en Saucedo et al. (2004) se presentan valores de H/L calibrados con la simulación hecha con FLOW3D los cuales difieren del valor real por más de 0.01.

Dada la frecuencia muy superior con la que se han presentado los flujos piroclásticos tipo Soufriere de escala pequeña con H/L 0.3 (o similar) respecto a los de escala grande (H/L de 0.24, zona que incluye La Yerbabuena, Causentla y el rancho "Nuevo"), se añade una subcategoría a los alcances de los flujos piroclásticos tipo Soufriere grandes de Saucedo *et al.* (2004). Se introdujo un área delimitada por un valor H/L de 0.3 como representativo de alcances extremos de flujos piroclásticos tipo Soufriere de escala pequeña como el registrado el 17 de julio de 1999 por la barranca La Lumbre (H/L de 0.33). Por ejemplo, en este caso (H/L 0.3), el mapa muestra que el alcance no llega a La Yerbabuena, aunque una ligera lluvia de ceniza por flujo piroclástico diluido caería en la comunidad. En situación muy parecida se encuentran Causentla y el rancho "Nuevo" ubicado en su proximidad. Esto daría un parámetro importante para la toma de decisiones al respecto, ya que en general es mucho menos posible que ocurra un flujo piroclástico con H/L de 0.24 que uno de H/L de 0.3.

Los alcances máximos de los flujos piroclásticos por colapso de columna pliniana del mapa correspondiente al presente trabajo son en general un poco mayores que los del mapa de Saucedo (2001) y de Saucedo *et al.* (2004), siendo en algunas partes más semejantes a los del mapa de Navarro y Cortés (2003), aunque tanto el de este trabajo como el de Saucedo et al. (2004) abarcan áreas mayores. El mapa del presente trabajo muestra alcances de varios kilómetros hacia el NE, por la barranca Atenquique. Esto es importante porque los materiales depositados en esta barranca se removilizarían como lahares bajo la acción de las lluvias hacia la localidad de Atenquique. El mapa indica que

los alcances de los flujos piroclásticos diluídos correspondientes a los eventos tipo Soufriere de escala grande excede en unos 3 a 4 km al alcance de los que reportan Saucedo et al. (2004).

El mapa de peligro por flujos de escombros es el que muestra mayores diferencias con los de Navarro y Cortés (2003), Suárez-Plascencia *et al.* (2002) y Martin del Pozzo *et al.* (1995). El presente trabajo indica con mayor detalle las zonas de inundación, además de hacer una clasificación que permite establecer cuáles comunidades (o hasta edificaciones individuales) pueden estar bajo mayor amenaza que otras dentro de las zonas de inundación. Se evidenció la amenaza similar que pueden tener construcciones o viviendas del rancho El Jabalí y algunas viviendas de La Becerrera, y que un evento lahárico grande (de 5,000,000 de m³) cubriría más de la mitad de La Becerrera y sería capaz de sepultar la mayoría de las instalaciones del citado rancho y hacer lo mismo con el hotel San Antonio.

Por otro lado, es importante mencionar que algunas comunidades y ranchos como La Yerbabuena, El Fresnal y El Agostadero no fueron alcanzados por las simulaciones hechas con los mayores volúmenes, por lo que quedaron fuera del área de peligro en el mapa que se presenta, contrariamente a lo mostrado en los demás mapas.

El mapa de peligro por caída de ceniza se distingue de los demás por incluir los principales valores de isopacas de Saucedo et al. (1997) a cerca de la más reciente erupción pliniana, así como posibles áreas con lluvia de ceniza transportada por vientos que soplen a niveles cercanos al cráter (Galindo *et al.*, 1998). Esto último es importante si consideramos la gran frecuencia con la que el volcán ha estado emitiendo columnas de ceniza a esas altitudes desde 1999 hasta la fecha.

IV. APORTACIONES AL PLAN DE CONTINGENCIAS

4.1 Introducción

En el presente trabajo se consideró necesario aplicar un criterio de análisis con suficiente capacidad crítica para examinar los supuestos y las acciones del modelo dominante implementado por las autoridades, así como la respuesta de las comunidades. Se optó por los postulados de tipo alternativo de Russell Dynes (1999), mediante los cuales se hizo posible evaluar relaciones entre los procesos sociales mencionados y el riesgo volcánico.

4.1.1 Fundamentos teóricos

Dynes (1999) establece una serie de reflexiones sobre la planificación de emergencias que rige los ámbitos gubernamentales estadounidenses y la mayoría de los modelos similares en el resto del mundo. El modelo "dominante" que opera en la UNDRR es derivado del modelo militar que prevalece en las bases teóricas de la planificación de emergencias, principalmente aquellas de carácter masivo. Al respecto, siguiendo los postulados críticos de Dynes, podemos darnos cuenta de que esta visión dominante del desastre (Hewitt, 1983) asume que una emergencia requiere, ineludiblemente, de una acción de tipo militar externa y salvadora, sin atribuir a la sociedad civil roles participativos, ni mucho menos en el proceso conocido como toma de decisiones. El modelo militar que critica Dynes asume que una emergencia se caracteriza por el caos, el cual solo puede ser controlado mediante comando y control de la autoridad.

Este modelo tiene supuestos. El primero es que el periodo de la pre-emergencia se caracteriza por una marcada diferencia con el periodo de emergencia, es decir, que existen límites definidos entre ambas etapas. La pre-emergencia tiene rasgos de normalidad mientras la segunda conlleva caos (muchas veces reflejada en supuestas reacciones de pánico irracional de la población civil) que hace imperante una necesidad de acción extraordinaria para hacer regresar a la normalidad la desorganización de los individuos. Entonces la desorganización de los individuos como respuesta natural a la emergencia es el segundo supuesto. Las emergencias desarrolladas lentamente pueden pasar desapercibidas en este modelo, ya que el modelo establece la *obviedad* de los *desórdenes* emergentes. Ya que el modelo militar preestablece roles de comando ante situaciones de emergencia,

la sociedad civil sólo se limita a obedecer indicaciones o a cooperar con las autoridades, desmotivando la participación directa de aquella durante situaciones de desastre.

En resumen, el modelo militar, según Dynes (1999), tiene las siguientes consecuencias:

1. Se asume el caos social y una dramática ruptura durante la emergencia.
2. Se asume que la estructura social y los individuos tienen una capacidad muy limitada para enfrentarse con las emergencias.
3. Se crean estructuras sociales artificiales para reemplazar esas capacidades limitadas.
4. Se expresa una profunda desconfianza en los individuos y en las estructuras para tomar decisiones inteligentes durante las emergencias.
5. Se deja la responsabilidad de una estructura vertical de autoridad para tomar decisiones correctas y comunicarlas mediante información oficial para asegurar la acción.
6. Se crea un sistema cerrado con la intención de sobreponerse a la debilidad inherente de la sociedad civil para enfrentarse con emergencias importantes.

Al respecto, Dynes (1999) propone lo que llama la *resolución de problemas*, una visión alternativa de la emergencia que asume lo siguiente:

1. Que las emergencias pueden crear algún grado de confusión y desorganización en el nivel de los patrones de rutina organizacional, pero describir esto como caos social es incorrecto.
2. Que las emergencias no reducen las capacidades de enfrentamiento de los individuos y las estructuras sociales. Estas pueden prestar nuevos e inesperados problemas a resolver.
3. Que la estructura social existente es la más efectiva vía para resolver esos problemas. Crear una autoridad artificial específica de emergencia no es posible ni efectiva.
4. Que los esfuerzos de planificación deben ser contruidos alrededor de las capacidades de las unidades sociales para tomar decisiones correctas e informadas. Esas unidades sociales necesitan ser vistas como recursos para resolver problemas y no como problemas en sí mismas.
5. Que una emergencia, por su propia naturaleza, está caracterizada por una toma de decisiones descentralizada y plural, de manera que la autonomía para tomar decisiones debe ser valorada por encima de la descentralización de la autoridad.
6. Que debe crearse un sistema abierto en donde se dé un gran valor a la flexibilidad e iniciativa entre las diversas unidades sociales; entonces, los esfuerzos serán coordinados. Los objetivos deben estar orientados hacia una solución de problemas y no a evitar el caos.

Dynes agrega a su *modelo de resolución de problemas* que, en lugar del caos, el énfasis debe darse en la *continuidad*; que en lugar del comando, el énfasis se debe dar en la *coordinación* y que, en lugar de control, el énfasis debe darse en la *cooperación*.

La *continuidad* refiere que la mejor predicción sobre el comportamiento social en las emergencias se encuentra en el comportamiento antes de que ocurran. En cuanto la sociedad se conduce a través de ciertas rutinas antes de la emergencia, esas rutinas deben ser utilizadas en la planificación de acciones de emergencia, por ejemplo, las rutas de evacuación se planearán según los patrones usuales de tráfico. En las emergencias, las unidades sociales existentes deben ser utilizadas en la medida de lo posible, mientras que las unidades de emergencia artificiales deben minimizarse.

La *coordinación* consiste en que la autoridad en la etapa de la pre-emergencia debe ser la base para la autoridad durante la emergencia. De tal manera que, usando la estructura de la comunidad como base durante la preemergencia, se encontrarán mecanismos que favorecerán la coordinación, estimulando actividades preventivas de cohesión social, compartiendo instalaciones para las operaciones de emergencia. Así, el centro de planeación de emergencias se habría de dirigir hacia los mecanismos e instalaciones que promuevan la coordinación interorganizacional y la toma de decisiones comunes. De esta manera, entre otras cosas, se asegura un óptimo flujo de comunicación entendible durante la emergencia.

La *cooperación* ha de desplazar al control. El modelo de comando militar asume que las organizaciones civiles a nivel comunitario son propensos a entrar en desorden, siendo incapaces de intervenir en la emergencia, además debido a que sus actividades laborales o familiares les impedirán participar exitosamente en la emergencia. Se ha demostrado que esto carece de fundamento (empírico, incluso). Las tareas efectivas de los voluntarios, incluyendo su capacidad de autoorganización, han sido plenamente demostradas por la sociedad civil en su participación durante el sismo de la Ciudad de México de 1985 (Quarantelli, 1989).

4.1.2 Acciones.

Las contribuciones a los planes de contingencia se hicieron con base en las siguientes acciones:

Para el análisis de los planes gubernamentales vigentes en Colima (Manual de Procedimientos Operativos en Caso de Emergencia y Plan Operativo Volcán de Colima), se utilizará el marco teórico de Dynes (1999), analizando contenidos, agentes involucrados, supuestos sobre la amenaza volcánica, la población en riesgo y de los agentes de la autoridad.

La información obtenida mediante los puntos previos fue combinada con los parámetros probabilísticos y espaciales obtenidos en el capítulo III, con lo que se formularon propuestas de aportaciones a los planes de contingencia.

4.2 Análisis de los planes de contingencias volcánicas vigentes en el Estado de Colima

4.2.1. El Plan Operativo Volcán de Colima y el Manual de Procedimientos Operativos en Caso de Emergencia

El Manual de Procedimientos Operativos en Caso de Emergencia (ver anexo) es una versión evolucionada del Plan Operativo Volcán de Colima, el cual se concibió más como documento base en la delimitación de responsabilidades del manejo de la emergencia para la toma de decisiones por parte del gobierno del estado que como un plan operativo real. El Manual, sin embargo, es más elaborado y contiene algunas actualizaciones que reflejan la evolución del esquema militar del cual escribe Dynes. Tanto el documento oficial como las declaraciones del Secretario Técnico del Sistema Estatal de Protección Civil establecen que el sistema de manejo de emergencias volcánicas se constituye por autoridades civiles (gobiernos estatal, municipal y federal) y académicas (científicos), con la finalidad principal de pronosticar con la mayor precisión posible un evento que pudiera poner en peligro vidas y/o propiedades, diseñar e implementar planes de emergencia y comunicar alarmas entre la población amenazada. Dicho Manual incluye un croquis con las rutas de evacuación y formaliza las atribuciones del Comité Técnico Científico Asesor del Volcán de Colima (CTCAVC).

Resulta claro que el supuesto de la creación de organizaciones artificiales es uno de los rubros más importantes del Manual. También es notorio que no se considera a la población en riesgo como agente activo ni en las medidas de prevención del riesgo (por lo menos no lo especifica), ni en la toma de decisión. Solamente se considera al público como receptor de información proveniente de las autoridades y de los científicos, la cual se reconoce que debe ser lo más precisa, clara y oportuna en la medida de lo posible. La presencia del ejército (tanto en el Manual como en las comunidades evacuadas) parece ser indicativa de que el supuesto de *control contra el caos* está fuertemente arraigado en la concepción de la gestión de la emergencia por parte de los agentes gubernamentales. Según el modelo, la población en riesgo se debe limitar a acatar los exhortos gubernamentales (este es el supuesto de *coordinación* por parte de las autoridades hacia la sociedad civil), pero no se le confieren mayores responsabilidades ni se estimula la *coordinación* comunitaria.

Los supuestos sobre la amenaza volcánica que incluye el Manual se apegan claramente a lo que especifica Dynes cuando se refiere al carácter que atribuye el *modelo militar* a la amenaza o *agente perturbador del orden*: impactante en el corto plazo (*obviedad de la emergencia*). Es importante mencionar que precisamente la actividad del Volcán de Colima no se ha caracterizado en los últimos años como de alta violencia, sino que los niveles de amenaza han sido variables pero sin llegar a escenarios que conlleven a la generalización de esa *obviedad*.

4.2.2. Análisis de experiencias previas en operativos de alerta y evacuación en el Estado de Colima.

4.2.2.1. El rol de los vulcanólogos en la mitigación del riesgo volcánico

Los vulcanólogos reconocen que los operativos de alerta y evacuación conllevan situaciones críticas en lo político, económico y social. Sin embargo, todos coinciden en que esas medidas son indispensables (Peterson, 1996; De la Cruz et al., 2000). Es de resaltar que los vulcanólogos, al tratar el tema de la protección civil o el manejo de las emergencias, comparten los puntos de vista del *modelo militar*, dando énfasis en la gran mayoría de los casos a las medidas preventivas de tipo estructural o instrumental (Shimozuru et al., 1996; Barberi y Villari, 1994; Reyes-Dávila y De la Cruz-Reyna, 2002). Cuando se refieren a la participación comunitaria de los individuos en las emergencias, la mayoría de los vulcanólogos suele limitarse a exhortar el mejoramiento de los

sistemas de comunicación de alerta y la cultura de información sobre las amenazas (Janda et al., 1993; Punongbayan et al., 1996; Tayag et al., 1996), algunos llegando incluso a atribuir la mayor parte de la causa de algunos desastres volcánicos a las deficiencias en los sistemas de alerta que se relacionan con errores o carencias en el flujo de comunicación, cualitativa o temporal, a cerca de los niveles y tipología de las amenazas (Voight, 1996). Por su parte, Tilling (2004), reconoce que los fenómenos volcánicos no representan peligro hasta que éstos interactúan con la sociedad, y que los grandes retos de la vulcanología actual se centran en que aún no existe capacidad para predecir con niveles confiables las erupciones explosivas. Además, asegura que desde el año 1900 hasta el 2000, el número de fatalidades relacionadas con la actividad volcánica descendió pese a que la población mundial se cuadruplicó.

Existen programas de mitigación del riesgo a desastres que se han aplicado siguiendo meticulosamente el modelo militar. En algunos de estos casos, se ha visto que la vulnerabilidad o el riesgo pueden no ser disminuídos. Las reubicaciones forzosas por riesgo a desastre volcánico constituyen un ejemplo claro, en las cuales los habitantes reubicados, después de cierto tiempo, han regresado a su lugar de origen. En este contexto, el caso de la reubicación de la comunidad más cercana al Volcán de Colima, La Yerbabuena, será tratado más adelante.

4.2.2.2. Actividad volcánica y gestión del riesgo en el Estado de Colima de 1998 a 2003

El proyecto de comunicación del riesgo del Grupo de Información a la Población (GIOV)

En las comunidades de la zona de alto y mediano riesgo el Volcán de Colima se llevó a cabo de 1997 a 2000 un programa de comunicación del riesgo por parte de académicos de la Universidad de Colima en colaboración con el SEPROC.

Este grupo, autodenominado Grupo de Información a la Población del Observatorio Vulcanológico (GIOV), tenía el objetivo inicial de consolidar un grupo multidisciplinario encargado de investigar y resolver problemas de mitigación del riesgo en ámbitos sociales en los que los vulcanólogos por sí mismos carecen de competencia, así como estimular la participación activa de las comunidades en la mitigación del riesgo volcánico. A principios de 1997 el GIOV realizó encuestas de percepción del riesgo en las 7 comunidades más cercanas al volcán, mismas que indicaron que la mayoría de los entrevistados desconocían las características principales de las

amenazas propias de erupciones medianas o grandes, así como las rutas de evacuación (Gavilanes *et al.*, 1998; Ceballos y Gavilanes, 1998).

El GIOV diseñó una campaña de conferencias (de las que se impartieron más de 35 hasta finales de 1998) cuyo contenido incluía las características de las principales amenazas volcánicas y sus posibles zonas de afectación. Dicho contenido estaba dirigido a compensar las carencias de información de cada comunidad. También se diseñaron, imprimieron y distribuyeron folletos y trípticos que fueron entregados a autoridades municipales y ejidales. Conforme aumentaba la actividad del Volcán de Colima en 1998, estas actividades se intensificaron, siendo el GIOV quien comunicaba de manera directa a las comunidades los puntos de vista del CTCAVC, además de llegar a informar de la conveniencia de evacuar que manifestaron el Comité y el SEPROC dos días antes de la erupción efusiva de noviembre de 1998. En esta, la primera evacuación oficial realizada por las autoridades de Colima por riesgo volcánico, toda la población aceptó la sugerencia a la evacuación. El SEPROC y el CTCAVC llegaron a comisionar al GIOV (que contenía a dos miembros del Comité) para que funcionara como eslabón entre estas instancias y la población de las comunidades más amenazadas por la actividad volcánica, misión que realizaban mediante visitas a la población (incluso a los albergues durante evacuaciones) antes y durante el desarrollo de crisis volcánicas (Macías *et al.*, 1999; Cuevas y Ceballos, 2001), explicando las características y alcances posibles de las amenazas volcánicas, así como opinión consensada del CTCAVC.

Sin embargo, el GIOV comenzó a sufrir falta de apoyo desde mediados de 1999, durante el inicio del desarrollo de la actividad explosiva (con formación de algunos flujos piroclásticos de tipo Soufriere) e intermitente. Desde este momento, el contacto del GIOV con los habitantes de las comunidades fue haciéndose cada vez menos frecuente, hasta desaparecer a finales del año 2000.

Después de más de 2 años de aplicarse la primera encuesta a la población rural de los alrededores del volcán, el GIOV aplicó otra encuesta y los resultados sugirieron que la gente había adquirido nuevos conceptos sobre las amenazas volcánicas, quizá por efecto de la información recibida. Para finales del año 2000, el GIOV se había desarticulado debido en gran medida a la dificultad de sostener sus gastos de operación. Desde entonces y hasta 2003, al parecer solamente en una o dos ocasiones los habitantes de La Yerbabuena recibieron la visita de miembros del CTCAVC (Jesús Méndez, *com. pers.*).

Esos tres años de contacto frecuente con las comunidades permitieron cierto nivel primitivo de continuidad, coordinación y cooperación que solo se dió entre los conferencistas y los habitantes de la comunidad, no así con el resto del CTCAVC o de los funcionarios de protección civil.

La actividad volcánica, la gestión del riesgo volcánico y la respuesta social de 1998 a 2003.

La erupción efusiva de noviembre de 1998 fue pronosticada por sismólogos de la Universidad de Colima y del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) por lo menos con dos días de anticipación (Reyes-Dávila y De la Cruz-Reyna, 2002). De hecho, desde un año antes otros precursores (geoquímicos, geológicos y geofísicos) comenzaron a ser registrados (Zobin et al., 2002, Taran et al., 2002), aunque la vigilancia sísmica constituyó el método capaz de mostrar con mayor claridad y continuidad el desarrollo de la actividad volcánica interna, por lo que es el método de vigilancia más efectivo para el pronóstico a corto y mediano plazo. Dicho pronóstico influyó de manera determinante en la decisión tomada por el SEPROC y el CTCAVC de realizar la primera evacuación oficial por amenaza volcánica en el estado de Colima: la de La Yerbabuena. Como ya se mencionó, en este caso toda la población exhortada a evacuar acató la recomendación. La erupción produjo numerosos flujos piroclásticos de bloques y ceniza (FBC) con alcances menores a 5 km (Saucedo et al., 2002).

A finales de enero de 1999, el estilo eruptivo evolucionó a uno explosivo. El 10 de febrero ocurrió una explosión que generó FBC tipo Soufriere con alcances menores a los 3 km. (Saucedo, 2002), enviando proyectiles balísticos hasta 4 km de distancia y provocando ligeras lluvias de ceniza en las comunidades cercanas. Los precursores fueron difíciles de identificar o inexistentes (Reyes-Dávila y De la Cruz-Reyna, 2002). Inmediatamente después del evento, el CTCAVC determinó que era posible que una explosión ligeramente más energética podría hacer llegar proyectiles hasta a 9 km de distancia, por lo que decidió recomendar una segunda evacuación de La Yerbabuena, misma que duraría 17 días, durante la cual el volcán no produjo eventos mayores al del 10 de febrero.

Otras explosiones parecidas ocurrieron el 10 mayo y el 17 de julio de 1999. Al igual que en el evento del 10 de febrero, en estas explosiones los precursores fueron de tipo sísmico, difíciles de identificar, muy breves o inexistentes, lo cual contribuyó a dificultar el pronóstico de la evaluación del riesgo (Núñez-Cornú et al., 2002). Estos precursores, cuando eran identificables, se presentaban

muy pocas horas o minutos antes de las explosiones (Reyes-Dávila y De la Cruz-Reyna, 2002). El criterio de la amenaza por proyectiles balísticos ante la posible ocurrencia de explosiones mayores se hizo prevalecer en el CTCAVC. Estos factores hicieron que se mantuviera la tercera evacuación de La Yerbabuena, que duraría 32 días, sin que en ese lapso ocurrieran erupciones mayores. Ya que era la segunda vez que se daba una falsa alarma, esta vez de larga duración, se generaron una serie de problemas socio-económicos entre la población evacuada, además de una notable pérdida de credibilidad en las autoridades y en los científicos, que eran los que imponían los niveles de aceptación del riesgo. La percepción del riesgo y de sus límites de aceptación era muy diferente entre la población afectada y la que parecían compartir científicos y autoridades. Algunos yerbabuenenses declararon: “Si dicen que no están seguros los científicos de que en estos días haga erupción como en 1913, aceptamos el riesgo, pues con las evacuaciones tan largas perdemos mucho, si quieren les firmamos una responsiva”. Para entonces, los yerbabuenenses más reticentes a evacuar consideraban que las evacuaciones eran necesarias “siempre que sean justificadas, pues el volcán puede matar gente...el 17 de julio andábamos allá arriba y casi nos alcanzó el *flujo* que bajó rapidísimo” (Gavilanes, 2000). Debido al incremento de la resistencia a las evacuaciones por parte de la población, así como a la rapidez con la que evolucionaban los procesos explosivos, las autoridades del SEPROC decidieron agilizar operativos de evacuación futuros. Para esto el gobernador del estado facultó al director operativo del SEPROC para que, cuando lo considerase necesario, tomara la decisión de evacuar sin necesidad de consultarlo con él. Se acordó con el comandante de la 20ª Zona Militar que destacara un pelotón de soldados a La Yerbabuena junto con uno o dos camiones de transporte de personal vacíos para que permanecieran en la comunidad, listos para evacuar de manera inmediata a la población en caso necesario (en lugar de esperar a que llegaran los autobuses civiles enviados desde la capital del estado, a más de 25 km de la comunidad).

Esto se realizó de manera inmediata. Sin embargo, el SEPROC también consideró que si bien era necesario evacuar rápido a la gente, también lo era permitirle regresar a sus viviendas lo más rápido posible. Es decir, ponerle más atención a los diagnósticos de los científicos sobre las señales de actividad que indicaran que descendían las posibilidades de ocurrencia de un fenómeno que alcanzara a las comunidades. El director operativo del SEPROC manifestó que si era necesario, solamente se mantendría a los evacuados unas horas fuera de la zona de peligro, incluso sin necesidad de llegar al albergue, y se les transportaría de regreso si los científicos no lograban justificar la emergencia. Como ya se ha mencionado, el evento de julio produjo flujos piroclásticos

tipo Soufriere que se encauzaron por la barranca La Lumbre y alcanzaron alrededor de 6 km de distancia (con H/L de 0.33). Este evento, pese a producir flujos piroclásticos de un alcance ligeramente mayor a los de los eventos similares previos, motivó a las autoridades a aplicar una evacuación (de la Yerbabuena) que duró solamente 2 días, lo cual indica que las autoridades consideraban con mayor importancia los límites de aceptación de riesgo de la población, o bien que los criterios de evaluación del riesgo tendían a ser más precisos, o ambas cosas.

Como resultado de los problemas derivados de la incertidumbre en la evaluación del riesgo, a mediados de 1999 ocurrió en la Universidad de Colima un encuentro entre científicos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus iniciales en inglés), del CENAPRED y miembros locales del CTCAVC. Como resultado del intercambio de información, los asesores visitantes recomendaron a los locales la creación o el mejoramiento de criterios que facilitaran la toma de decisiones basadas en los parámetros de actividad volcánica, así como establecer niveles de aceptación del riesgo (Gavilanes, 2000). Hasta la fecha, no hay evidencias de que estas recomendaciones hayan sido llevadas a cabo.

Es oportuno mencionar que a mediados de 1999, el gobierno del estado de Colima tomó la decisión de reubicar la comunidad de La Yerbabuena, sin que sus habitantes fuesen considerados en la toma de decisión, e incluso el CTCAVC (compuesto por geocientíficos y solamente un investigador con experiencia geosocial en desastres, mismo que se opuso) dió su veredicto aprobatorio a dicho proceso. La validez de la competencia de un comité de geocientíficos en hacer dicho veredicto ha sido severamente cuestionada por varios investigadores en desastres como Macías Medrano (2001).

En mayo de 2002 fué reubicada dicha comunidad, aunque 9 familias desde entonces se resisten, por lo cual siguen residiendo en la comunidad original. Desde principios de 2003, 8 familias que aceptaron sus nuevos hogares en Cofradía de Suchitlán (a 17 km al SW del cráter) regresaron a la comunidad debido a problemas de adaptación al nuevo ambiente (Cuevas-Muñiz, 2004). Por lo tanto, los operativos de evacuación implementados en el estado de Colima en el año 2002 solamente intentaban evacuar esta población residente. Desde que se dio la reubicación, se inició una serie de reportes sobre conductas impropias de los elementos del Ejército que se encuentran ocupando la comunidad.

A finales de 2000, entre los habitantes de La Yerbabuena y Juan Barragán (la comunidad jalisciense más cercana al Volcán) ya era común que cuestionaran la función de los efectivos del Ejército Mexicano destacados en ambas comunidades. Varios vecinos han reportado diversos casos de *desorden* que van desde actitudes agresivas o poco amigables (el autor de este trabajo ha podido presenciar actitudes irrespetuosas de los soldados hacia las mujeres que transitan solas), pasando por disparos de arma de fuego por militares, hasta riñas y persecuciones entre soldados armados (al parecer ebrios), dentro de la comunidad (Cuevas, 2001; Alicia Cuevas, com. pers.).

Además, se pudo constatar en varias visitas a La Yerbabuena, que solamente había un vehículo militar *hummer* con capacidad para menos de 12 personas destacado en la comunidad (los vecinos aseguran que a veces ni uno de esos vehículo hay), incapaz de transportar en una evacuación rápida a los 5 o más soldados y a las más de 5 familias de vecinos. Además, los soldados han ocupado la Casa Ejidal, lo cual ha sido severamente rechazado por los vecinos en resistencia.

En mayo de 2001 inició una nueva fase eruptiva de tipo efusivo que se incrementó (sin presentar explosiones) en enero de 2002. El 5 de febrero de 2002 la lava llenó el cráter, por lo que los primeros derrumbes de bloques incandescentes, propios de una actividad tipo Merapi, fueron reportados. El CTCAVC se reunió inmediatamente para evaluar la situación. En entrevista con varios miembros del comité presentes en esa reunión manifestaron que se llegó a la opinión consensada de que no había suficientes elementos para recomendar una evacuación (solamente dos miembros del Comité votaron positivamente por emitir la recomendación: el director del Observatorio Vulcanológico y el responsable de riesgo volcánico del mismo), y que se reunirían a la mañana siguiente para re-evaluar la situación. Los entrevistados añadieron que después de la primera reunión, al parecer el director del Observatorio y uno de los moderadores del CTCAVC visitaron al gobernador del estado. A la mañana siguiente, cuando el resto de los miembros del CTCAVC se disponían a asistir a la reunión proyectada, se enteraron por los medios de que el gobernador había ordenado la evacuación de La Yerbabuena, misma que ya se estaba efectuando. El secretario general de gobierno declaró que “por recomendaciones del CTCAVC y del SEPROC, el gobierno del estado de Colima ordenó la evacuación del poblado La Yerbabuena” (La Jornada, 6 de febrero de 2002). Se desconocen las razones de tal declaración. Los datos históricos indicaban que los alcances de los flujos piroclásticos tipo Merapi (algo que era inminente) ocurridos en los últimos siglos nunca

habían alcanzado distancias mayores a 6 km, lo cual posiblemente influyó en la decisión del CTCAVC de no sugerir evacuar.

En este contexto, resulta oportuno citar un texto escrito por el responsable de riesgo volcánico del Observatorio Vulcanológico que dice en su parte final y refiriéndose a los procesos eruptivos del Volcán de Colima de 1998 a 2003: "La evolución de la actividad nos permite pensar que podemos estar ante un posible escenario tipo 1913 (VEI 4) en donde el material involucrado por las dimensiones actuales del domo puede afectar a las poblaciones ubicadas en un radio de 30 km de la cima" (Bretón et al., 2003). Al respecto, hay que puntualizar que el domo más voluminoso que ha formado el Volcán de Colima en el periodo 1998-2003 es el mismo que se comenzaba a desbordar del cráter cuando el gobernador ordenó la evacuación del 5 de febrero de 2002, así que posiblemente a ese domo se refiera el autor mencionado. Sin embargo, en la literatura volcanológica no existen trabajos que indiquen que es posible establecer un relación entre las dimensiones de un domo emplazado en la cima de un volcán y su alcance hasta distancias tan grandes (estaríamos hablando de un área que incluye las ciudades de Colima y Guzmán). La erupción de 1913 emitió un volumen de alrededor de 1,000 millones de m³ de material (Saucedo, 1997), mientras que el domo de 2003 alcanzó solamente un volumen de 1.5 millones de m³ (650 veces menor que en 1913), por lo que el último, en un escenario pliniano, representaría una diferencia despreciable. El volumen del domo prácticamente no influiría en el alcance o volumen del material eruptado. No se sabe si el gobernador recibió alguna recomendación basada en este criterio y por ello tomó esa decisión, contraviniendo la recomendación consensada del CTCAVC.

Varias familias resistieron la evacuación, que duró 5 días. Sin embargo, al mismo tiempo se incrementó el volumen de los derrumbes, con alcances que por lo general no excedían los 3 km. Algunos yerbabuenenses preguntaron "¿Por qué nos regresan a nuestras casas cuando hay más derrumbes calientes?", mientras que otros manifestaron en no pocas ocasiones su desconfianza en los científicos o las autoridades.

El 18 de mayo de 2002, después de presentarse más de 30 horas de tremor continuo (algo nunca antes registrado por el sistema de vigilancia volcánica de Colima) el SEPROC ordenó otra evacuación que duró 18 días. El CTCAVC declaró que no existían precedentes con los cuales comparar la actividad recientemente mostrada por el Volcán, por lo que no podían estar seguros de

la manera en la que evolucionará la actividad. En consecuencia, se recomendó a las autoridades la evacuación de La Yerbabuena. Se incrementó el número de habitantes que se negaron a evacuar. Los que se resistieron a la evacuación declararon que el gobierno actuaba contra sus derechos humanos, pues al ver que se negaron a evacuar, las autoridades habían interrumpido de manera intencional el suministro de electricidad y del agua potable de La Yerbabuena con la finalidad de forzarlos a salir de la comunidad (Maximino Ramírez, com. pers.).

El 17 de julio de 2003 ocurrió otra explosión que formó flujos piroclásticos tipo Soufriere con alcances de poco más de 3 km, lanzamiento de proyectiles balísticos y ligeras caídas de ceniza en algunas poblaciones cercanas al volcán. Este evento daría inicio a una fase de explosiones intermitentes, algunas del mismo orden de magnitud, como la ocurrida el 29 de agosto del mismo año. Ninguno de estos eventos tuvo como consecuencia la implementación de evacuaciones. Esto sugiere que las autoridades, al igual que en 1999, decidieron volver a hacer ajustes en sus esquemas de toma de decisión, por lo cual no fue necesario.

Como ya se mencionó en el capítulo III, en junio de 2000 ocurrió un lahar que sepultó 2 construcciones habitadas y un automóvil de La Becerrera, ubicada a 12 km al SW del cráter. Dos niñas que se encontraban en una de las viviendas salvaron su vida al oír el estruendo y sentir las vibraciones del flujo de escombros que se aproximaba por lo que, con la ayuda de unas vecinas, se alejaron hacia lugares más altos. Muy probablemente hubieran muerto de haber permanecido dentro de la casa unos segundos más. El 23 de agosto de 2003 un flujo de escombros que no provenía del drenaje del cono principal del volcán cubrió los restos de Barranca del Agua, un caserío deshabitado que había sido reubicado en 1995. Al respecto, el gobernador de Colima declaró que “Eso acredita que la gente que está en lugares de alto riesgo y que está detectada por Protección Civil, debe reubicarse y ese es el mensaje que se manda a La Yerbabuena, que aún persisten algunas personas en quedarse ahí y que son los que dicen que no sucede nada...esta situación debe servir de experiencia a quienes se niegan a reubicarse y siguen habitando en La Yerbabuena”. El gobernador añadió que La Becerrera no tenía ningún riesgo en ese momento, pero “probablemente los de La Yerbabuena sí, que están ahí todavía, porque los han venido convenciendo algunas gentes de que se queden porque nos vamos a quedar con sus tierras, lo cual es falso” (El Comentario, 22 de agosto de 2002)

4.2.2.3 Discusión

Se puede observar una contemporaneidad entre la finalización de las acciones de comunicación del riesgo que implementaba el GIOV y el aumento de la desconfianza en los científicos y las autoridades. Es evidente que la pérdida de la función de interfase que desempeñaba ese grupo entre las autoridades y la población de La Yerbabuena no ayudó a mejorar la respuesta social. Sin embargo, es claro que para los científicos es imposible establecer un pronóstico confiable en la actividad explosiva, pues es algo que la vulcanología aún no ha alcanzado.

Se puede distinguir claramente que la toma de decisiones oficiales a cerca de cuándo se debe y cuándo no ordenar una evacuación ha sido muy variable. Esto puede deberse a la falta de una mejor evaluación del riesgo, lo cual debería ser responsabilidad de los científicos. Sin embargo, el manejo de la información sobre el riesgo por parte de las autoridades a veces no ha sido el mejor. Las imprecisiones del entonces gobernador del estado sobre las condiciones de peligro por lahares entre La Yerbabuena, La Becerrera y Barranca del Agua constituyen el mejor ejemplo de ello. A la Yerbabuena no le ha afectado lahar alguno al menos durante los últimos 50 años, y en el año 2000 un flujo de escombros casi mata a dos personas en La Becerrera.

En los casos en los que las evacuaciones se hicieron a raíz de eventos explosivos, casi todos ya ocurridos, es decir, que fueron evacuaciones post-evento), dichos eventos formaron flujos piroclásticos tipo Soufriere. De éstos, sólo en el caso de la explosión del 17 de julio de 1999 (que representa el alcance mayor de los flujos piroclásticos tipo Soufriere pequeños en los mapas de este trabajo) los productos eruptados alcanzaron una distancia mayor a las dos terceras partes de la distancia comprendida entre la comunidad más cercana al volcán y éste, por lo que esas evacuaciones ahora podemos decir que fueron innecesarias.

Es evidente que las autoridades y los científicos necesitan un mejor marco de actuación y referencia que les permita establecer una mejor evaluación del riesgo, algo que, por cierto, no es nada fácil. En el sentido de las evacuaciones, a mediados de 1999 la gestión gubernamental del riesgo volcánico en Colima mostró un importante adelanto

Durante los últimos años, la atención se ha enfocado principalmente en La Yerbabuena como a la más amenazada de las comunidades. Sin embargo, este trabajo y otros muy recientes, proveen

información en el sentido de que el peligro hacia otras áreas puede ser igual o mayor. El lahar que sepultó los restos de Barranca del Agua demostró la amenaza elevada a la que se encuentra expuesto el hotel San Antonio, al estar expuesto no solamente a los ríos Cordobán y La Lumbre, si no también a los flujos de escombros que se originan en las fuertes pendientes orográficas de su flanco sureste.

El hecho de que las niñas de La Becerrera hayan sobrevivido al lahar de 2002 gracias a su reacción y a la respuesta inmediata de los vecinos, sin el auxilio de agentes externos a la comunidad, constituye un ejemplo claro de *coordinación comunitaria* frente al reconocimiento de condiciones de peligro. Esto demuestra que las comunidades cercanas al Volcán de Colima tienen capacidad de auto-organización y respuesta ante dichas condiciones, independientemente de las acciones implementadas por las autoridades de protección civil.

Por otro lado, un elemento preocupante lo constituye la información en el sentido de que las funciones del Ejército pueden ser no necesariamente dirigidas a la salvaguarda de la seguridad de los civiles. Los desórdenes reportados constituyen un serio agravio a la población civil y contribuyen a la pérdida de confianza y credibilidad en las acciones de protección civil implementadas por las autoridades.

Algunas de estas medidas, no del todo exitosas, pueden ser consideradas como resultado lógico de la ausencia de continuidad, coordinación y cooperación.

4.3 Aportaciones a los planes de contingencia vigentes en el estado de Colima.

4.3.1 Determinación detallada de zonas amenazadas bajo algunas condiciones de actividad volcánica.

Con base en el análisis de la historia eruptiva del volcán de Colima, se han determinado las probabilidades de ocurrencia para actividad tipo Merapi, Soufriere, Pliniana, y colapso del edificio volcánico, así como la ocurrencia de una nueva crisis volcánica sin considerar el tipo de actividad asociada. La tabla 9 muestra el resumen de las probabliidades calculadas. Es importante insistir en que para flujos de escombros (lahares) no es posible calcular una probabilidad de recurrencia ya que están estrechamente asociados al emplazamiento de flujos piroclásticos por lo que su probabilidad de ocurrencia es igual o mayor a la que se considera para los flujos piroclásticos antes mencionados.

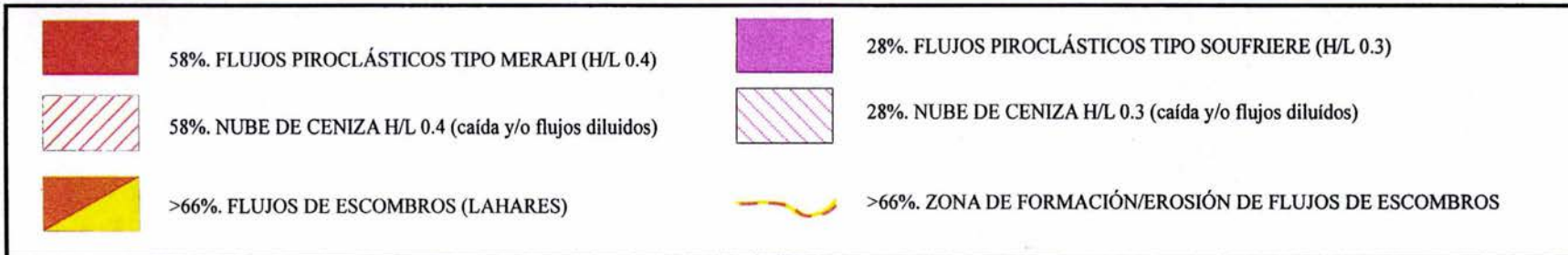
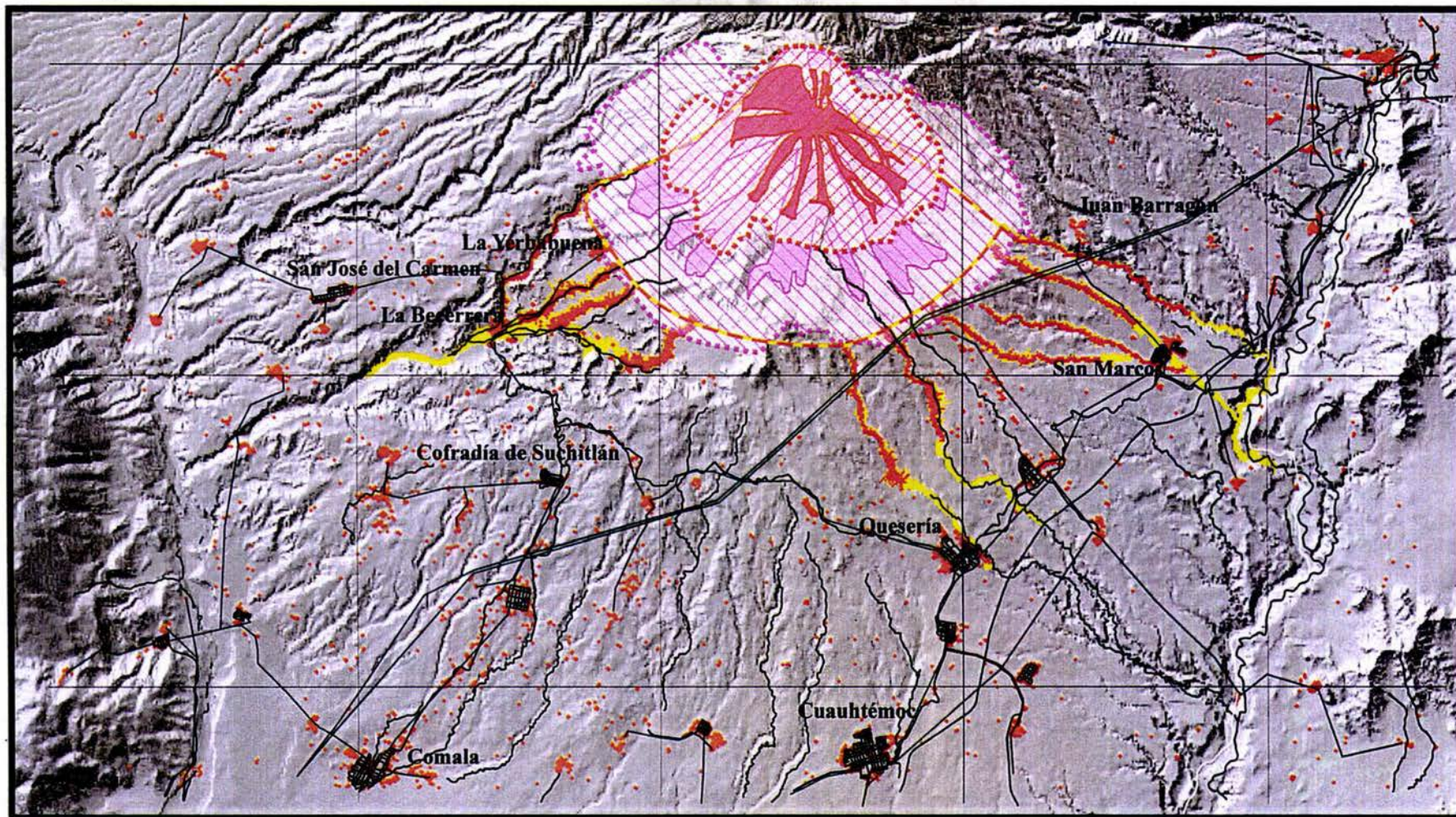
De la misma manera, para la actividad tipo pliniana la recurrencia propuesta ya por otros autores es de 100 años.

Tabla 9 Probabilidad de ocurrencia de tipos de actividad eruptiva y eventos peligrosos en el Volcán de Colima.

Tipo de actividad	Intervalo de tiempo		
	1 AÑO	10 AÑOS	100 AÑOS
MERAPI	33%		
SOUFRIERE	28%		
COLAPSO DE FLANCO O SECTORIAL			4%
PLINIANA	1%	10%	100%
LAHAR	66-100%		
CRISIS	-	35%	

Con base en estas probabilidades se pueden generar mapas en donde se indiquen límites entre áreas de distinta probabilidad de ser afectadas por algún fenómeno volcánico. En la figura 33 se propone un mapa con probabilidades de ocurrencia en un intervalo de tiempo de un año. En este mapa ya no se distingue por indicar alto-mediano-bajo peligro ni por estilo eruptivo. Solamente se indican las probabilidades de que, por ejemplo, ya sea un flujo piroclástico, o un flujo de escombros, o una avalancha, pueda afectar el área indicada. La probabilidad reportada se ha calculado sumando la probabilidad de cada peligro que coincida en la misma área. Por ejemplo, la zona de afectación por eventos con H/L 0.4 tiene una probabilidad total de 66% (Merapi+Soufriere+Colapso de flanco o sectorial+Pliniana) de que un flujo piroclástico o avalancha de escombros pase por esa área.

Figura 33. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA EN UN PERIODO DE 1 AÑO



De esta manera, un periodo en el que se comenzaran a registrar precursores eruptivos, entonces habría un 33% de probabilidad de que ocurriera una actividad tipo Merapi, un 25% de que fuera Soufriere y un 40% de que no ocurriera la erupción.

La figura 33 muestra el mapa de probabilidad para un periodo de tiempo de 1 año. El mapa indica que solamente los flujos de escombros podrían representar una amenaza seria para algunas poblaciones, incluyendo La Becerrera, Quesería y San Marcos, mientras que solamente algunas comunidades como Causentla y La Yerbabuena podrían estar afectadas por lluvia de ceniza asociadas a flujos piroclásticos diluidos, efecto que no necesariamente implicaría la evacuación.

El mapa de probabilidad no incluye eventos tipo Soufriere grandes (H/L 0.24) así como tipo Pliniano debido a su recurrencia regular de aproximadamente 100 años. En el caso de que los precursores indicaran la posible ocurrencia de un evento con estas magnitudes, para poder evaluar el posible riesgo, es necesario hacer referencia a los mapas de las figuras 27 y 30.

4.3.2 Propuestas de acciones a realizar por las autoridades del SEPROC y/o Comité Técnico Científico Asesor del Volcán de Colima para mejorar la gestión del riesgo volcánico en las comunidades más amenazadas.

Se sugiere que se aprovechen las estructuras sociales de las comunidades para mejorar la coordinación, permitiendo la participación activa de la comunidades en las actividades de mitigación del riesgo. Se ha demostrado y se puede aprovechar la capacidad de respuesta de la población ante condiciones de peligro impredecibles o súbitas (como los lahares), lo cual es particularmente importante si se considera que en esos casos los grupos de auxilio oficiales tardarían en llegar a la comunidad por lo menos 30 minutos.

Poner más atención a los niveles de aceptación del riesgo de la población en el proceso de toma de decisión. Considerar en el proceso de toma de decisión la evaluación del riesgo ante falsas alarmas por parte de las comunidades bajo mayor peligro

Es necesario replantear las funciones del Ejército durante periodos de crisis.

Continuar con programas de comunicación del riesgo (información a la población), en los que exista una comunicación bidireccional entre las autoridades y las comunidades.

Exhortar, estimular o integrar en los planes de contingencia las investigaciones científicas sociales relacionadas con el riesgo volcánico y su gestión.

V. CONCLUSIONES

Con base en simulaciones de escenarios eruptivos se construyeron nuevos mapas de peligro para el Volcán de Colima. Los mapas de peligro de avalanchas de escombros, flujos de bloques y ceniza tipo Merapi y Soufriere, así como flujos piroclásticos por colapso de columna pliniana presentan semejanza con los mapas presentados por Saucedo et al. (2004) y Navarro y Cortés (2003). La diferencia principal consistió en el valor del parámetro H/L utilizado para las simulaciones de flujos piroclásticos, los cuales difieren en gran medida con los usados por Saucedo et al. (2004). En este trabajo se mantuvieron los valores obtenidos de la observación directa de los alcances de los flujos piroclásticos, mientras que Saucedo et al. (2004) modificaron ese valor hasta en 0.1 de diferencia para poder utilizar el parámetro de viscosidad.

El mapa de peligro por flujos de escombros representa la contribución más importante de este trabajo debido a que hasta la fecha, los mapas anteriores inferían los barrancos más susceptibles a este tipo de fenómeno y lo relacionaban con los depósitos existentes. Por el contrario, en este trabajo se determinaron límites de inundación de la red hidrológica del volcán, con simulaciones hechas con LAHARZ.

Las simulaciones hechas con FLOW3D y LAHARZ permitieron obtener un mayor detalle en la zonificación. Sin embargo, en muchas ocasiones no se pudieron reproducir las mismas trayectorias observadas en campo. Esto se debe a que la topografía del volcán está sujeta a una modificación continua por el emplazamiento de materiales en las barrancas. Un ejemplo claro es la trayectoria de los flujos de escombros en la barranca El Zarco, ya que utilizando la topografía de INEGI del 1995 los flujos llegarían hasta La Yerbabuena, por el contrario, observando la imagen de satélite, es claro que el drenaje fluye directamente hacia La Becerrera. Para resolver este problema se tuvo que modificar la topografía digital.

Con base en la reconstrucción de la historia eruptiva del volcán a partir de 1519, se pudo determinar la probabilidad de recurrencia de: actividad tipo Merapi, Soufriere y colapso de edificio. Sin embargo, esto no fue posible para las erupciones plinianas y flujos de escombros, dado que no siguen una distribución poissoniana. En particular, la actividad tipo Pliniana (normalmente asociada a actividad tipo Soufriere con H/L 0.24) tiene una recurrencia de 100 años, mientras que la formación de flujos de escombros es prácticamente periódica y coincide con la temporada de lluvias.

Se propuso un mapa final de peligros del volcán de Colima, constituido de cuatro mapas individuales de 1) flujos piroclásticos y avalanchas de escombros, 2) flujos de escombros, 3) caída de ceniza y 4) probabilidad.

Dicho mapa indica que en caso de actividad tipo Merapi o Soufriere pequeña solamente algunas comunidades estarían afectadas por leves caídas de ceniza por lo que quizá las autoridades no requerirían ordenar una evacuación, ya que esta clase de evento solamente traería problemas entre la población tales como la irritación a vías respiratorias.

En caso de que ocurriera una actividad de tipo pliniana entonces el área de afectación sería mucho mayor, alcanzando comunidades como La Becerrera Montitlán, Quesería, Tonila y San Marcos.

El aspecto más importante por considerar es el poder de inundación de los lahares que se podrían formar ya sea durante una etapa eruptiva o no. Este aspecto es muy importante ya que los lahares, como se ha observado en otros volcanes del mundo, representan una amenaza latente, sobretodo en periodos de lluvias abundantes. Según el mapa presentado en este trabajo, muchas poblaciones serían afectadas por este tipo de fenómeno. Sin embargo, considerando la topografía actual, La Yerbabuena está incluida en una zona que no es afectada, todo lo contrario de mapas anteriores.

Es recomendable que las autoridades de protección civil del estado de Colima implementen programas de comunicación del riesgo para establecer nuevos vínculos

con la población. De igual manera se recomienda tomar en cuenta los resultados de investigaciones sociales relacionadas con la gestión o percepción del riesgo.

Los datos nuevos que pueda aportar este trabajo a la zonificación y estimación probabilística de los peligros del Volcán de Colima podrán ser considerados en la próxima actualización del Mapa de Peligros del Volcán de Colima oficial del Estado de Colima. Entre los investigadores dedicados a la elaboración de mapas de riesgo y peligro, existe una opinión consensada en el sentido de que este tipo de mapas deberían ser actualizados constantemente, de ser posible cada 5 años. Esto se debe a que en dicho lapso pueden existir avances importantes en las investigaciones realizadas sobre las denominadas amenazas y sobre la dinámica social. En gran medida, la periodicidad de dichas actualizaciones se ve influida por las políticas oficiales de ordenamiento territorial, ya que la elaboración de la cartografía y datos geográficos base para la elaboración de los mapas de amenaza o riesgo condicionan fuertemente las actualizaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Barberi, F., Villari L., 1994. Volcano monitoring and civil protection problems during the 1991-1993 Etna eruption. *Acta Vulcanologica*, Vol. 4, p. 157-175
- Beget, J.E., Kienle, J. 1992. Cyclic formation of debris avalanche at Mount St. Augustine, Alaska. *Nature*, Vol. 356, p. 701-704.
- BGVN, 1992. Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C. 17:06
<http://www.volcano.si.edu/world/region14/mexico/colima/var.htm>
- BGVN, 1993. Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C. 18:08
<http://www.volcano.si.edu/world/region14/mexico/colima/var.htm>
- BGVN, 1994. Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C. 19:06
<http://www.volcano.si.edu/world/region14/mexico/colima/var.htm>
- BGVN, 2002. Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C. 26:04
<http://www.volcano.si.edu/world/region14/mexico/colima/var.htm>
- BGVN, 2002. Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C. 27:02
<http://www.volcano.si.edu/world/region14/mexico/colima/var.htm>
- BGVN, 2002. Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C. 27:05
<http://www.volcano.si.edu/world/region14/mexico/colima/var.htm>
- BGVN, 2002. Bulletin of the Global Volcanism Network, Smithsonian Institution, Washington D.C. 27:11
<http://www.volcano.si.edu/world/region14/mexico/colima/var.htm>
- Blong, R. J., 1984. "Volcanic hazards: a sourcebook on the effects of eruptions". Academic Press, Orlando.
- Blong, R.J., 1996. Volcanic hazards risk assessment. In *Monitoring and mitigation of volcano hazards* (R. Scarpa and R.I. Tilling, eds.) Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. p. 675-698
- Bretón González M., Ramírez J.J., Navarro C., 2002. Summary of the historical eruptive activity of Volcán de Colima, México 1519-2000. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 117, p. 21-46
- Bretón González M., Ramírez-Ruiz J.J., Domínguez-Reyes T., 2003. Comparación de los procesos eruptivos 1998-2000 y 2001-2003. *GEOS* Vol. 23, No. 2. Resúmenes de la Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana, Puerto Vallarta, Jal.
- Boudon, G., Camus, G., Lajoie, J., 1993. The 1984 nuée-ardente deposits of Merapi volcano, Central Java, Indonesia: stratigraphy, textural characteristics, and transport mechanisms. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 55:327-342.
- Calderón Aragón G., 2001. *Construcción y reconstrucción del desastre*. Ed. Plaza y Valdés, México, D.F., 501 pp.
- Capra, L., Macías J.L., 2002. The cohesive Naranjo debris flow-deposit

- (10 km³). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 117. p.213-235.
- Carey S., Sparks R.S.J., 1986. Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. *Bull. Volcanol.* 48:109-125.
- Cas and Wright 1988. *Volcanic Successions, Modern and Ancient*. London. 528 p.
- Ceballos Magaña G.E. y Gavilanes J.C., 1998. 1996-1999: Tres años de trabajo geosocial en las comunidades en riesgo del Volcán de Colima. Séptima Reunión Internacional Volcán de Colima, Enero. p. 97
- Cortés Cortés, A., 2002. Depósitos de avalancha y flujos de escombros originados hace 3,600 años por el colapso del sector suroeste del Volcán de Colima. Tesis de maestría. Instituto de Geofísica, UNAM, 121 pp.
- Cortés Cortés A., Navarro Ochoa C. 2003. Amenazas de lahares en las zonas SE, S y SW del Volcán de Colima, durante la presente temporada de lluvias. Resumen. Unión Geofísica Mexicana. Noviembre de 2003, Pto. Vallarta, Jal.
- Crandell D.F., Booth B., Kazamadinata K., Shimuzuru D., Walker G.P.L., Westercamp D., 1984. "Source-book for volcanic-hazards zonation." UNESCO, 99 pp.
- Crandell D.R., Mullineaux D.R, 1973. Pine Creek volcanic assemblage at Mount St. Helens, Washington, U.S. Geological Survey Bulletin 1383-A, 23 pp
- Costa, J.E., 1987. Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flow. In: V.R. Baker, R.C. Kochel and P.C. Patton (Editors), *Flood Geomorphology*. John Wiley & Sons, New York, pp. 113-122.
- Cuevas M., Alicia y Ceballos M. Gloria Esther, 2001. Información a las comunidades. La clave en la mitigación del riesgo volcánico, p. 237-250. En Macías Medrano Jesús Manuel, 2001 (comp.), *Reubicación de comunidades humanas, entre la producción y la reducción de desastres*. Universidad de Colima, 280 pp.
- Cuevas Muñoz A., 2001. El riesgo volcánico como objeto de representación social. El Colegio de Michoacán, A.C. Centro de Estudios Rurales. Tesis de maestría. 102 pp.
- Cuevas-Muñoz A., 2004. The resettlement of La Yerbabuena, Colima-The other side of the coin. *Neogene-Quaternary Continental Margin Volcanism-Proceedings of the GSA Penrose Conference at Metepec, Puebla, Mexico*. Aguirre-Diaz, G.J.; Macías Vázquez, J.L. and Siebe, C., Eds. P.12.
- De la Cruz-Reyna S., Meli P. R., Quaas W. R., 2000. Volcanic crises management. In "Enciclopedia of Volcanoes", p. 1199-1213.
- Dynes, Russell R. 1999. La planificación de emergencias en comunidades: Falsos supuestos y analogías inapropiadas. Cuadernos de Extensión, No. 2, CUPREDER, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, p. 1-29
- El Comentario, Carlos Arévalo, 22 de agosto de 2002.
- Fisher, R.V., Heiken, Grant, 1982. Mount Pelée, Martinique: May 8 and 20, 1902, pyroclastic flows and surges. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 12, p 339-371.

- Galindo Estrada, I., Elizalde Torres, A., Solano Barajas, R., and Cruz Calvario, M., 1998. "Climatología del Volcán de Fuego de Colima." Universidad de Colima, Colima, Col. (Mexico).
- Gavilanes Ruiz J.C., Saucedo Girón R., Cortés Cortés A., Navarro O. Carlos, Ramírez Ruiz J.J., Komorowski J-C. 1996. La actividad freática del 21 de julio de 1994 en el Volcán de Fuego de Colima. Quinta Reunión Internacional Volcán de Colima. Colima 2pp.
- Gavilanes J.C., Cortés A., 1999. Las señales previas y el desarrollo de la erupción. El Volcán de Colima de 1998 a 1999. Revista Tierra Adentro. CONACULTA, núm. 98, Junio-Julio, p. 17-21. ISSN 0185-0938.
- Gavilanes-Ruiz, J.C., Cuevas-Muñiz A., Saucedo-Girón R., Medina-Valdovinos A., Ceballos-Magaña G.E., Ceja-Barreda E., Cortés-Cortés A., Ursúa-Quiroz M., Velasco-Villa J., Hernández-Rodríguez A., Pinto G., Paz A., 1998. Colima Volcano: risk education and possible implications for a plinian scenario. Sexta Reunión Internacional Volcán de Colima, Enero.
- Gavilanes-Ruiz J.C., Cortés-Cortés A., 2000. Aspectos morfoestructurales de la cima del Volcán de Colima antes y durante el proceso eruptivo de 1998-2000. Colima Volcano Seventh International Meeting, Abstr., p. 88.
- Gavilanes-Ruiz, J.C., 2000. The 1998-2000 eruptive episode of Volcán de Colima, México: Relationships between activity patterns and the management of the situation, including the social response. IAVCEI General Assembly 2000, Abstr., p. 175.
- Gavilanes Ruiz J.C., Varley N., 2002. Observaciones del domo del Volcán de Colima 2001-2002: un modelo de la erupción efusiva. GEOS, V. 22, No. 2. III Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra. Pto. Vallarta, Jal., p. 392
- Gavilanes-Ruiz J.C., 2004. Volcanic risk management and its social response at Volcán de Colima, México, 1999-2003. Neogene-Quaternary Continental Margin Volcanism-Proceedings of the GSA Penrose Conference at Metepec, Puebla, Mexico. Aguirre-Diaz, G.J.; Macías Vázquez, J.L. and Siebe, C., Eds. P.23.
- Hewitt, Kenneth, 1993: en Lewis, 1999, Development in disaster-prone places. Studies of vulnerability. Intermediate Technology Publications Ltd., 174 pp. 398
- Hewitt, K., 1983. The idea of calamity in a technocratic age. En K. Hewitt (Ed.) Interpretation of Calamity, Allen and Unwin Inc., Londres
- Janda R.J., Daag A.S., Delos Reyes P., Newhall C.H., Pierson T.C., Punongbayan R.S., Rodolfo K. S., Solidum R.U., Umbal J.V. (1996) Assessment and response to lahar hazard around Mount Pinatubo, 1991 to 1993, p. 107-139. En Fire and Mud. Eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Phillippines, C. Newhall and R. Punongbayan (Eds.).
- Komorowski J.C., Navarro C., Cortés A., Saucedo R., Gavilanes J.C., Siebe C., Espíndola J.M., Rodríguez S., 1997. The Colima Volcanic Complex: Quaternary Multiple Debris Avalanche Deposits and Historical Pyroclastic Sequences (1913, 1991, 1994). IAVCEI 1997, #3 Excursion Guide, 42 pp.
- Kover, T.P., 1995. Application of a digital terrain model for the modeling of volcanic flows: a tool for volcaniz hazard determinations, MSc Thesis, State University of New York at Buffalo, 62 pp.

- La Jornada, 6 de febrero de 2002. "Inician evacuaciones por temor al volcán de Colima".
- Lipman P.T., Moore J.G., Swanson D.A., 1981. Bulging of the north flank before the May 18 eruption-Geodetic data. En Lipman P.W. y Mullineaux (Eds.) The 1980 eruptions of Mount St. Helens, Washington. USGS Professional paper 1250. P. 143- 155.
- Lugo Hubp J., Martin del Pozzo A.L., Vázquez Selem L., 1993. Estudio geomorfológico del complejo volcánico de Colima. Geofísica Internacional. Vol. 32, Núm. 4, pp. 633-641
- McEwen A., Malin M.C., 1989. Dynamics of Mount St. Helens' 1980 pyroclastic flows, rockslide-avalanche, lahars, and blast. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 37:205-231.
- Macías Medrano Jesús Manuel, 1999. Desastres y protección civil. Problemas sociales, políticos y organizacionales. CIESAS, 101 pp.
- Macías Medrano Jesús Manuel (comp.), 1999b. Legislar para reducir desastres. CIESAS, 103 pp.
- Macías Medrano Jesús Manuel, 2001. La reubicación del riesgo. En Macías (Comp.) "Reubicación de comunidades humanas, entre la producción y la reducción de desastres". Universidad de Colima, p. 25-46.
- Macías J.M., Gavilanes J.C., Fernández A., Cuevas A., Ceballos E., Cortés A., Torres V., Villanueva M., Mora A., López A., Tovar C. 1999. "Riesgo volcánico y evacuación como respuesta social en el Volcán de Fuego de Colima. Noviembre de 1998". Universidad de Colima- Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, 87 pp.
- Maskrey, A. (Ed.) 1988. Navegando entre brumas: la aplicación de los sistemas de información geográfica en el análisis del riesgo en América Latina. La Red, Colombia, 334 pp.
- Martin Del Pozzo, A.L., Sheridan M., Barrera D., Lugo Hubp J., Vázquez Selem L., 1995. Potential hazards from Colima volcano, México. Geofísica Internacional. Vol. 34, núm. 4, pp. 363-376
- Medina-Martínez F., 1983. Analysis of the eruptive history of the Volcan de Colima, Mexico (1560-1980). Geofísica Internacional, 22, 157-178.
- Morrisey M.M., Mastin G.L. Vulcanian eruptions, p. 463-475. En Sigurdsson H. (Ed.), 2000., Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, 1417 pp.
- Mileti, D. y Sorensen J.H., 1989. La eficacia de los sistemas de alerta en América Latina. En: Desastres. programa de Cooperación Internacional en Salud mental. "Simón Bolívar", México. Serie Monografías Clínicas, núm 2.
- Navarro-Ochoa C., Gavilanes-Ruiz J.C., Cortés-Cortés A., 2002. Movement and emplacement of lava flows at Volcán de Colima, México: November 1998-February 1999. Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 117, p. 155-168
- Navarro Ochoa C., Cortés Cortés A , 2003. Mapa de Peligros Volcán de Fuego de Colima. Universidad de Colima-Gobierno del Estado de Colima. http://www.ucol.mx/volcan/mapa_de_p.html
- Navarro Ochoa Carlos, 2002. Proceso efusivo del Volcán de Colima: octubre 2001-agosto 2002. GEOS, V. 22, No. 2. III Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra. Pto. Vallarta, Jal., p. 389

- Newhall C. and Pyongbayang R., (1992). Fire and Mud. Eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines. University of Washington Press, pp.1117.
- Newhall, Christopher G., Hoblitt, Richard P., 2000. Probability trees for volcanic crises. Colima Volcano Seventh International Meeting, Colima, Col. Mexico, Abstr., p. 19.
- Newhall, C.G., Punongbayan R.S., 1996. The narrow margin of successful volcanic-risk mitigation. In Monitoring and mitigation of volcano hazards (R. Scarpa and R.I. Tilling, eds.) Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. p. 807-838
- Newhall C., Self S. 1982. The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *J. Geophys. Res.* 87:1231-1238
- Núñez-Cornú F.J., Reyes-Dávila G.A., Suárez-Plascencia C., 2002. The 1998-2002 eruptive process of Volcán de Fuego (México). Mount Pelée 1902-2002 Coloque International. Volcanisme explosif en zones de subduction. Programme et résumés. Ile de la Martinique 12-16 Mai 2002. P. 86.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 1987. Manejo de Emergencias Volcánicas.
- Peterson, D.W., 1996. Mitigation measures and preparedness plans for volcanic emergencies. In Monitoring and mitigation of volcano hazards (R. Scarpa and R.I. Tilling, eds.) Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. p. 701-718
- Quarantelli, E. L., 1989. Human behavior in the Mexico city Earthquake: Some implications from basic themes in survey findings. Newark, DE: Disaster Research Center, University of Delaware.
- Reyes-Dávila G., De la Cruz-Reyna S., 2002. Experience in the short-term forecasting at Volcán de Colima, México, and public response to forecasts. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 117., p.121-128.
- Punongbayan R., Newhall C., Bautista M.L., Garcia D., Harlow D., Hoblitt R., Sabit J., Solidum R., (1996) Eruption Hazards assessments and warnings. En Fire and Mud. Eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Phillipines, C. Newhall and R. Punongbayan (Eds.).
- Robin C., Mossand P., Camus G., Cantagrel J-M, Gorgaud A., Vincent P.M., 1987. Eruptive history of the Colima volcanic complex (Mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 31: 99-113.
- Robin C., Camus G, Gorgaud A. 1991. Eruptive cycles at Fuego de Colima volcano (Mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 45: 209-225.
- Rodríguez-Elizarrarás, S.R., Siebe, C., Komorowski, J.C., Espíndola, J.M., Saucedo, R., 1991. Field observations of pristine block-and-ash-flow deposits emplaced April 16-17, 1991 at Volcán de Colima, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48: 399-412.
- Saucedo Girón, R., Cortés Cortés, A., Gavilanes Ruiz., J.C., Ramírez Ruiz., JJ., Navarro Ochoa, C., Cuevas Muñiz, A. (1995). Síntesis de la actividad del Volcán de Fuego de Colima de julio de 1994 a marzo de 1995. Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima, Sistema Estatal de Protección Civil de Colima. Informe interno, 25 pp.
- Saucedo Girón R., 1997. Reconstrucción de la erupción de 1913 del Volcán

- de Colima. Tesis de Maestría. Instituto de Geofísica, UNAM, 185 p.
- Saucedo Girón R. y Macías Vázquez J.L. 1999. La historia del Volcán de Colima. *Revista Tierra Adentro. CONACULTA.* No. 98, p. 8-14. ISSN 0185-0938.
- Saucedo R., Macías J.L., Bursik M.I., Mora J.C., Gavilanes J.C., Cortés A., 2002, Emplacement of pyroclastic flows during the 1998-1999 eruption of Volcán de Colima. México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 117, p. 129-154.
- Saucedo, R., Macías, J.L., Sheridan, M.F., Bursik, M.I., Komorowski, J.C., 2004. Modeling of pyroclastic flows of Colima Volcano, México: implications for hazard assessment. Aceptado en el *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. p. 1-28, impresión en 2004.
- Saucedo, R., Macías, J.L., Bursik, M.I., 2003. Pyroclastic flow deposits of the 1991 eruption of Volcán de Colima, México. Aceptado en el *Bulletin of Volcanology*.
- Sheridan M., and Macías J.L., 1995. Estimation of risk probability for gravity-driven pyroclastic flows at Volcan Colima, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 66: 251-256
- Sheridan, M.F., Malin, M.C., 1983. Application of computer-assisted mapping to volcanic hazard evaluation of surge eruptions: Vulcano, Lipari, and Vesuvius. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17:187-202.
- Shimozuru, D. 1996. Volcanic emergency management in Japan: Case histories of Izu-Oshima and Unzen. In *Monitoring and mitigation of volcano hazards* (R. Scarpa and R.I. Tilling, eds.) Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. p. 787-811.
- Sistema Estatal de Protección Civil de Colima (1989). *Plan Operativo Volcán de Colima*, 104 pp.
- Sistema Estatal de Protección Civil de Colima (Elaborado en 2001-2002). *Manual de Procedimientos Operativos en Caso de Emergencia*. En revisión por las autoridades estatales.
- Suárez Plascencia C., Núñez Cornú F., Reyes Dávila Gabriel, 2002. Volcán de Fuego (El Colima), proceso eruptivo 1999-2002. Áreas de exclusión y amortiguamiento para eventos explosivos tipo 10 de febrero VEI 2-3. Universidad de Guadalajara-Universidad de Colima. <http://148.213.24.15/Docs/>
- Suárez Plascencia C., Núñez Cornú F., Reyes Dávila G., 2002. Mapa de vulnerabilidad a lahares en el Volcán de Fuego (El Colima). Universidad de Guadalajara-Universidad de Colima. <http://148.213.24.15/Docs/>
- Suárez-Plascencia C., Núñez-Cornú F.J., Reyes-Dávila G.A., 2002. Actividad del Volcán Colima. Octubre del 2001-mayo del 2002. *GEOS*, V. 22, No. 2. III Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra. Pto. Vallarta, Jal., p. 390
- Taran Y., Gavilanes J.C., Cortés A., Armienta M.A., 2000. Chemical precursors to the 1998-1999 eruption of Colima volcano, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 17, Núm 2, p. 112-126
- Taran Y., Gavilanes J.C., Cortés A. 2002. Chemical and isotopic composition of fumarolic gases and the SO₂ flux from Volcán de Colima, México, between the 1994 and 1998 eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 117, p. 105-120















- Tayag J., Insauriga S., Ringor A., Belo M., 1996. People's response to eruption warning: The Pinatubo experience, 1991-1992, p. 87-99. En Fire and Mud. Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Phillipines, C. Newhall and R. Punongbayan (Eds.)
- Tilling R. I., 1991, Peligros volcánicos: una perspectiva panamericana. Revista Geofísica, México, D.F.
- Tilling R.I., 1988, Los peligros volcánicos. USGS, 158 pp.
- Tilling, R.I. 2004. Reducing risk at continental-margin volcanoes. Neogene-Quaternary Continental Margin Volcanism. Preceedings of the GSA Penrose Conference at Metepec, Puebla, México. Aguirre-Díaz, G.J.; Macías-Vázquez J.L.; and Siebe, Claus, Eds., UNAM, Publicación especial 2. P. 126-133.
- Varley N., Gavilanes-Ruiz, J.C., 2002. Dome growth and explosivity during the 1999-2001 of Volcán de Colima, Mexico. Mount Pelée 1902-2002 Coloque International. Volcanisme explosif en zones de subduction. Programme et résumés. Ile de la Martinique 12-16 Mai 2002. P. 22.
- Varley N., Johnson J., Reyes G., Gavilanes-Ruiz J.C., 2004. Activity at Volcán de Colima 2001-2003 - Modelling its behaviour from an integrated data set. Neogene-Quaternary Continental Margin Volcanism. Proceedings of the GSA Penrose Conference at Metepec, Puebla, Mexico, p. 75.
- Vieira León, 2001. "Erupciones del Tungurahua 1999-2000". Ediciones Biblioteca León María Vieira, Guayaquil, Ecuador, 48 pp.
- Voight, B. 1996. The management of volcano emergencies: Nevado del Ruiz. In Monitoring and mitigation of volcano hazards (R. Scarpa and R.I. Tilling, eds.) Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg. p. 719-769
- Zobin, V.M., Luhr, J.F., Taran, Y.A., Bretón, M., Cortés, A., De la Cruz-Reyna, S., Domínguez, T., Galindo, I., Gavilanes, J.C., Muñiz, J.J., Navarro, C., Ramírez, J.J., Reyes, G.A., Ursúa, M., Velazco, J., Alatorre, E., Santiago, H., 2002. Overview of the 1997-2000 activity of Volcán de Colima, México. Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 117, 1-19.

ANEXO

LEYENDA

COMPLEJO VOLCÁNICO NEVADO DE COLIMA (CVN)	COMPLEJO VOLCÁNICO PALEOFUEGO (CVP)	VULCANISMO ALCALINO (VA)	CUENCAS FLUVIO-LACUSTRES
<p>Qcer Material de caída y epiclastitas de Cd. Guzmán</p> <p>CVR12 VI Lavas, Domos, depósitos de flujos piroclásticos y material de caída aérea</p> <p>CVN11</p> <p>CVN10 Depósitos de flujos piroclásticos y material de caída aérea</p> <p>CVN9 V Fm. Atenquique: Depósitos de lahares, fluviales, fluvioacustres en alternancia con flujos piroclásticos (Río Tuxpán)</p> <p>CVN8 Lavas, depósitos de flujos piroclásticos y material de caída aérea</p> <p>CVN7 Depósitos de avalancha de escombros volcánicos</p> <p>CVN6 IV Lavas, depósitos de flujos piroclásticos y material de caída aérea</p> <p>Fm. Atenquique: Depósitos de lahares, fluviales, fluvioacustres en alternancia con flujos piroclásticos (0.26, 0.39 Ma)</p> <p>CVN4 Depósitos de avalancha de escombros volcánicos</p> <p>CVN3 III Flujos de lavas, flujos piroclásticos y material de caída aérea</p> <p>CVN2 II b.- Lavas, flujos piroclásticos y material de caída aérea A.- Depósitos de lahares, epiclastitas</p> <p>CVN1 I b.- Lavas, flujos piroclásticos y material de caída aérea (0.53 Ma) A.- Depósitos de lahares, epiclastitas</p> <p>COMPLEJO DACTÍCO EL CÁNTARO</p> <p>Qcd Lavas, Flujos piroclásticos y material de caída aérea</p> <p>SECUENCIA VOLCÁNICA TERCIARIA</p> <p>Tgr Rocas ígneas extrusivas no diferenciadas de Cd. Guzmán y V. Carranza (10 Ma)</p> <p>ROCAS ÍGNEAS Y SEDIMENTARIAS DEL CRETÁCICO</p> <p>Riga Intrusivos ácidos: Cuarzomonzonitas, Dioritas y Granodioritas</p> <p>Kr Fm. Coquimatán: Lechos rojos (Conglomerados y Areniscas)</p> <p>Kp Fm. Tepames: Calizas masivas (Cenomaniano)</p> <p>KVII Fm. Encino: Areniscas, Lutitas y Limolitas (Aptiano Superior)</p> <p>KVI Fm. Tecalitlán: Secuencia volcano-sedimentario (Aptiano Temprano)</p>	<p>Qca A. Depósitos fluviales y lahares recientes b. Depósitos aluviales recientes</p> <p>CP9 Depósitos de flujos piroclásticos del Volcán de Colima no diferenciados</p> <p>CP6 B. Lavas andesíticas históricas del actual Volcán de Colima A. Lavas andesíticas prehistóricas del actual Volcán de Colima</p> <p>CVF7 Terrazas de lahares y fluvioalahares (Río Armería)</p> <p>PVP6 Depósitos de avalancha de escombros volcánicos (C¹⁴ 3,600 años)</p> <p>Flujos de ceniza y pómez y caída aérea (C¹⁴ de 17, 960 años)</p> <p>PVP5 Depósitos de avalancha de escombros volcánicos (C¹⁴ 7,040 años)</p> <p>VM Volcán Metate</p> <p>Depósitos de lahares y fluvioalahares sector S-SW (Río Armería)</p> <p>CVP3 Avalancha de escombros volcánicos del antiguo Paleofuego</p> <p>CVF2 Flujos piroclásticos del Paleofuego, B. Los Ganchos SW, (C¹⁴ 38, 400 años)</p> <p>CVF1 Lavas, flujos piroclásticos y material de caída aérea del antiguo Paleofuego</p>	<p>Basanitas y minettes: V. Apaxtepetl, Telcampana, Carpintero norte, Comal Grande y Comal Chico (21,500 a 22,000 años)</p> <p>Basanitas y minettes: V. La Erita, V. Carpintero Sur, V. Los Nufez y Qc: (104 a 118,000 años)</p> <p>Basanitas y minettes: V. San Isidro, V. Cuauhtémoc y C. Los Ototes (212 a 280,000 años)</p>	<p>CFL4 Depósitos lacustres (Río Armería-El Huacal) (C¹⁴ 7, 380 años)</p> <p>CFL3 Depósitos lacustres con restos de mamíferos (Zona Atenquique)</p> <p>CFL2 Depósitos de material lacustre (Río Armería)</p> <p>CFL1a B. Depósitos lacustres (Río Armería) a. Depósitos fluvioacustres, zona de Tollmán</p>

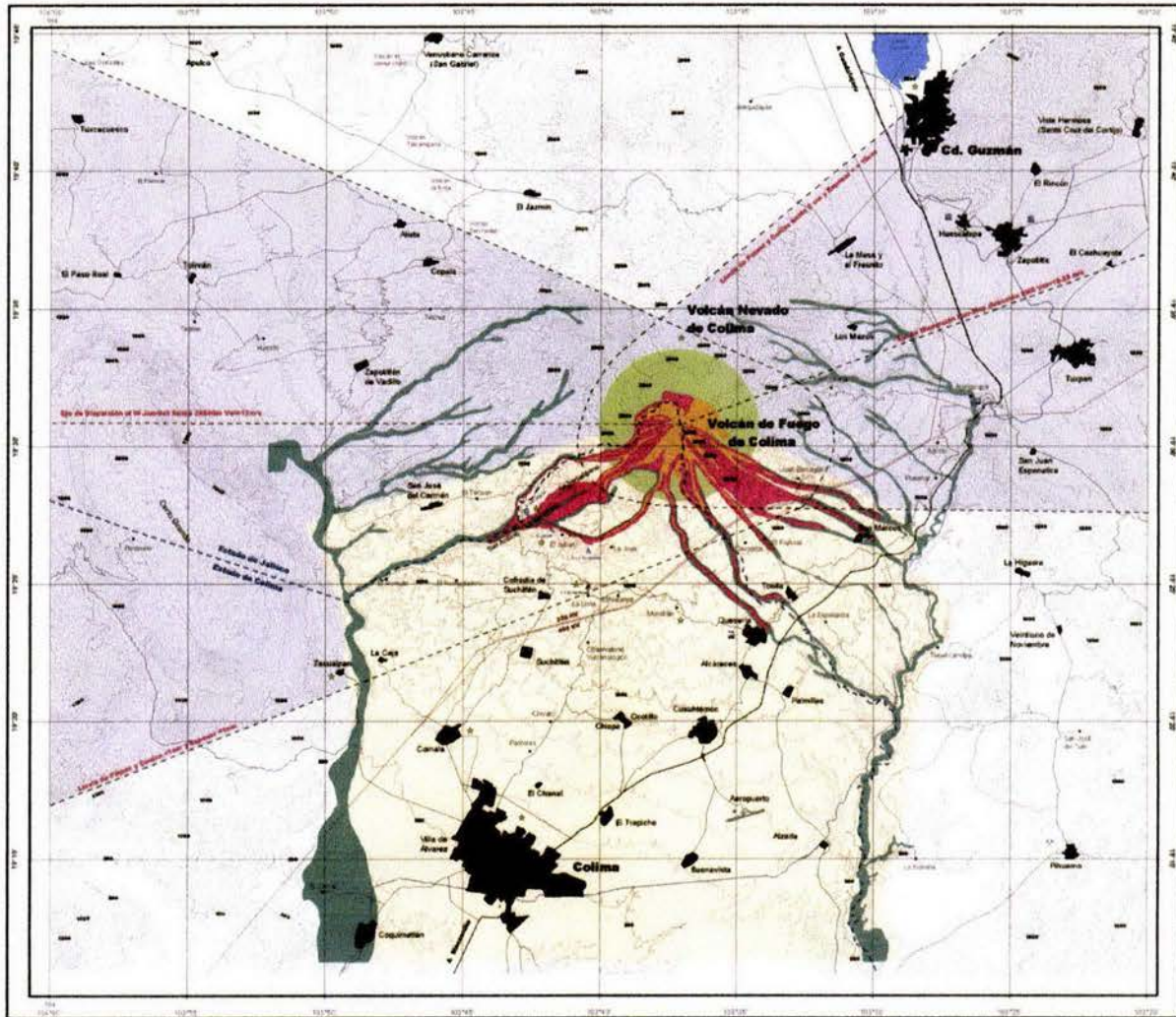
SIMBOLOGIA

-  Estructura caldérica de colapso lateral
-  Deslizamiento de masas gravitativo
-  Falla normal
-  Falla lateral
-  Fractura o límite tectónico
-  Contacto geológico
-  Contacto geológico inferido
-  Flujo de lava
-  Domo volcánico
-  Cono cinerítico o volcán monogenético
-  Fechamiento por K-Ar
-  Fechamiento por C¹⁴ dentro de avalancha de escombros volcánicos
-  Fechamiento por C¹⁴ dentro de depósito de flujos piroclásticos
-  Fechamiento por C¹⁴ dentro de horizonte de paleosuelo separando dos unidades de avalancha de escombros volcánicos

REFERENCIAS DE DATACIONES
Komorowski et al., (1993), Allen, J. F. (1984)
Robin et al., (1987) y Stoops et al., (1991)

Tomado de Cortés, 2002.

MAPA DE PELIGROS VOLCÁN DE FUEGO DE COLIMA



0 5 10 KM
Escala Gráfica

OBSERVACIONES SOBRE RANGO DE PELIGROSIDAD VOLCÁNICA

1) **FLUJOS PIROCLÁSTICOS:** Son una mezcla fluida y densa de rocas cenizas y gases con bajas a velocidades mayores a 100 km/h por las laderas de un volcán con altas temperaturas (7 a los 800°C). En un radio de 15 a 20 km al sur del volcán es el principal peligro volcánico. Históricamente presenta las erupciones de 1878, 1889 y 1915.

2) **LLUVIA O CAÍDA DE CENIZA Y POMEZ:** Son flujos de material fragmentado en erupciones explosivas siendo controladas por la dirección y velocidad del viento, cubriendo como un manto grandes extensiones de terreno. Históricamente con alturas de 30 a 50 km en dirección del viento, se han encontrado espesores de 10 m en un radio de 7 km. Se incluye en esta la lluvia o caída de productos por trayectoria ballística (fragmentos de roca hasta 50 cm de diámetro) con alcances máximos de 5 km.

3) **FLUJOS DE LODO O LAHARES:** Son avalanchas legendarias de lodo, rocas y agua que escurren por las laderas del volcán con velocidades cercanas a 50 km/h. Tienen la consistencia del concreto líquido y son disparados por lluvias torrenciales. En el momento de producirse más abundante en un radio de 15 a 20 km. En erupciones mayores, agua abajo puede afectar por inundación grandes extensiones.

4) **FLUJOS DE LAVA EN BLOQUES:** Son flujos de lava densa que recorren lentamente por las laderas del volcán con velocidades menores a 50 m/h. En los últimos 40 años los alcances máximos son de 3.5 km, mientras que los flujos prehistóricos presentan alcances de hasta 8 km a partir de la cima.

5) **AVANCHA DE ESCOMBROS VOLCÁNICOS:** Es el fenómeno más catastrófico que puede ocurrir en el volcán de Colima, consiste en un derrumbe parcial o total del volcán, cuyos depósitos de escombros cubren el valle norte de Colima con espesores mayores a 30 m. Se han reconocido al menos 3 depósitos de este tipo, con una recuperación de miles de años, fechándose la última con el método de C14 en 2,500 años antes del presente.

UNIVERSIDAD DE COLIMA
OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO

Responsables:
Geol. Carlos Navarro Cocho
M.C. Abel Cortes Cortes

Elaboración y Diseño:
M.C. José Armando Téllez Alatorre

Revisores:
Dr. Robert Tillig
Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS
Dr. Jean Christophe Komorovsky
Observatorio Vulcanológico de la Soufrière de Guadalupe Antillas Menores
Dr. Victor Hugo Gantúo Moroy
Universidad de San Nicolás de Hidalgo Michoacán

Este mapa se basa en trabajo de campo geológico durante 3 años con 525 puntos de verificación.
Cartografía Base: INEGI, E138-24, E138-25, E138-34, E138-35, E138-44, E138-45
Escala Base 1:50,000

ELIPSOIDE: GRS 80
PROYECCIÓN: TRANSVERSA DE MERCATOR
COORDENADA: LATITUD LONGITUD
AUTORIDAD: UNIVERSIDAD DE COLIMA
FUENTE: INEGI - OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO
IMPRESIÓN: ABRIL 2002

LEYENDA

Peligros con Índice de Explosividad Volcánica (VEI) 0 a 6

Nota: Se asume que la erupción tendrá lugar en o cerca del cráter activo actual

- Flujos Piroclásticos (Alcance Máx. 12 Km)
- Avalancha de Escombros Volcánicos (>30 Km)
- Flujos de Lava (hasta 6 km)
- Lahares y Zonas de Inundación (>12 Km)
- Bombas o Proyectiles Ballísticos (hasta 5 Km)
- Lluvia o Caída de Ceniza
- Asentamientos Humanos
- Lagunas
- Límite Estatal
- Via Ferrea

✕ Aeropuerto Nacional

✕ Aeropistas

— Carretera de Cuota

— Carreteras

— Terraceras

— Líneas de Alta Tensión

— Curvas de Nivel C/100m

— Minas de Hierro

— Industria Maderera

— Industria Azucarera

— Industria Cementera y Calera

— Zona Turística



OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO



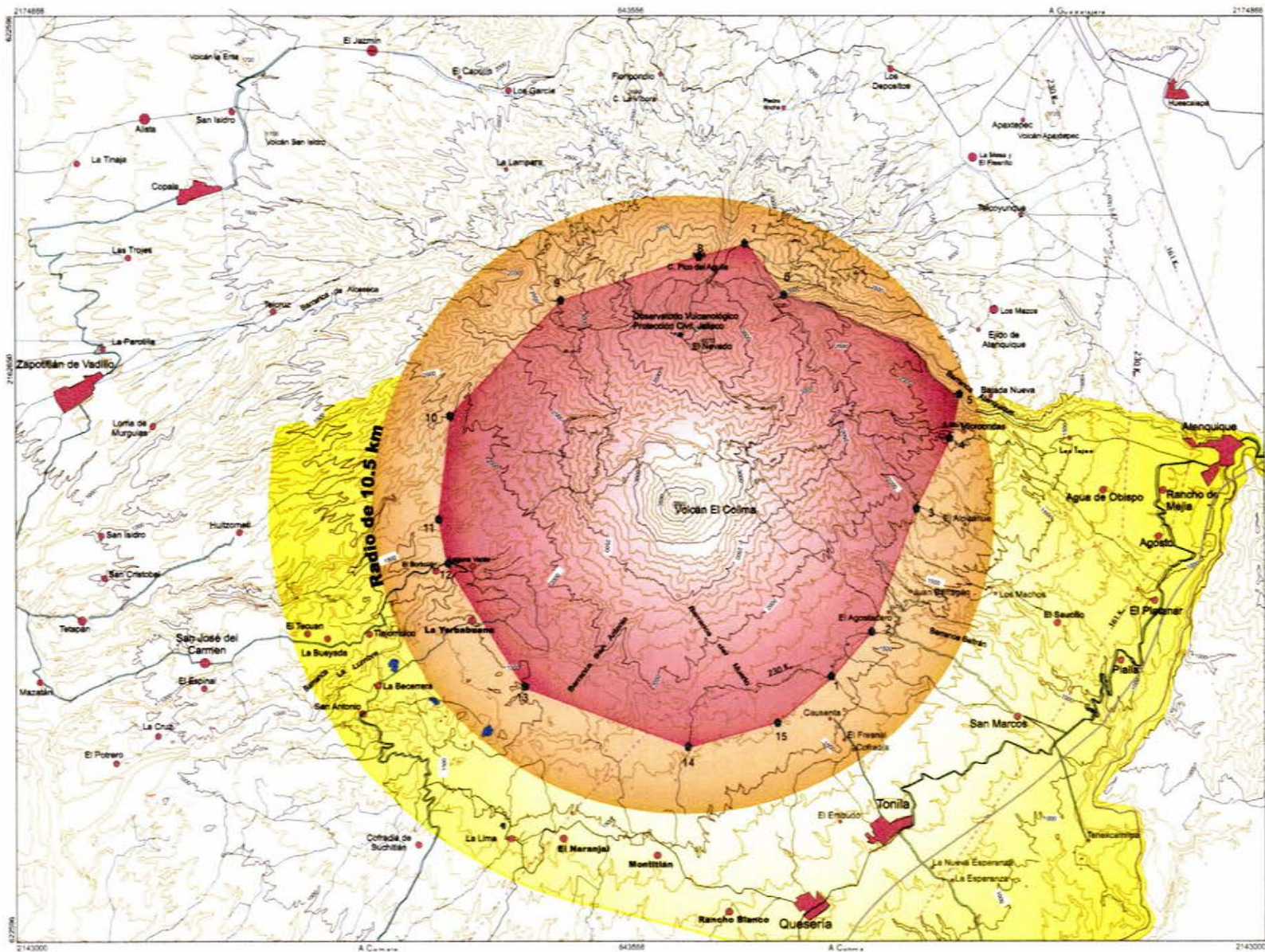
UNIVERSIDAD DE COLIMA



GOBIERNO DEL ESTADO DE COLIMA



PROTECCIÓN CIVIL COLIMA



Volcán de Fuego (El Colima)
Proceso eruptivo 1999-2002
Áreas de exclusión y amortiguamiento
para eventos explosivos tipo 10 de febrero
VEI 2 - 3

SIMBOLOGÍA

- Área de exclusión total a actividades económicas y asentamientos poblacionales debido a peligro de caída de rocas por eventos de tipo explosivo. Radio: radio de 8 km.
- Área de amortiguamiento en el que se puede habitar y desarrollar actividades económicas, manteniendo un estado de alerta. (a que dependa de la actividad explosiva que presente el volcán).
- Área de amortiguamiento expuesta a peligros por lavas y flujos piroclásticos en las barrancas. En esta zona se puede habitar y desarrollar actividades económicas normales bajo las condiciones actuales de actividad volcánica.

LEYENDA

- CARRETERAS
- AUTOPISTA
- BRECHAS
- ACUEDUCTO
- RUTAS DE EVACUACIÓN
- LOCALIDAD
- LÍNEA ELÉCTRICA
- TERRACERÍAS
- FERROCARRIL

COORDENADAS UTM DE LOS VÉRTICES DEL POLÍGONO DEL ÁREA DE EXCLUSIÓN TOTAL A LA POBLACIÓN Y ACTIVIDADES

N°	Coordenadas	Coordenadas
1	649.396.51	2 151.851.74
2	651.162.79	2 153.363.37
3	652.398.25	2 158.000.00
4	653.488.37	2 160.107.55
5	653.719.06	2 161.633.72

Continúa por el reverso de la Hoja de Anaqueles

6	648.088.23	2 164.952.20
7	646.671.51	2 166.633.72
8	645.000.00	2 166.488.37
9	640.000.00	2 164.871.51
10	636.598.83	2 160.761.62
11	636.235.46	2 157.360.46
12	636.744.18	2 155.034.88
13	639.142.44	2 151.779.07
14	644.767.44	2 149.869.53
15	647.616.27	2 150.543.60



Suárez-Piaseznica, C.*, Nuñez-Corti, F.* y Reyes-Dávila, G.**

Centro de Simulación y Vulcanología de Occidente
 Depto. Ciencias CUC, Depto. Geog. Ord. Terr. CUCSH
 Universidad de Guadalajara
 *INRECO, Universidad de Colima
 Unidad Estatal de Protección Civil Jalisco
 Unidad Estatal de Protección Civil Colima
 SIMPRELOS-PROCY 99038904



Mapa de Vulnerabilidad a Lahares en el Volcán de Fuego (El Colima)

Simbología		Rangos de Pendientes	
	CARRETERAS		0-5°
	AUTOPISTA		5-15°
	BRECHA		15-30°
	FERROCARRIL		30-45°
	LOCALIDAD		>45°

Leyenda

	Punto con Alta Vulnerabilidad a Lahares		Punto con Moderada Vulnerabilidad a Lahares
	Red de Barrancos del Nevado de Colima		
	Localidades Afectadas Directamente Atenquique El Platanar		Infraestructura Carretera Afectadas Directamente* Puentes Atenquique I y II El Platanar El Limón * Tanto en autopista como en Carretera Libre.
	Red de Barrancos del Volcán de Fuego (El Colima)		
	Área del sector sureste del volcán que presenta Alta Vulnerabilidad a Lahares debido a la concentración de materiales eruidos durante esta etapa eruptiva (1999 - 2002) y a que es la zona que presenta mayor precipitación pluvial		

Localidades Afectadas Directamente*

San Marcos	San José del Carmen	Causentia
Tonila	La Bueyada	El Fresnal
Queseria	Mazatan	El Agostadero
La Becerra	Tetapan	Juan Barragán
San Antonio	San Cristóbal	Los Machos
La Yerbabuena	San Isidro	El Saucillo
El Borbollón	Huitzomatl	El Apizahue
El Tecuan	Lomas de Murguía	

* A saber nombradas por distribución de los cenizas entre los barrancos.

Infraestructura Carretera

(autopista y carretera libre)	Puente La Becerra
Puente de Boltran	Puente La Lumbre
Puente Arenal	Paso del Arroyo el Huacal
Puente El Muerto	
Puente de la B. Montegrande	

Suárez-Plascencia, C.*; Núñez-Cornú, F.* y Reyes-Dávila, G.**



Centro de Ciencias y Volcanología de Occidente

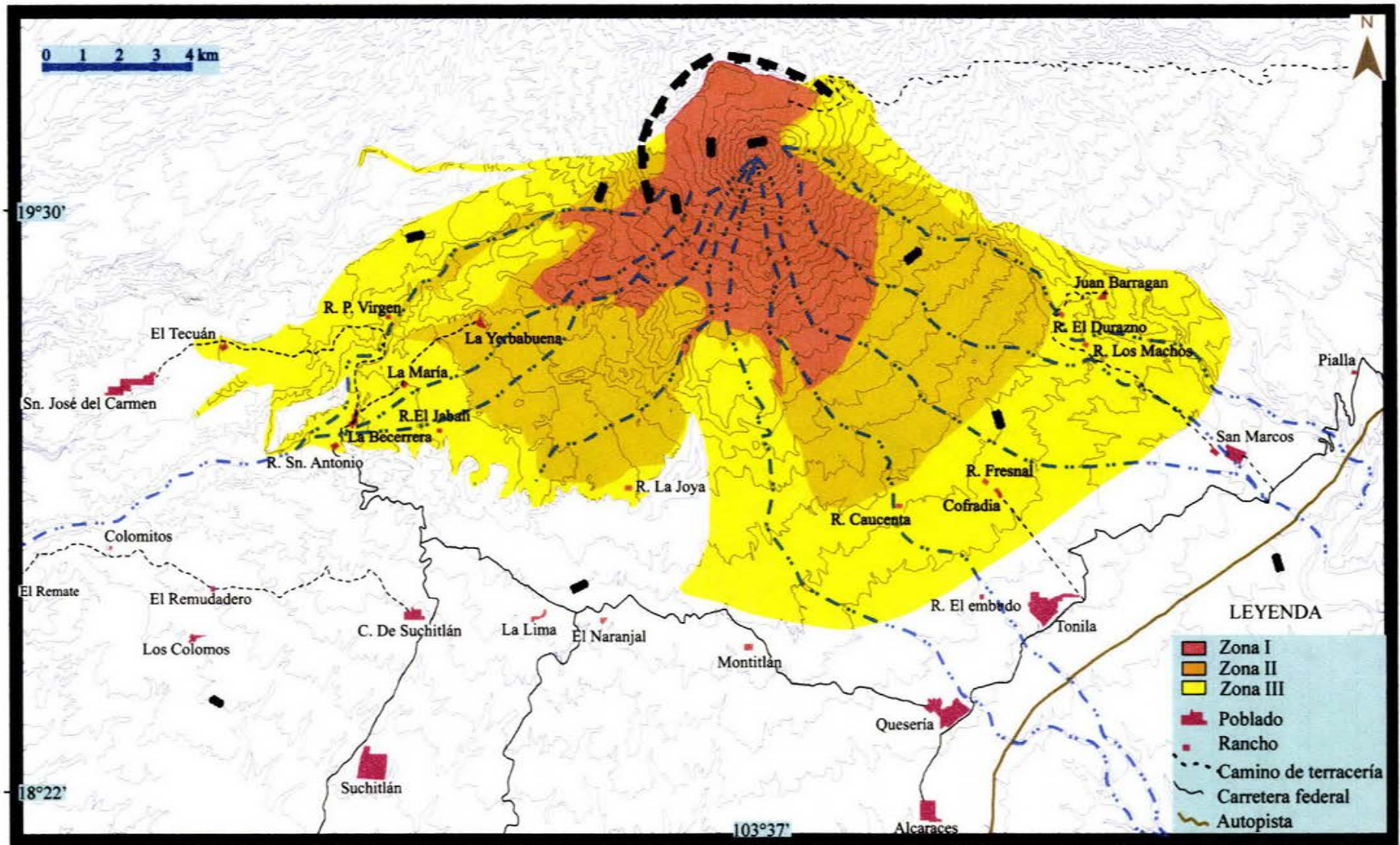
Depto. Ciencias CUC, Depto. Geog. Ord. Ter. CUCSH
*Universidad de Guadalajara

**RESCO, Universidad de Colima



Unidad Estatal de Protección Civil Jalisco
Unidad Estatal de Protección Civil Colima
SMORELOS-PRCV-99030804

Mapa de peligros para flujos piroclásticos del Volcán de Colima



Manual de Procedimientos Operativos en Caso de Emergencia. Sistema Estatal
de Protección Civil de Colima
(Apartado relativo a mitigación del riesgo volcánico)

Este apartado reproduce un documento facilitado por las autoridades referidas a mediados del año 2002, mismo que aún no está oficialmente concluido ni aprobado por el gobernador del estado.

Según los lineamientos de la UNESCO del riesgo volcánico, riesgo (entendido como variable estadística R) puede obtenerse de la siguiente expresión:

$$R = (P \times V \times S)/Q$$

Donde P es la probabilidad de ocurrencia de un evento volcánico potencialmente destructivo, V es la vulnerabilidad considerada como un a medida del grado en que los valores S podrían ser afectados, S es una medida de la población expuesta y del valor de los bienes de producción, muebles o inmuebles susceptibles de ser afectados y Q es una medida del grado de preparación de la población que hará que la variable R aumenta o disminuya ante la ocurrencia de una erupción volcánica.

La reducción óptima de la vulnerabilidad se logra por métodos de defensa activa que involucran un concepto de convivencia con el volcán bajo ciertas condiciones del riesgo "aceptable". Significa que la probabilidad de perjuicios a la población por efectos de evacuación o reubicación excede a la probabilidad de perjuicios a la misma, por efectos de cualquier manifestación volcánica. De la misma manera, debe existir una preparación, cuyo significado implica el diseño e implementación de una defensa activa de respuesta rápida y eficiente.

Defensa activa

El concepto de defensa activa contra la amenaza volcánica contiene tres elementos fundamentales y un protocolo de comunicaciones entre ellos, que se traducen en acciones específicas de salvaguarda a la población y sus bienes.

Los elementos involucrados son:

- a) La población, que por su ubicación se encuentra sujeta a distintas formas de amenaza volcánica, en la medida que lo determina el mapa de riesgos volcánicos.
- b) Las autoridades federales, estatales, municipales, locales y militares, responsables de salvaguardar a la población del riesgo volcánico, coordinadas por los sistemas de Protección Civil.
- c) Los organismos responsables de estudiar y observar al volcán con los dispositivos de monitoreo más avanzadas en ciencia y tecnología, así como las posibilidades que el país permita.

Otro elemento que debe ser involucrado en este concepto es el de los medios de comunicación masiva, ya que en gran medida la comunicación se da a través de ellos.

Para el caso de nuestro Estado, estos son el Comité Científico Asesor y el Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima, constituido por científicos especialistas, así como por expertos de otros institutos y organismos estatales y municipales, cuya opinión se considere de valor en la evaluación del estado de actividad del Volcán de Fuego de Colima y del riesgo que ésta represente. Un mecanismo efectivo de defensa activa para la protección civil implica la existencia de un protocolo de actuación en el que cada una de estas componentes conoce y está

preparada para llevar a cabo una serie de acciones cuyo fin es alcanzar el mayor grado posible de salvaguarda a la población y sus bienes, esto es, una mitigación óptima del riesgo volcánico.

Monitoreo volcánico

En nuestro Estado, para tratar de mitigar los riesgos inherentes a la actividad de algunas localidades cercanas a volcanes activos, se han emprendido algunas tareas tales como la instalación y operación por parte de la Universidad de Colima, de una red de monitoreo volcánico con equipos sísmicos sobre el Volcán de Fuego De Colima, mediante la cual se vigila en tiempo real el comportamiento y evolución de su actividad. El Observatorio Vulcanológico cuenta con una mapa de peligros, estudios de geología y de deformación, inclinometría, análisis de riesgo, geoquímica, temperatura, gases, radón y cámaras infrarrojos. Lo anterior complementa con estudios sistemáticos de COSPEC (Espectrómetro de Correlación) para conocer las variaciones de SO₂; de GPS (Sistema de Posicionamiento Global) y de precisión periódicas mediante una red geodésica instalada en el flanco norte del volcán, a fin de detectar cualquier cambio en él (inflación o deflación).

Elaboración de Mapas Computarizados de Escenarios de Riesgo

A este respecto, el Centro Nacional de Prevención de Desastres tiene considerado, dentro de sus programas de investigación, la elaboración de modelos de escenarios de riesgo para el Volcán de Fuego de Colima. Dichos mapas tienen como finalidad señalar y delimitar posibles áreas de riesgo en caso de ocurrir una actividad mayor en el entorno del edificio volcánico. Los factores que determinan la dirección de un posible flujo, son la topografía y morfología de la zona, con lo que podrán definirse zonas susceptibles de ser dañadas y así poder recomendar medidas para mitigar un desastre posterior.

Para lo anterior, se ha implementado un sistema de modelado para el Volcán de Fuego en dos y tres dimensiones, con el que se simulan flujos originados en cualquier punto del volcán, desde donde se pueden seguir pendiente abajo, lo que permite determinar las zonas susceptibles de ser dañadas, tales como poblaciones, rancherías, carreteras, presas, líneas de comunicación y cualquier infraestructura instalada en las cercanías del volcán.

También se encuentra un mapa computarizado de escenarios de riesgo para caídas de ceniza que permite pronosticar el espesor de los depósitos de ceniza del volcán con base a la altura de la columna y el viento predominante.

El mapa de riesgo para el Volcán de Colima, elaborado por el Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima

Mapa de Peligros del Volcán de Fuego de Colima. Cortesía de Carlos Navarro y Armando Téllez, Observatorio Vulcanológico de la Universidad de Colima.

El Observatorio Vulcanológico de la U. de C. y el Comité Científico Asesor

Este Comité fue constituido el 18 de noviembre de 1998 por el Gobernador Constitucional del Estado de Colima, ante el incremento en la actividad del Volcán de Fuego de Colima que culminó con la erupción del 20 de noviembre de ese mismo año. Los antecedentes de este Comité se remontan al mes de agosto de 1998, cuando se firmó un convenio de Colaboración para la Vigilancia Volcánica y Sismológica entre el Gobierno del Estado de Colima y la Universidad de Colima.

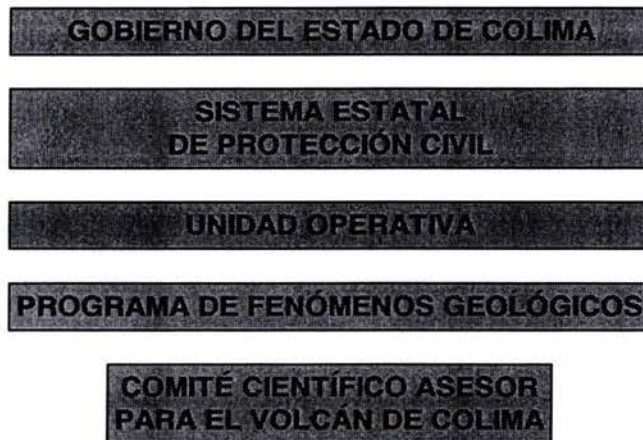
Las funciones del Comité Científico Asesor son las siguientes:

- A)** Establecer la tipología de los posibles fenómenos precursores de crisis eruptivas en el Volcán de Fuego de Colima.
- B)** Valorar los datos que, en relación con dichos fenómenos, se obtengan de las redes y estaciones de monitoreo y los que puedan resultar de estudios o análisis efectuados en relación con la actividad volcánica.
- C)** Formular previsiones sobre el posible desencadenamiento de crisis eruptivas y sus implicaciones en el ámbito de la protección civil.
- D)** Establecer la metodología de vigilancia y seguimiento a aplicar en caso de erupción volcánica, valorar los datos e informaciones que en dicho caso se obtengan y formular hipótesis acerca de su evolución.
- E)** Formular recomendaciones a las autoridades competentes sobre medidas de intervención para disminuir los riesgos que puedan derivarse de una erupción volcánica.

En el Comité participan responsables del monitoreo del volcán que a su vez son miembros de la Universidad de Colima.

Posición del Comité Científico Asesor dentro del Sistema Estatal de Protección Civil

El Comité se reúne como mínimo una vez al mes, o siempre que las condiciones de la actividad volcánica así lo determinen. La convocatoria corre a cargo del Coordinador General de Investigación Científica de la Universidad de Colima (Subdirector del Programa de Fenómenos



Geológicos) y del Secretario Técnico del Sistema Estatal de Protección Civil de Colima, quienes fungen además como moderadores y voceros.

En caso de considerarlo necesario, el Comité podrá recurrir a la opinión de asesores externos, miembros de las siguientes instituciones: Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), Instituto de Geofísica de la UNAM, Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Instituto Smithsonian, Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, Universidad de Guadalajara, y el asesoramiento de especialistas de la Asociación Internacional de Vulcanología y Química del interior de la Tierra (IAVCEI)

Será función de los titulares del Comité definir la lista de los asesores externos que participarán en las reuniones y elaborar las invitaciones correspondientes.

Como parte de las estrechas relaciones que existen con los Sistemas Estatales de Protección Civil de Colima y Jalisco, el Ejército Mexicano, a través de la 20ª Zona Militar, y la Armada de México, a través de la 14ª Zona Naval, los responsables técnicos y operativos de dichos Organismos podrán participar como observadores durante las reuniones del Comité Científico Asesor.

Será función de los titulares y moderadores del Comité definir (previa votación) la lista de los observadores externos que participarán en las reuniones, así como la elaboración de las invitaciones correspondientes. Dichos observadores no tendrán derecho a voto.

En la reunión se presentarán los informes de los miembros científicos del Comité, exponiendo las distintas técnicas operativas en la vigilancia de la actividad volcánica en Colima. Después de la discusión de todos los parámetros se procederá a dar un pronóstico y/o diagnóstico del estado en el que se encuentra la actividad volcánica y, en caso de que así le sea solicitado, las recomendaciones a los sistemas de Protección Civil.

Asimismo, se determinarán las carencias del monitoreo y se harán las peticiones de los recursos necesarios para el mejoramiento del equipamiento instrumental.

El Comité Científico Asesor para el volcán de Colima estará formado por los siguientes miembros titulares:

- ◆ Académicos de la Universidad de Colima, especialistas en las áreas de vulcanología y sismología.
- ◆ Los Directores Operativos de los Sistemas Estatales de Protección Civil de Colima y Jalisco
- ◆ Los Secretarios Técnicos de Protección Civil de Colima y Jalisco
- ◆ Subdirector del Programa de Fenómenos Geológicos
- ◆ Asesores extranjeros nacionales y extranjeros.

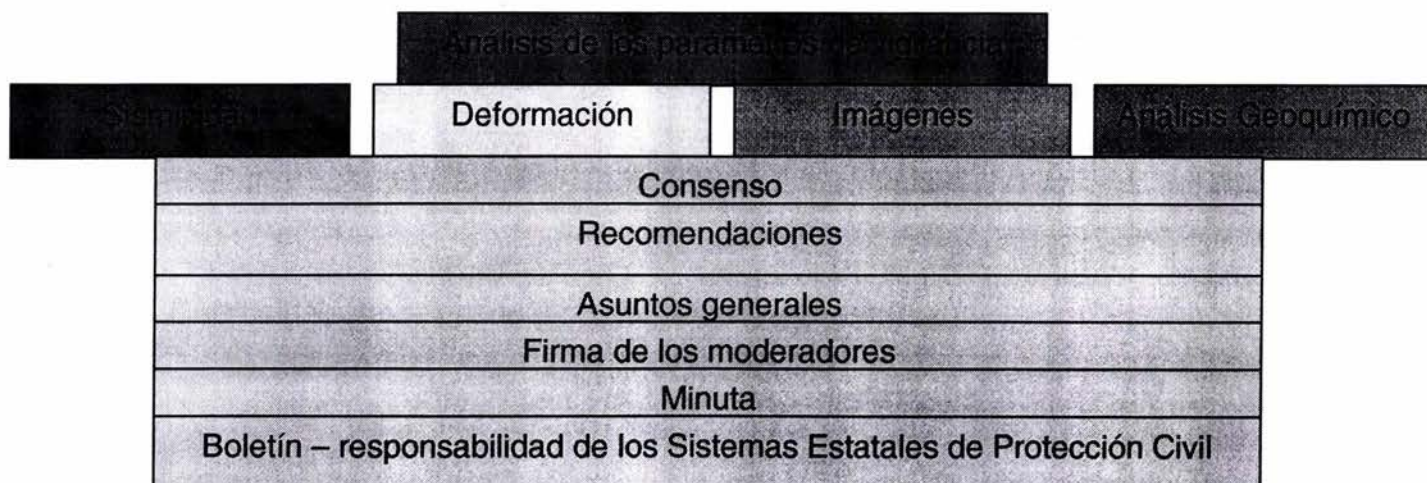
Estructura de las reuniones ordinarias y extraordinarias

Cada reunión del Comité Científico Asesor adhiere a los siguientes procedimientos:

- ◆ Lista de presentes
- ◆ Análisis de los parámetros de vigilancia
- ◆ Consenso
- ◆ Recomendaciones
- ◆ Asuntos Generales
- ◆ Firma de los Moderadores
- ◆ Minuta
- ◆ Boletín

Los Miembros titulares ejercerán derecho de voz y voto en la estructuración de las recomendaciones. Los detalles de operación del Comité serán definidos por el propio Comité.

Estructura de las reuniones ordinarias y extraordinarias



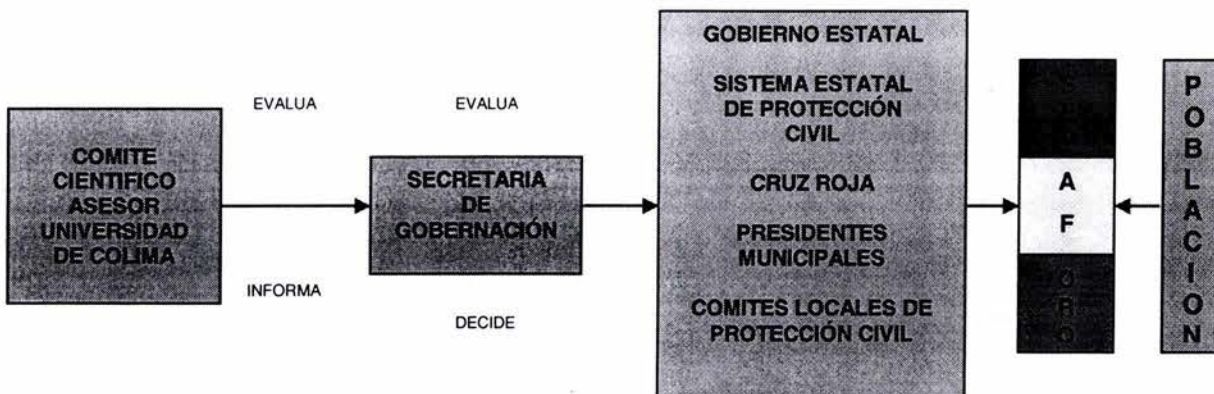
Flujo de información en caso de emergencia volcánica



El semáforo de alerta volcánica

El semáforo de alerta del Volcán de Colima es el mecanismo del Sistema Estatal de Protección Civil que mantiene informado a la población sobre los diferentes niveles de peligro que presenta la actividad del Volcán de Fuego.

El semáforo sirve para proteger la integridad de la familia y de la comunidad, el color indica el nivel de peligro existente en el momento y ayuda a recordar lo que se debes hacer. La comunidad científica y las autoridades de Protección Civil vigilan permanente el volcán y determinan el color que debe mostrar el semáforo en la localidad.



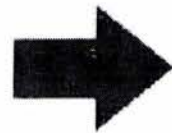
Comunicación al público

Existe en el Estado una serie de señales importantes que te ayudan a reconocer lo que debes hacer o el lugar al que debes ir.

CENTRO DE REUNION

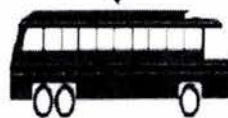
REFUGIO TEMPORAL

RUTA DE
EVACUACIÓN



Nº 1

ESTOS LETREROS SE COLOCAN EN LAS CALLES O CAMINOS QUE TE LLEVAN A LOS CENTROS DE REUNION O A LOS REFUGIOS TEMPORALES. LA FLECHA SEÑALA HACIA DONDE DEBES IR



ESTE LETRERO TE INDICA QUE DE ESTE SITIO SERAS TRASLADADO A UN LUGAR SEGURO



ESTE LETRERO SEÑALA LOS SITIOS QUE HAN SIDO SELECCIONADOS PARA ESTABLECER LOS REFUGIOS TEMPORALES

Que hacer según el semáforo

Cuando el semáforo está en verde

El color verde indica que puedes desarrollar las actividades con normalidad.

- ◆ Apréndete las rutas de evacuación y donde están los centros de reunión establecidos por las autoridades, para facilitar tu posible traslado a lugares seguros, así como el refugio temporal o albergue que te corresponde.
- ◆ Asiste a los cursos de capacitación que te ofrezca la unidad de Protección Civil y sobre todo participa en los ejercicios y simulacros que se realicen en tu comunidad.
- ◆ Recuerda que las construcciones en las cañadas y riberas de los ríos son más propensas a sufrir daños, ya que generalmente, los flujos de materiales volcánicos toman esos cauces.
- ◆ Procura construir en las zonas más altas y que tu casa tenga techos fuerte y de preferencia inclinado.

Cuando el semáforo está en amarillo

El color amarillo significa que tu debes estar alerta y pendiente de lo que te digan las autoridades y las noticias y sobre todo seguir las indicaciones que te den:

- ◆ Prepara para cada miembro de tu familia una tarjeta con su nombre y dirección.
- ◆ Si tu vivienda tiene servicios de gas, luz y agua, asegúrate de saber como se cierran.
- ◆ Si puedes guarda: agua potable y alimentos, las medicinas que estés tomando tú o alguien de tu familia, así como tus documentos más importantes, como títulos de propiedad, actas de nacimiento o matrimonio, cartillas etc.
- ◆ Procura tener a la mano un radio de pilas, linterna y las llaves de tu casa.
- ◆ Cubre los depósitos de agua y alimentos para evitar que se contaminen con las cenizas que puedan caer.

- ◆ Si tienes ganado o cualquier tipo de animales consulta en la unidad de Protección Civil que debes de hacer con ellos.

Cuando el semáforo está en rojo

El rojo es la señal de alarma, cuando se presente; atiende las recomendaciones de las autoridades.

Si la instrucción es evacuar:

- ◆ Conserva la calma, reúne a tu familia, ponles una identificación; cuida que puertas y ventanas queden cerradas coloca una sabana o tela blanca hacia la calle para comprobar que se trata de un domicilio evacuado.
- ◆ Ve inmediatamente a los centros de reunión. Lleva sólo lo indispensable.
- ◆ Si puedes evacuar por tus propios medios, no dudes en hacerlo y dirígete al refugio temporal que te corresponde.
- ◆ Al llegar al refugio temporal regístrate y ubícate en el sitio que se te indique.
- ◆ Si requieres atención médica, acude a la instalación más cercana del sistema de salud.
- ◆ En el refugio temporal colabora en lo que se te pida, mantén contacto con las autoridades, ellas te indicaran las reglas a seguir durante tu estancia. Asimismo te informaran sobre la evolución de la emergencia, hasta que esta termine.
- ◆ Si no puedes localizar el centro de reunión o no se presenta el medio de transporte para evacuarte, aléjate del volcán caminando por las partes altas hasta un lugar seguro.

Retorno a la normalidad

- ◆ Sólo las autoridades pueden decirte cuando será seguro regresar a tu vivienda.
- ◆ Antes de entrar a tu casa verifica las condiciones en que se encuentra. En caso de que tengas dudas consulta con los cuerpos de emergencia, si el techo tiene ceniza, quítala de inmediato cuidando que no se vaya al drenaje.
- ◆ No uses la electricidad ni el gas hasta estar seguro de que las instalaciones estén limpias de ceniza y en buen estado.
- ◆ No comas o bebas nada que sospeches esta contaminado, si tienes dudas consulta a las autoridades correspondientes.
- ◆ Mantente alerta al color del semáforo y sigue las recomendaciones del comité local de Protección Civil.
- ◆ Realiza junto con la familia tus actividades cotidianas

Rutas de evacuación del Volcán de Colima

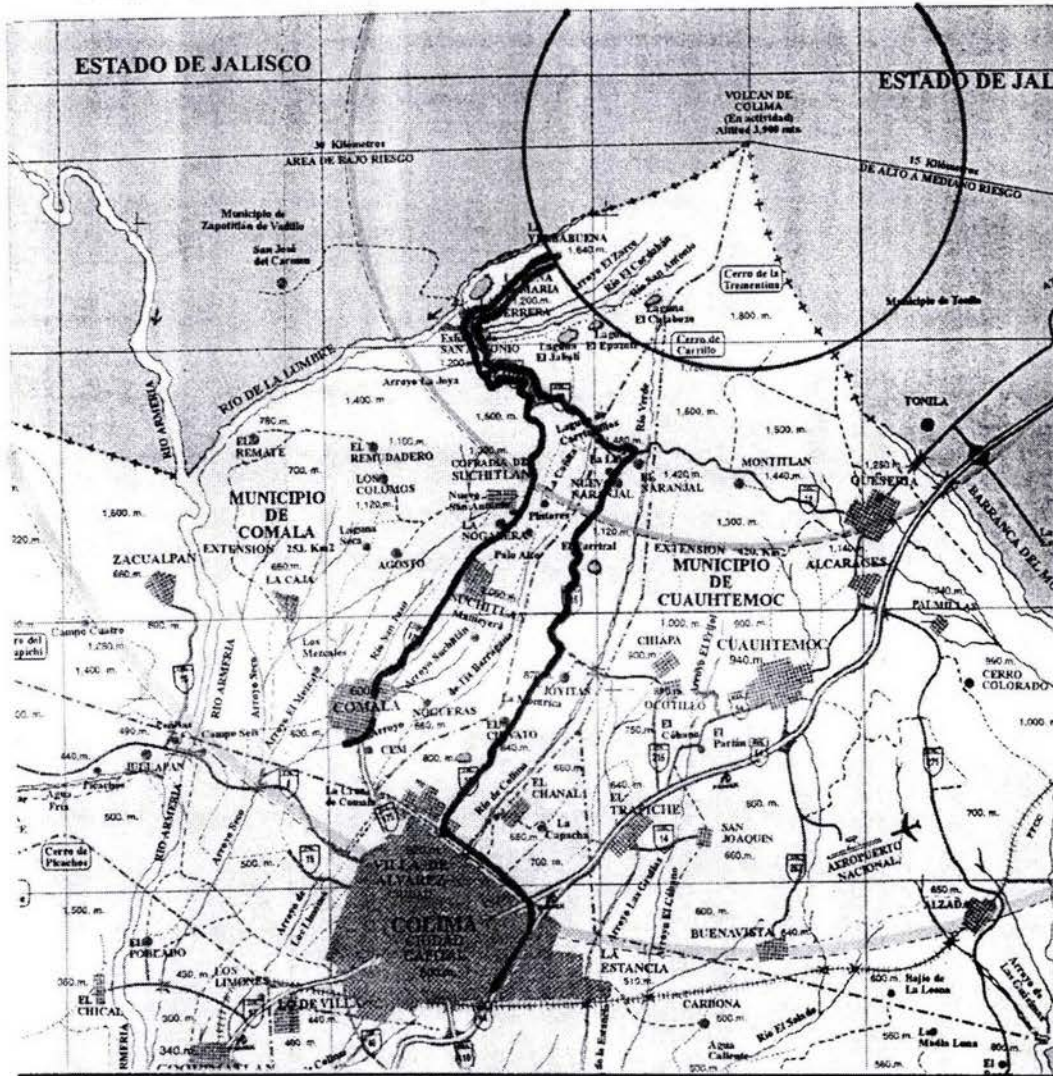
De La Yerbabuena a la laguna La Maria	3.0Km
De La Yerbabuena al crucero de La Becerrera	4.0Km
De La Yerbabuena al puente El Cordobán	4.3Km
En camino sin asfalto, velocidad promedio de 35Km/h = 9 minutos	
Del puente El Cordobán en camino sin asfalto	0.7Km
Del puente El Cordobán al entronque – Comala-Carrizalillo-San Antonio, asfaltado	6.9Km
Del puente El Cordobán al crucero de Nuevo San Antonio	9.9Km
Del puente El Cordobán a Nogalera	11.3Km
Del puente El Cordobán a Suchitlán	13.6Km
Del puente El Cordobán al crucero de Carrizalillos	17.0Km
Del puente El Cordobán a la entrada de Comala	20.7Km
Del puente El Cordobán al albergue de Comala	21.6Km
A la velocidad promedio de 60Km/h = 29 minutos	



Gobierno del Estado
Libre y Soberano
de Colima

Consejo Estatal de Protección Civil

- RUTAS DE EVACUACIÓN**
 ■ COLOR ROJO-(ASCENSO)
 ■ COLOR VERDE -(DESCENSO)
 ○ CIRCULOS-(ZONAS DE ALTO MEDIANO Y BAJO RIESGO)



Roberto Esperón No. 1170 Col. De Los Trabajadores Tel. 313-03-11 Fax 314-44-34 C.P. 28020 Colima, Col.

Principales rutas de evacuación para la zona de alto riesgo del Volcán de Colima en el estado del mismo nombre. Cortesía de la Dirección Operativa del Sistema Estatal de Protección Civil de Colima.