



EL RIESGO DERIVADO DE LA AMENAZA VOLCÁNICA EN COSTA RICA



EL RIESGO DERIVADO DE LA
AMENAZA VOLCÁNICA EN COSTA RICA

363.34

C733r Costa Rica. Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
El Riesgo derivado de la amenaza volcánica en Costa Rica / La Comisión; Red Sismológica Nacional;
Guillermo E. Alvarado Induni; Alberto Vargas Villalobos; Nuria Campos Sánchez e Ignacio Chaves
Salas, coautores – 1a. Ed. –

San José, C.R. : CNE, 2014.

32 p. : il. ; 8,5 x 11 cm.

ISBN 978-9968-716-31-4

1. Volcán. 2. Erupciones volcánicas. 3. Vigilancia volcánica. 4. Mapa de Riesgo. 5. Gestión del
Riesgo. 6. Prevención y mitigación. I. Red Sismológica Nacional. II. Alvarado Induni, Guillermo E.
III. Vargas Villalobos, Alberto. IV. Campos Sánchez, Nuria. V. Chaves Salas, Ignacio. VI. Título.

Créditos

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Dirección de Gestión del Riesgo.

Unidad de Normalización y Asesoría y Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo.

Área de Amenazas y Auscultación Sismológica y Volcánica. C.S. Exploración Subterránea /
Negocio, Ingeniería, Construcción, ICE

Compilación y Elaboración

Máster Nuria Campos Sánchez, Unidad de Normalización y Asesoría.

Licenciado Ignacio Chaves Salas, Unidad de Investigación y Análisis del Riesgo.

Doctor Guillermo E. Alvarado Induni, RSN (UCR-ICE).

Máster Alberto Vargas Villalobos, RSN (UCR-ICE).

Revisión parcial o total

Sergio Mora

Yehudi Monestel

Rodrigo R. Mora

Mauricio Mora

Waldo Taylor

Geoffroy Avaré

Luis Madrigal

Ramón Araya

Foto de portada: Geól. Ignacio Chaves, CNE

Diagramación e impresión por:



EXTENSION, S.A.

Tel.: (506) 2257-0722 / Fax: (506) 2256-8490

AGRADECIMIENTOS

Este documento se desarrolló gracias al esfuerzo conjunto de las Unidades de Investigación y Análisis del Riesgo y Normalización y Asesoría de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias, que trabajaron en estrecha coordinación con el Área de Amenazas y Auscultación Sismológica y Volcánica –ICE.

Para la producción fueron fundamentales los aportes brindados por los representantes del Comité Asesor Técnico (CAT) de Vulcanología como instancia asesora del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo.

Un agradecimiento especial a los funcionarios de la RSN (UCR-ICE), OVSI-CORI-UNA y OSIVAM-ICE, quienes a lo largo de décadas, han aportado información valiosa para el conocimiento de nuestros volcanes.

También se les agradece los comentarios y sugerencias brindadas, en el ejercicio de validación o revisión, a las siguientes personas:

- ***Sergio Mora***
- ***Yehudi Monestel***
- ***Rodrigo R. Mora***
- ***Mauricio Mora***
- ***Luis Madrigal***
- ***Waldo Taylor***
- ***Geoffroy Avard***
- ***Lídier Esquivel***
- ***Ramón Araya***

Presentación

El documento “El Riesgo derivado de la Amenaza Volcánica en Costa Rica” es una herramienta de trabajo dirigido a las instancias de Coordinación del SNGR, a Centros Educativos, así como a las personas, comunidades y organizaciones que diariamente conviven con la Amenaza Volcánica.

En el desarrollo se abordan una serie de elementos orientadores de la Gestión para la Reducción del Riesgo por Desastre vinculados con la Amenaza Volcánica. Además, se describe una serie de peligros que se pueden derivar de una erupción volcánica y sus efectos.

Un elemento central es la gestión para la reducción del riesgo volcánico, para lo cual es fundamental el conocimiento, la reducción y la preparación para la atención de situaciones de emergencias. Para ello se citan algunos ejemplos de posibles acciones a desarrollar en cada uno de las áreas.

El estudio y los mapas de peligros volcánicos del Rincón de la Vieja, Arenal, Poás, Irazú y Turrialba también son abordados. Se da cabida a la vigilancia volcánica, sus métodos y a los observatorios volcánicos de Costa Rica.

Para cerrar, el documento ofrece una serie de recomendaciones para convivir con un volcán activo. Las mismas se subdividen de acuerdo al público meta: organizaciones comunitarias, población, turistas y comunicadores sociales.

El proceso de elaboración contempló la revisión bibliográfica de documentos afines. Además, para validar la información se realizó la consulta a especialistas del Comité Asesor Técnico de Vulcanología, de la Red Sismológica Nacional y de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

ÍNDICE	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
Alcance	8
Consideraciones sobre el contenido	8
II. EL RIESGO DERIVADO DE LA AMENAZA VOLCÁNICA	8
Amenaza volcánica	8
Valor	8
Vulnerabilidad	8
Gestión del riesgo	8
Prevención	8
Riesgo volcánico	8
III. AMENAZA VOLCÁNICA	9
1. El inicio de una erupción y su duración	9
2. El índice de explosividad volcánica	9
3. Tipos de amenaza volcánica	9
4. Rocas piroclásticas de caída (tefra)	10
5. proyectiles balísticos	10
6. Ondas de choque atmosféricas	11
7. Rayos por descargas eléctricas atmosféricas	11
8. Coladas de lava y domos	11
9. Flujos y oleadas piroclásticas	11
10. Lahares	11
11. Avalanchas de escombros volcánicos	12
12. Gases volcánicos y lluvia ácida	12
13. Terremotos volcánicos	13
14. Maremotos y seiches (tsunami en japonés y sunami o maremoto en español)	13
15. Deformación cortical	13
16. Formación de grietas y subsidencia	13
17. Formación de nuevos cráteres o conos	13
IV. EL VULCANISMO Y SUS EFECTOS	14
V. GESTIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO	15
1. Planes Comunales de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias	15
2. Planes de Contingencia	16
VI. ESTUDIOS Y MAPAS DE AMENAZA VOLCÁNICA DE ALGUNOS VOLCANES DE COSTA RICA	17
1. Volcán Rincón de la Vieja	17
2. Volcán Arenal	18
3. Volcán Poás	18
4. Volcán Irazú	19
5. Volcán Turrialba	20
VII. LA VIGILANCIA VOLCÁNICA Y SUS MÉTODOS	20
1. Sismología volcánica	21
2. La geodesia	21
3. Los métodos geofísicos	21

4.	La geoquímica de las aguas y gases volcánicos en lagos crátericos y las fuentes termales	21
5.	Termometría	22
VIII. LOS OBSERVATORIOS VULCANOLÓGICOS EN COSTA RICA		22
IX. ¿CÓMO CONVIVIR CON UN VOLCÁN ACTIVO Y QUÉ HACER ANTE UNA ERUPCIÓN VOLCÁNICA?		23
1.	Recomendaciones a la población que se vive cerca de un volcán activo	24
2.	Recomendaciones adicionales para las comunidades	25
3.	Recomendaciones para las Instituciones	25
4.	Recomendaciones en caso de evacuación	26
5.	Recomendaciones para los turistas que visitan un volcán activo	26
6.	Recomendaciones a los comunicadores antes y durante una crisis volcánica	27
7.	Elementos que debe contener la mochila para emergencias (para 72 Horas)	27
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (UTILIZADAS Y RECOMENDADAS)		28

I. INTRODUCCIÓN

Este documento se ha elaborado para conducir a la ciudadanía en general y para quienes viven cerca o visitan un volcán. Se debe contemplar la amenaza volcánica en los Planes de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. De igual forma, la temática de la gestión del riesgo debe estar incluida en los estudios de Ordenamiento Territorial así como en el quehacer diario y extraordinario de los gobiernos locales.

El hombre ha considerado los terremotos y las grandes erupciones volcánicas como unos de los desastres más peligrosos. Esto por la rapidez con que aparecen así como lo violento de sus consecuencias. Estos eventos son originados por el proceso de la tectónica de placas, incluido el fallamiento local. Las ondas se manifiestan en la superficie provocando la actividad sísmica, mientras que la actividad volcánica es el resultado de la salida de las rocas fundidas y gases contenidos en la corteza y manto terrestre.

La mayoría de las erupciones (81%) suceden en muchos países cuyas costas están bañados por el Océano Pacífico, comenzando en Chile, ascendiendo por la costa de Sur América, hasta América Central y México, la costa oeste de Estados Unidos, Alaska, Japón, Filipinas, Papúa, New Guinea, las islas del Pacífico Sur hasta Nueva Zelanda. Por ello, esta línea ígnea se le ha llamado "Cinturón de Fuego".

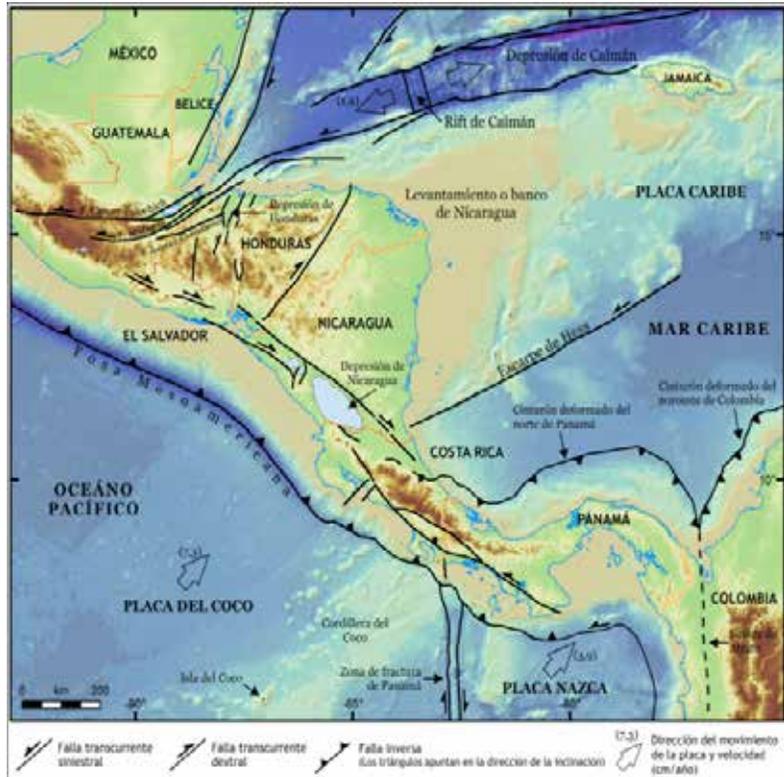


Figura 1. Esquema tectónico simplificado de América Central.

Fuente: Elaboración propia.

Costa Rica forma parte de este anillo, debido a la interacción de las placas del Coco y la del Caribe, por lo que está expuesta a este tipo de procesos naturales que frecuentemente causan desastres. Por lo tanto, este documento procura aportar a la ciudadanía en general, la inclusión de la amenaza volcánica en la planificación del uso de la tierra así como en preparativos y respuestas.

El convivir con un volcán, faculta a la población a analizar las diferentes situaciones de riesgo que podrían manifestarse producto de una erupción volcánica. De ahí la importancia de conocer la amenaza como tal, así como también las vulnerabilidades presentes, para conducir a la elaboración de estrategias para la reducción del riesgo, tanto físico como operativo y financiero. Con ello se pretende planificar de manera oportuna el manejo de las emergencias y/o desastres ocurridos por un evento como el volcánico.

Objetivo general

Contribuir con la reducción del riesgo por amenaza volcánica en la población.

Objetivos específicos

1. Facilitar a la ciudadanía información sobre la amenaza volcánica y consecuentemente el peligro y riesgo volcánico.
2. Concientizar a la población sobre la importancia de aprender a convivir con los volcanes.
3. Promocionar la importancia de la gestión para la reducción del riesgo por desastre en el quehacer del diario vivir de la población en general.
4. Proporcionar al final una lista de trabajos de consulta general y particular sobre el tema.

Alcance

Este documento pretende aportar a la sociedad información sobre la importancia de conocer, organizarse y estar preparados ante una amenaza volcánica y consecuentemente el peligro y/o el riesgo volcánico.

Este contribuye a labores municipales fundamentalmente en la Planificación del Uso de la Tierra, sea esta para vivienda, comercio, industria, turismo, entre muchos otros.

Consideraciones sobre el contenido

Dado que es un documento dirigido a un público general, no especializado, se omitieron la mayoría de las referencias bibliográficas dentro del texto, con el fin de darle una mayor fluidez a la lectura. Sin embargo, al final, se presenta una lista de referencias generales y especializadas para aquel lector que desee profundizar en el tema o en casos específicos.

Los mapas de peligros volcánicos emitidos por diferentes entidades nacionales, a niveles personales o incluidos en publicaciones, deberán de consensuarse y ser oficializados por la CNE, labor que se espera iniciar en el 2015. Por ello, en el presente trabajo solo se incluyó un mapa de modo ilustrativo.

De gran importancia resultan los datos de altitudes incluidos. El lector familiarizado con algunas de ellas se dará cuenta que no corresponden con los datos reportados por la mayoría de los trabajos (cartografía antigua disponibles, libros y publicaciones). En la actualidad, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y otras entidades han editado una serie de mapas de detalle (1: 25 000 y 1: 10 000) y existen fotografías e imágenes aéreas con una mayor resolución que mejoran sustancialmente la información y el grado de detalle. Otro aspecto es que algunos volcanes no poseen altitudes precisas referenciadas en mojones (hitos topográficos), por lo cual seguirán resultando aproximadas con base en las curvas de nivel de cada hoja topográfica. La labor de aportar nombres oficiales y altitudes apropiadas es una tarea del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

II. EL RIESGO DERIVADO DE LA AMENAZA VOLCÁNICA.

Para hablar de amenaza volcánica, primeramente se deben de establecer algunas definiciones importantes que, muchas veces, varían de un autor a otro. En este caso se plantean las contempladas en la Ley 8488 y otras elaboradas por los autores.

- **Amenaza volcánica:** Peligro latente representado por la posible ocurrencia de un fenómeno peligroso, de origen volcánico, capaz de producir efectos adversos en las personas, los bienes, los servicios públicos y el ambiente.
- **Valor:** Se entiende por cualquier valor social, económico, cultural o patrimonial que pueda resultar adversamente afectado como consecuencia de la actividad volcánica.
- **Vulnerabilidad:** Condición intrínseca de ser impactado por un suceso a causa de un conjunto de condiciones y procesos físicos, sociales, económicos y ambientales. Se determina por el grado de exposición y fragilidad de los elementos susceptibles de ser afectados –la población, sus haberes, las actividades de bienes y servicios, el ambiente– y la limitación de su capacidad para recuperarse.
- **Gestión del riesgo:** Proceso mediante el cual se revierten las condiciones de vulnerabilidad de la población, los asentamientos humanos, la infraestructura, así como de las líneas vitales, las actividades productivas de bienes y servicios y el ambiente. Es un modelo sostenible y preventivo, al que se incorporan criterios efectivos de prevención y mitigación de desastres dentro de la planificación territorial, sectorial y socioeconómica, así como a la preparación, atención y recuperación ante las emergencias.
- **Prevención:** Toda acción orientada a evitar que los sucesos negativos se conviertan en desastres. Procura el control de los elementos conformantes del riesgo, por lo que, por una parte, las acciones se orientan al manejo de los factores de amenaza y, por otra, a los factores que determinan la condición de vulnerabilidad.
- **Riesgo volcánico:** Probabilidad de que se presenten pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un período definido. Se obtiene al relacionar la amenaza volcánica con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

El factor de exposición es otro elemento que puede introducirse en la fórmula del riesgo, como parte de la vulnerabilidad. Este factor reduce o incrementa el riesgo, dado que en ciertos casos, el elemento bajo riesgo no está permanentemente en la zona de peligro, por lo que debe expresarse en un porcentaje del tiempo total.

De igual modo, el riesgo puede ser efectivamente reducido por medio de una adecuada gestión del territorio, que contemple la inclusión de la gestión del riesgo en instrumentos de planificación y ordenamiento territorial, así como el desarrollo de propuestas de reducción y prevención.

Una evaluación del riesgo involucra considerar la siguiente relación:

$$\text{Riesgo} = \text{amenaza} \times \text{costo} \times \text{vulnerabilidad (contempla exposición)}$$

III. AMENAZA VOLCÁNICA

1. El inicio de una erupción y su duración

En los últimos 500 años, unos 600 volcanes en el planeta han tenido actividad eruptiva y en los últimos 10 000 años, unos 1600 volcanes. Cada año, unos 70 - 75 volcanes presentan actividad ya sea efusiva (coladas de lava) o explosiva.

La proximidad de una erupción se anuncia, cuando un volcán comienza a mostrar inquietud, particularmente luego de un largo período sin erupciones, el inicio y la culminación del curso de los eventos es casi siempre incierto. Los vulcanólogos raramente pueden hacer predicciones definitivas en estos casos. Sin embargo, en ciertas ocasiones, se puede determinar una eminente erupción mediante la localización adecuada de la sismicidad y la formación de nuevas grietas, salida de gases, etcétera.

Las erupciones volcánicas varían ampliamente en tipo, magnitud, duración y recurrencia, no solamente de un volcán a otro, sino en un mismo volcán y por ello, cada volcán debe de analizarse por separado.

2. El índice de explosividad volcánica

El Índice de Explosividad Volcánica (o VEI por sus siglas internacionales en inglés: *Volcanic Explosivity Index*) es una medida relativa de la intensidad de una erupción con base en su estilo, volumen de piroclastos emitidos y altura de la columna eruptiva.

ITEM	INDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCANICA							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Descripción general	No explosiva	Pequeña	Moderada	Grande	Muy grande	Extremadamente grande	Cataclísmica	Cataclísmica
Número de erupciones	976	1239	3808	4.12	168	50	6	0
%	12,61	16,00	49,19	5,32	2,17	0,65	0,08	0,00
Ejemplos en Costa Rica	Poás 2010	Turrialba 2010	Arenal 1984	Rincón de la Vieja 3770 a. C	Paleo-Barva 322 000 años	-	Paleo- volcán Alcántaro (Pre-Rincón de la Vieja) 1,45 millones de años	-

Fuente: Siebert et al., 2010

3. Tipos de amenaza volcánica

La actividad volcánica, es el producto de la expulsión de materiales (sólidos, gaseosos y líquidos) del interior del planeta y que suelen estar a elevadas temperaturas. En una erupción volcánica pueden suceder los siguientes procesos:

4. Rocas piroclásticas de caída (tefra)

Cuando el magma asciende, se puede dar una separación brusca de los gases, por lo que se producen explosiones, que fragmentan al magma en erupción, en consecuencia se forman fragmentos de lavas pastosas o enfriadas llamadas piroclastos (también conocidas como tefras). Los piroclastos son expedidos hacia arriba del cráter, primero como un chorro de velocidad elevada y después como una columna eruptiva. Los piroclastos de mayor tamaño y densidad suelen caer cerca del cráter y los más pequeños y livianos pueden ser acarreados por el viento. La ceniza es caliente cerca de la boca eruptiva pero se enfría con la distancia y altura.

En el caso de erupciones grandes, la cantidad de material piroclástico puede influenciar el clima a escala global. A pesar de que las cenizas pueden permanecer varios meses suspendidas en la atmósfera y dar varias vueltas al planeta, hoy se ha comprobado que un componente contenido en las cenizas que más afecta el clima es el ácido sulfúrico, producido por la reacción del anhídrido sulfúrico con el agua de la atmósfera.

La ceniza volcánica (roca finamente pulverizada) posee diámetros inferiores a los 2 mm (y si son inferiores a 0,063 mm, se le llama polvo volcánico), mientras que los fragmentos volcánicos mayores (entre 2 mm y 6,4 cm de diámetro), se les llama lapilli (fragmentos de rocas preexistentes, escorias o pómez).

Entre los efectos más frecuentes de las cenizas, se registran la pérdida de bosques y sembradíos, contaminación del agua potable e incluso interrupción de su abastecimiento, obstrucciones de filtros y conductos; afecta a los generadores eléctricos, causa cortos circuitos en líneas de transmisión y la corriente eléctrica se puede interrumpir, al igual que afecta los sistemas de comunicación. La ceniza desgasta y atasca la maquinaria, puede afectar los automóviles, los motores de los aviones y, en general, todo tipo de equipo electrónico.



Figura 3. Pastos afectados por la caída de cenizas durante la erupción del Turrialba en el 2010. Fuente: G. E. Alvarado.

El peso de la tefra (pómez, cenizas) puede ocasionar el colapso de techos de viviendas. Otro efecto de la caída copiosa de ceniza, son los accidentes de tránsito, por caminos resbalosos y la poca visibilidad.

A ello debemos de agregar, la dificultad que produce la lluvia de cenizas en los ojos, en la respiración e irritabilidad nasal, incluyendo infecciones de las vías respiratorias, particularmente el recrudecimiento del asma y bronquitis en personas previamente afectadas del pecho o con las personas asmáticas o con enfisema pulmonar. La exposición prolongada a ceniza fina (polvo volcánico) puede generar silicosis, debido a que los finos granos vidriosos pueden afectar los pulmones. En otros casos, se puede dar dermatitis y enfermedades gastrointestinales, que pueden llevar a la muerte en personas crónicas. Se debe de prever la contaminación de ríos y quebradas, la falla de estructuras o edificaciones vitales y los daños en los vehículos automotores.

5. proyectiles balísticos

Las bombas volcánicas poseen formas aerodinámicas por eyectarse aún líquidas o pastosas, mientras que los bloques tienen formas angulares; ambos poseen diámetros mayores a 6,4 cm. Cuando los fragmentos de roca caen, las edificaciones son dañadas y las personas resultan heridas o muertas; aquellos fragmentos que mantienen altas temperaturas, pueden incendiar bosques o casas, y claramente pueden producir laceraciones y quemaduras (politraumatismos) o muerte en las personas.



Figura 4. A la izquierda, cráter de impacto dejado por una bomba volcánica durante la erupción del Arenal en 1968. A la derecha, ejemplo de bomba volcánica en el Irazú de la erupción de 1963. Fuente: Rodrigo Sáenz (izq) y G. E. Alvarado. (derecha).



Figura 2. Arriba, capa de escorias (lapilli y bombas) en el volcán Irazú relacionadas con la erupción de 1723; Abajo, se observan capas de cenizas y paleosuelos de las erupciones prehistóricas más importantes del Arenal (Quebrada Grande de Tilarán). Fuente: G. E. Alvarado.

6. Ondas de choque atmosféricas

Las erupciones explosivas pueden estar acompañadas de ondas de choque o de impacto, que se propagan a la velocidad del sonido (330 m/s), pudiendo matar a las personas si están muy cerca o produciendo la ruptura de ventanas y paneles solares.

7. Rayos por descargas eléctricas atmosféricas

Durante las erupciones explosivas, la fricción de los fragmentos piroclásticos (principalmente cenizas), vapor y gases contenidos en la nube eruptiva, se pueden eléctricamente cargar, produciendo rayos que pueden afectar las telecomunicaciones, la infraestructura y las personas.

8. Coladas de lava y domos



Figura 5. Colada de lava prehistórica en uno de los flancos del volcán Barva. Fuente: G. E. Alvarado.

La lava erupcionada del cráter o aberturas (fisura) en los flancos suele fluir hacia abajo de acuerdo con la gravedad en forma de una colada o lengua de lava, cuya velocidad depende de su viscosidad, variando entre unos pocos metros por hora. Donde pasa una colada de lava, la tierra agrícola, el bosque y las casas son destruidas, sepultadas y quemadas. Una vez enfriadas, sin embargo, pueden ser sitios favorables para obtener materiales para construcción, mediante canteras (“tajos”).

Los domos son cúpulas de lava generalmente viscosas, que se enfrían poco a poco en el propio foco de salida o a lo sumo forman una lengua corta y espesa de lava (domo colada o “coulées”). Tanto las coladas de lava durante su avance sobre pendientes fuertes o los domos en la cúspide de los estratovolcanes, pueden representar un serio peligro si se derrumban o colapsan. En este caso suelen producir deslizamientos de bloques incandescentes y flujos piroclásticos de bloques y cenizas, con gran poder destructivo.



Figura 6. Domo volcánico en la cumbre del Arenal en el 2009. Fuente: Luis Madrigal.

9. Flujos y oleadas piroclásticas



Figura 7. Flujo piroclástico producto del colapso del frente de una colada de lava durante su avance. Volcán Arenal, diciembre del 2008. Fuente: Waldo Taylor

El flujo piroclástico es un fenómeno constituido por fragmentos de roca, ceniza volcánica, pómez y gases a alta temperatura, que son expelidos del cráter y juntos se movilizan por el terreno a alta velocidad por lo que no es posible evacuar en el momento de su ocurrencia. Su temperatura varía entre unos 100 y 900 °C. Las oleadas piroclásticas son corrientes turbulentas de baja concentración de cenizas, donde la fase continua entre las partículas es gas. Suelen acompañar a los flujos piroclásticos y, en detalle, es probable que exista una transición completa entre los flujos piroclásticos y las oleadas.

Las oleadas y los flujos piroclásticos son extremadamente peligrosos y suelen matar instantáneamente debido a asfixia, elevadas temperaturas (quemaduras extensas y profundas), impacto de los bloques a elevada velocidad y por gases venenosos.

10. Lahares

Un lahar es un flujo de detritos volcánicos generado en muchos casos por material volcánico y sedimentario (lodos, cenizas, arenas, bloques) mezclado con agua proveniente de un lago cratérico, de la fusión de una cobertura de nieve o disparado por una lluvia torrencial. Los lahares son extremadamente destructivos y han causado muchos desastres. Suelen viajar canalizados por los sistemas fluviales (gargantas, valles), destruyendo todo a su paso, y ensanchándose cuando llega al pie del volcán en forma de abanico, igualmente destructivo.



Figura 8. Área afectada por los lahares (flujos de lodo volcánico) en el sector de Taras de Cartago, durante el 9-10 diciembre de 1963. Fuente: Desconocida.

11. Avalanchas de escombros volcánicos



Figura 9. En la parte superior una avalancha de escombros volcánicos de hace 17 000 años del volcán Miravalles. En la parte inferior, otro ejemplo aún más antiguo (0,6 millones de años) que aflora en Turrúcares y en la carretera San José – Puntarenas (ruta 27). Fuente: G. E. Alvarado.

Corresponden con megadeslizamientos volcánicos (*volcanic debris avalanche*). Pueden alcanzar velocidades entre 50 y 350 km/h, que pueden extenderse desde 0,5 hasta 120 km desde su fuente de origen, abarcando extensiones de muchas hectáreas hasta más de 2200 km², para volúmenes exorbitantes de 0,01 km³ hasta más de 10 km³, incluso > 5000 km³. Debido a que poseen un período de recurrencia muy bajo en cada volcán y puesto que el área de

destrucción es tan grande (decenas de kilómetros cuadrados), suelen no considerarse dentro de los mapas de peligro volcánico, pero sí dentro de los textos o documentos explicativos. La mayoría de los volcanes costarricenses de grandes dimensiones han presentado en su pasado prehistórico eventos de este tipo. En tiempo histórico, solo se han registrado grandes avalanchas de escombros en Costa Rica en el flanco norte del Irazú (1994).

12. Gases volcánicos y lluvia ácida

Cuando el magma rico en gases disueltos llega cercano a la superficie, pierde la mayoría de sus gases, ya sea de forma pasiva o durante las explosiones. Estos gases son, principalmente, vapor de agua (H₂O) seguidos por compuestos de carbono representando más del 90%. Otros son gases de azufre, cloro, flúor; nitrógeno entre los más abundantes en las emisiones. Gases en menor proporción son el metano, argón y helio.

La evacuación de los gases en los volcanes puede ocurrir de 2 formas:

- pasiva a través de fracturas en la estructura o edificio volcánico y emitido en forma difusa a través del suelo a la atmósfera.
- centralizada en áreas fumarólicas o aguas termales con burbujeo, a lo largo de fracturas o en las áreas alrededor de los cráteres.



Figura 10. Vegetación quemada y techos afectados por la lluvia ácida en el volcán Turrialba. Fuente: J. I. Chaves. CNE.

Cuando los “gases ácidos”, sobre todo en ambientes tropicales, se mezclan y asocian con el agua atmosférica (humedad ambiental y nubes), promueven la formación de un velo móvil de gases ácidos llevados por los vientos predominantes y su precipitación como lluvia ácida (pH < 5,6). La lluvia ácida puede afectar los ojos y las vías respiratorias de los seres humanos y animales, y se manifiesta mediante la quema química (clorosis y necrosis) de la vegetación (bosque, pastizales y cultivos), efectos en la ganadería y su producción de leche, así como una intensa corrosión de los metales en la infraestructura.



Figura 11. Ejemplo de una mofeta es la “Cueva de la Muerte” en Recreo Verde, por Venecia de San Carlos. Si pone la llama de un encendedor, se observará que a partir de una cierta altura, dentro de la cueva, la llama se extinguirá debido a la ausencia de oxígeno. Fuente: G. E. Alvarado. Turrialba. Fuente: J. I. Chaves. CNE.

Por otro lado, las mofetas son salidas de gases (principalmente monóxido y dióxido de carbono). El dióxido de carbono (CO₂), en concentraciones bajas (> 2% o 20 000 partes por millón, ppm), se pueden presentar molestias como irritación de los ojos, nariz y garganta, puede afectar la función respiratoria y provocar excitación seguida por depresión del sistema nervioso central. En concentraciones moderadas entre un 6 y 10 %, provoca mareos, vómitos y visión borrosa, pero con valores de CO₂ que superen el 10%, pueden generar rápidamente pérdida de la conciencia después de unos 15 minutos, e incluso producir la muerte del individuo, particularmente en

concentraciones del 20% o más. Por ello, en depresiones o cuevas, cuando sale en cantidades mayores de lo normal (a veces acompañado de CO, monóxido de carbono), al ser invisible y más denso que el aire, desplaza el oxígeno, por lo que se puede acumular, siendo mortal para los animales pequeños e incluso para las personas que acampan, muriendo el individuo tanto por toxicidad como por asfixia u ahogo, es decir, falta de oxígeno.

13. Terremotos¹ volcánicos

Los sismos que acompañan a las actividades volcánicas son generalmente menores en escala que los no volcánicos (llamados tectónicos). Pueden ocurrir antes, durante o después de una erupción volcánica. La máxima magnitud generada por un terremoto volcánico es de $M_w 7,1$, aunque son infrecuentes. Se presentan cuando hay movimientos de fallas (rupturas en la corteza terrestre) en o cerca del volcán debido al movimiento de magma (roca fundida en profundidad).

14. Maremotos y seiches (tsunami en japonés y sunami o maremoto en español)

Por lo general, pero no exclusivamente, se le suele asociar con un terremoto. En el caso de una erupción volcánica, si un deslizamiento volcánico o un flujo piroclástico fluyen hacia un lago o hacia el mar, o si se presenta una explosión importante subacuática, entonces puede causar una ola, conocida como maremoto cuando sucede en el mar o seiche volcánico o sísmico (según su origen) si ocurre en un lago.

15. Deformación cortical

La deformación cortical puede ser causada por el ascenso de una gran cantidad de magma o por la efusión de magma desde la profundidad. Ello puede provocar abultamiento o subsidencia del terreno, causando grietas y daños en edificaciones.



Figura 13. Grietas formadas en la cumbre del volcán Turrialba. Fuente: G. E. Alvarado.

16. Formación de grietas y subsidencia

La formación de fracturas, grietas y la subsidencia y los asentamientos del terreno, pueden ser procesos propios asociados con la actividad de ciertos volcanes, particularmente los efusivos basálticos.



Figura 14. En el volcán Arenal, el cráter de la izquierda o cráter D ya existía previo al reactivar del volcán en 1968. En ese año se formaron 3 nuevos cráter (A, B y C). El cráter C se mantuvo muy activo por décadas. Acá se observa con una pequeña explosión. Los cráteres A y B están cubiertos de lava (no se muestran en la fotografía). Fuente: G. E. Alvarado.

17. Formación de nuevos cráteres o conos

A lo largo de sistemas de fallamiento cortical profundo (p. ej., fallas o fisuras) existe la posibilidad de formación de nuevos cráteres, conos piroclásticos, derrames de lava y eventualmente grandes volcanes.

¹ Recordemos que aunque el diccionario de la Real Academia Española pone como sinónimos los términos sismo, seísmo, temblor y terremoto. En Latinoamérica, el término terremoto se suele asociar con pérdidas materiales o en vidas humanas, o ambos.

IV. EL VULCANISMO Y SUS EFECTOS

Desde el año 1600, los volcanes han cobrado la vida a unas 281 000 personas, aproximadamente el 96% de ellas habitaban en las regiones circundantes al océano Pacífico y el ~ 70% de las fatalidades estaban concentradas en solamente 8 erupciones. Sin embargo, la mayoría de dichas defunciones en los siglos XVIII y XIX se debían a los efectos indirectos, tales como el hambre y las epidemias, que las erupciones dejaban como producto en regiones ya de por sí severamente afectadas. Empero, si se compara a nivel mundial el número de víctimas causadas por la actividad volcánica entre los años 1700 y 1800, con el número de defunciones debidas al vulcanismo durante el siglo XX, se puede apreciar un incremento en el pasado siglo, pese a que durante los últimos 35 años la vulcanología logró un avance considerable como ciencia, tanto académica como aplicada a la prevención y al pronóstico. Resulta claro que los procesos volcánicos no han cambiado en los últimos milenios ni siglos. Lo anterior entonces se relaciona a que la población mundial ha crecido exponencialmente, colonizando aún más las faldas de los volcanes, por las razones previamente indicadas (fertilidad de sus suelos, disponibilidad de agua, belleza escénica, etcétera). Hoy día, un alto porcentaje de las áreas de volcanes activos y dormidos se encuentran en áreas que han sido densamente ocupadas en los últimos siglos. América Central no es la excepción, puesto que se encuentra dentro de las cinco regiones con mayor peligrosidad volcánica, debido a la proximidad de volcanes activos (eruptivos y dormidos) cerca de poblaciones y grandes ciudades.

Las erupciones volcánicas y sus eventos asociados se cuentan, por consecuencia, entre las calamidades más destructoras. Sin embargo, el número de víctimas por actividad volcánica es muy pequeño si se le compara con las producidas por otros procesos de origen natural, como lo son los terremotos, las inundaciones, los tornados o los maremotos. Lo mismo es válido si las comparamos con las muertes que cada año son producidas por las guerras, la criminalidad o los accidentes de tránsito. Se ha determinado que las erupciones volcánicas generan un 2% de las pérdidas totales por los desastres de origen natural, dato que debería de contribuir a desarrollar una política realista en la gestión del riesgo derivado de las amenazas volcánicas.

Tan solo durante el siglo XX, ocurrieron cuatro erupciones volcánicas en América Latina y el Caribe que causaron aproximadamente el 85% de las muertes debidas a diferentes tipos de eventos a nivel mundial, en el cuadro 2 se detalla.

Cuadro 2
Afectación por erupciones históricas registradas en América Latina y el Caribe en el Siglo XX

Volcán	Ubicación	Año erupción	Afectación
Monte Pelée	Isla Martinica	1902	Aproximadamente 29000 fallecidos.
Santa María	Guatemala	1902	Entre 2500 y 7500 fatalidades.
Nevado del Ruiz	Colombia	1985	Entre 22 000 y 26 000 muertos y desaparecidos.
El Chichón	México	1982	1879 pérdidas entre defunciones y desaparecidos.

Fuente: Siebert et al. (2010)

En América Central, unas dos millones de personas viven a menos de 5 km de los volcanes potencialmente peligrosos, ubicándose dentro de las regiones en el ámbito mundial, de más alta exposición al peligro volcánico.

Costa Rica posee cinco volcanes activos en tiempo histórico, un número similar de volcanes dormidos, pero estuvieron activos en algún momento en los últimos 10 000 años, pero otro tanto similar de volcanes en los cuales no se tiene certeza de si han presentado actividad eruptiva en los últimos miles de años. Claramente, más investigaciones vulcanológicas son requeridas para conocer el historial vulcanológico de cada centro eruptivo.

En Costa Rica, en comparación con otros países de Latinoamérica y el Caribe, los cinco volcanes activos en época histórica han sido los responsables de que solo 103 personas hayan fallecido por los efectos directos de la actividad volcánica, siendo el volcán Arenal el que más fatalidades ha cobrado: 78 víctimas. Las pérdidas



Figura 15. Volcanes principales de Costa Rica. Fuente: Elaboración propia.

económicas (infraestructura, agricultura, ganadería, tierras afectadas, evacuación, alberges, etcétera) se estiman en no menos de 47 millones de dólares. Pero se debe de considerar que el riesgo actual es mayor, pues la mayor parte de la población vive dentro del Valle Central (cerca de 2 millones de personas), al pie de algunos de los volcanes más activos como el Poás y el Irazú.

La mayoría de los grandes volcanes costarricenses son parques nacionales o áreas protegidas. Esta singular acción ha puesto a disposición de las actuales y futuras generaciones áreas de extraordinaria belleza y de enorme valor natural. Anualmente, unas 420 000 personas visitan y gozan de estos paradisíacos lugares, siendo los volcanes Irazú y Poás los parques más visitados con 122 000 y 222 000 personas por año, respectivamente, lo cual aumenta el riesgo ante una erupción imprevista, en particular en el volcán Poás.

Las lecciones más recientes que nos han enseñado los volcanes Irazú (1963 - 1965), Arenal (1968 y 2000), Poás (particularmente en los años 1989 - 1991 y 1994), Rincón de la Vieja (1998), y Turrialba (2010 y 2014), nos deben hacer reflexionar que pese a que las grandes erupciones volcánicas no ocurren en tiempo humano de manera frecuente, es necesario tener en cuenta de que aún aquellas de tamaño pequeño, sus efectos pueden ser moderados. Lo anterior se observó con los efectos de la lluvia ácida del volcán Poás sobre la población y la agricultura en 1989 - 1991 y 1994, hasta muy dañinos como ocurrió durante la erupción moderada del Irazú en el período de 1963 a 1965 o la del Arenal en 1968. No hay que olvidar que los efectos de una erupción, pueden no solo restringirse al evento en sí, sino que se pueden extender por días hasta años o incluso décadas.



Figura 16. Víctimas mortales por la erupción del Arenal en 1968. Fuente: Olger "Koki" Aragón.

V. GESTIÓN DEL RIESGO VOLCÁNICO

1. Planes Comunales de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias

Es importante que las comunidades cercanas al volcán elaboren un Plan Comunal de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. Las organizaciones locales deben prever los constantes cambios políticos, de modo que las acciones persistan y puedan siempre estar accesibles a la comunidad y a los expertos. Los planes deben de contemplar una participación activa de la ciudadanía, se recomienda que se estructuren con base a los siguientes pasos:

a. Organización

Es importante que la Comunidad conforme en coordinación con el Comité Municipal de Emergencias, Comités Comunitarios de Emergencias y que a su vez contemplen Equipos de Trabajo o Brigadas. Este Comité debe organizarse acorde al Reglamento de Comités de Emergencias de la CNE.

b. Diagnóstico

Una vez constituido el Comité Comunal de Emergencias, es importante que las comunidades aledañas al volcán elaboren un diagnóstico de las amenazas, vulnerabilidades y consecuentemente los riesgos a los cuales están expuestos además de identificar los recursos internos y externos de la comunidad.

c. Planeamiento

Una vez elaborado el diagnóstico, la comunidad elaborará, con base en las amenazas y las vulnerabilidades identificadas un Plan de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. Además definirá, e identificará las rutas de emergencias (salidas o rutas de evacuación). También es importante elaborar un Sistema de alarma el cual especificará cómo actuar según tipo de amenaza.

Es importante que la comunidad defina dónde ubicar el puesto de mando y los puestos de los Equipos de Tarea o Brigadas.

También es imprescindible que elaboren un croquis de la comunidad, en el cual se indiquen los riesgos identificados y las rutas de evacuación. El croquis tomará en cuenta el (los) escenario (s) de riesgo.

El croquis debe contar con simbología básica (norte geográfico, rutas de evacuación, área de trabajo del Puesto de Mando o Centro de Operaciones, áreas de evacuación, área de atención de heridos, ubicación de equipo de primera respuesta, áreas de foco de incendios).

d. Acondicionar

El diagnóstico permitirá acondicionar o tomar acciones correctivas ante una situación de amenaza o riesgo, es decir en acciones de prevención y atención de situaciones de emergencias y/o desastres.

e. Capacitar

Es importante que la Comunidad elabore un Plan de Capacitación y éste sea canalizado a través de las instituciones gubernamentales y no gubernamentales para fortalecer al Comité Comunal; o sea, buscar mejorar la actitud, el conocimiento, habilidades o conductas de los vecinos. El Plan debe mostrar qué acciones de capacitación o asesoría va a generar el Comité Comunal de Emergencias hacia los vecinos, para explicarles el Plan y las acciones de capacitación a recibir.

f. Ejecutar

El Comité Comunal de Emergencias deberá poner en práctica todas las acciones que fueron plateadas en el planeamiento. Es decir, que una vez identificadas las debilidades de la comunidad, estas se transformarán en acciones o proyectos para disminuir el riesgo. Se debe detallar un cronograma de ejercicios de simulación y simulacro de evacuación, ante sismos, incendios u otros tipos de emergencias a realizar durante el año.

g. Evaluar, corregir y ajustar

Es fundamental que las comunidades revisen y actualicen el Plan Comunal de Prevención y Atención de Emergencias, para ajustar la información, evaluar debilidades y fortalezas, corroborar datos y mejorar las acciones que en él se contemplan, según los ejercicios de simulación y simulacro. Es importante evaluar el grado de conocimiento de los integrantes del Comité.

En resumen, es importante que el Comité Comunal de Emergencias considere en el Plan lo siguiente.

Conocimiento:

- Identificación y caracterización de escenarios de riesgo.
- Análisis y Monitoreo.
- Difusión de la información del riesgo.

Reducción:

- Acciones correctivas.
- Acciones Prospectivas.
- Acciones de protección financiera.

Manejo del desastre:

- Preparativos para la respuesta y recuperación.
- Intervención en la respuesta y recuperación.

2. Planes de Contingencia

La reducción del riesgo involucra la prevención y mitigación, es decir, la disminución expresa de los factores que causan o intensifican los daños. En general, las acciones se concentran sobre la reducción de la exposición de las personas y bienes. Para prevenir que las erupciones volcánicas se vuelvan desastrosas, es importante la realización de planes de contingencia que incluyan al menos lo siguiente:

a. Organización

Es fundamental una organización comunitaria e institucional que promueva la elaboración y persistencia en el tiempo de los planes de contingencia volcánica.

b. Mapas de amenazas volcánicas: identificación de las zonas de peligro, plasmados en mapas estáticos y dinámicos

Los mapas de peligros deben de estar impresos, fácilmente accesibles (no bajo llave) y en las entidades y dirigentes o profesionales clave. El lenguaje debe de ser accesible para cualquiera y en caso de que dicho mapa sea utilizado en una zona de bajo nivel de escolaridad, las figuras deben de ser muy claras, bastante explicativas y con colores muy llamativos.

c. Vigilancia volcánica y comunicación

La vigilancia volcánica debe de ser analizada por los expertos en cada rama e interpretada por un grupo multidisciplinario de vulcanólogos, para finalmente ser transmitida, de mutuo consenso a las autoridades, con el fin de generar un criterio unificado y no crear falsas alarmas. Los medios de comunicación habrán de convertirse en mecanismos efectivos para la difusión de alertas por parte de los científicos encargados de la vigilancia y los funcionarios obligados a alertar a la población.

d. Educación de las personas

Se debe educar a la población, aportar la información correcta sobre los peligros, tipo de actividad más probable, áreas peligrosas y lugares hacia donde evacuar, la educación debe de ser un proceso continuo, particularmente en escuelas y colegios de la zona.

e. Protección financiera

La protección financiera se refiere a las acciones correspondientes que tienden a considerar el límite del riesgo aceptado, para verificar si es aceptable por la comunidad, sociedad o gobierno, analizando los recursos o presupuesto con que se dispone para la respuesta.

VI. ESTUDIOS Y MAPAS DE AMENAZA VOLCÁNICA DE ALGUNOS VOLCANES DE COSTA RICA

Conocer el comportamiento pasado de un volcán es fundamental para comprender su funcionamiento actual y futuro, siendo la base para elaborar mapas de amenaza volcánicas.

Un mapa de amenaza volcánica muestra de manera gráfica y lo más simplificado posible, las áreas que podrían ser afectadas por los múltiples fenómenos eruptivos, generalmente bajo diferentes escenarios y probabilidades.

El mapa deberá de realizarse teniendo en cuenta para quien va dirigido (público en general, tomadores de decisiones o científicos para aconsejar a las autoridades). Si va para la población, debe de ser simple, claro y entendible, con diseños gráficos, tablas, esquemas e imágenes de forma simplificada. Los mapas de peligro son, además, un recurso cartográfico que permite a las autoridades de gobierno, protección civil y guardaparques, la planeación de actividades encaminadas a la prevención, mitigación y respuesta. Dichos mapas deben de describir la distribución probable (probabilidad de ocurrencia y de alcance), en el espacio y en el tiempo, de los productos relacionados con la ocurrencia de las erupciones, y sobre todo, debe de estar disponible o fácilmente accesible.

Varios estudios de peligro volcánico se han realizado por geólogos nacionales y extranjeros cuya referencias bibliográficas se citan al final. A continuación se resume la amenaza volcánica en los cinco volcanes históricamente activos.

1. Volcán Rincón de la Vieja

Este macizo volcánico se ubica en la cordillera de Guanacaste, a unos 25 km al NE de la ciudad de Liberia, con una altitud máxima de 1916 m. Unos 9 cráteres volcánicos se alinean en su cumbre, entre los que destacan el Von Seebach, el Cráter Activo el Santa María, con alturas variables. El Cráter Activo es el más conocido debido a su actividad reciente. El Rincón de la Vieja se encuentra cubierto por vegetación densa excepto en el fondo del cráter y al occidente, debido a los efectos de la lluvia ácida y la caída de ceniza.



Figura 16. Víctimas mortales por la erupción del Arenal en 1968. Fuente: Olger "Koki" Aragón



Figura 17. Ejemplo de charla informativa a la comunidad y autoridades locales sobre la actividad del volcán Turrialba. Fuente: G. E. Alvarado.

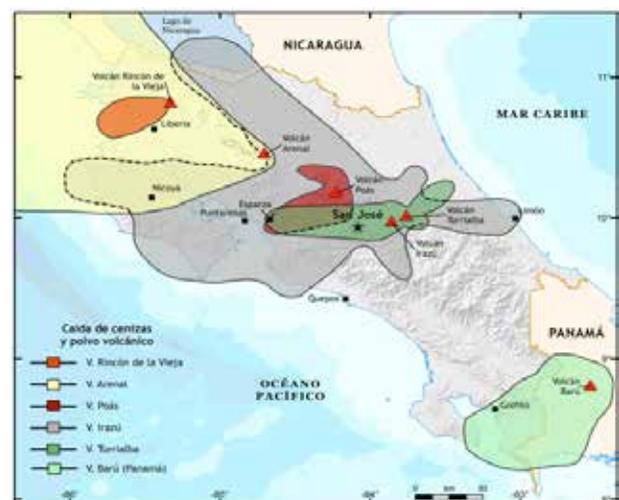


Figura 19. Esquema de la extensión máxima principal de caída de cenizas asociada con los volcanes costarricenses. Se incluye también el área en donde podría caer cenizas en el caso de un reactivar del volcán Barú o Chiriquí en Panamá. Fuente: Elaboración propia.

Un análisis de su registro histórico breve (tan solo unos 150 años), del Rincón de la Vieja, muestra que se han producido al menos 14 erupciones significativas desde 1851, aunque en un mismo año se pudieran registrar varias menores o continuas. Antes de 1850 no hay erupciones bien establecidas con su fecha, pero parece lógico asumir algunas pequeñas erupciones. Con esto, se podrían

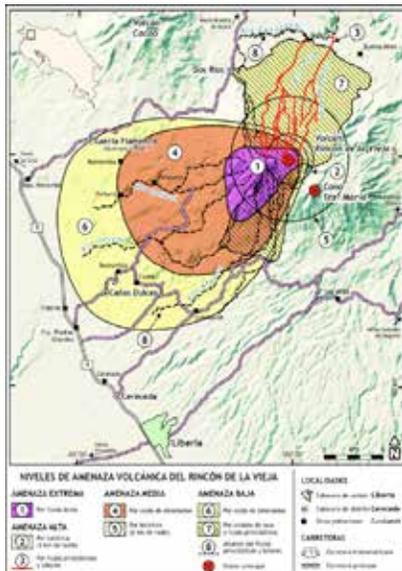


Figura 21. Mapa de peligro volcánico del Rincón de la Vieja. Fuente: Elaboración propia

agrupar en 7 periodos de eruptividad: 1851 - 1863, 1912 - 1915, 1922, 1966 - 1975, 1983 - 1987, 1991 - 1998 y 2011 - 2014.

2. Volcán Arenal

El volcán Arenal de Costa Rica está situado en el distrito La Fortuna de San Carlos, en la provincia de Alajuela. Tiene una altitud de ~ 1755 m. El volcán se encuentra dentro del Parque Nacional Volcán Arenal. Inició su último periodo de actividad en el año 1968, el día 29 de julio a las 7:30 a.m. Desde esa fecha empezó a emitir en forma casi constante coladas de lava y gases con frecuentes explosiones y ocasionales flujos piroclásticos. Por esto y su frecuente actividad, hicieron de este volcán uno de los más activos de Costa Rica y dentro de los 16 volcanes más activos del mundo.

Después de 42 años de actividad eruptiva continua, el volcán no manifiesta explosiones ni coladas de lava desde enero del 2010. Aunque puede resultar aventurado el pensar que el volcán entró en una fase de

dormitar, aun siendo cierto, resulta sumamente difícil el predecir el tiempo con cierto grado de precisión de una próxima erupción volcánica. Lo que sí se sabe, es que el Arenal va a volver a activarse, tarde o temprano (en décadas o en siglos) y que sus erupciones prehistóricas, fueron varias veces más grandes que la de 1968. Por ello, la planificación territorial hacia el futuro, incluso para generaciones de costarricenses que aún no han nacido, deben de contemplar las zonas de peligros planteadas en mapas para media y largo plazo de amenaza volcánica. Dentro de ello, habría que contemplar la formación de nuevos cráteres, particularmente en su flanco oeste y norte.

3. Volcán Poás

El volcán Poás (2687 m) se localiza a unos 45 km al noroeste de San José.

La cima se conforma de tres estructuras volcánicas principales. Botos o Votos (2687 m) es un antiguo cráter ocupado por una laguna fría a una altitud de 2612 m (7° - 17°C, pH 4,39 - 6,5) de 14 m de profundidad máxima, agua cristalina y de fondo semiplano y sedimentado por materiales de las paredes interiores con el aporte de material orgánico.



Figura 23. Cráter activo del volcán Poás con su laguna termomineral hiperácida (pH -0,87 - 1,98; 19 - 50°C) y parte del domo (unos 30 metros de altura sobre el nivel de playa craterica) con actividad de fumarolas intensa. Fuente: G. E. Alvarado.

El cono Von Frantzius (2639 m) se localiza a unos 900 m al norte del cráter activo y se encuentra parcialmente destruido en su flanco sur. El cráter principal (1746 m en sentido norte-sur, 868 m en este-oeste y 260 m de profundidad) está conformado a su vez por tres elementos principales. La laguna caliente y ácida de unos 340 m de diámetro, 40 - 50 m de profundidad, color variable y una temperatura que varía entre los 19 y los 50°C, excepcionalmente más altas, con una acidez entre -0,87 y 1,98. Un domo (cúpula de lava) parcialmente destruido de unos 30 m sobre el nivel del terreno; sirve de barrera en el lado sur al lago y es uno de los sectores más activos en términos de emanaciones. Finalmente, El Playón es una unidad plana que albergó, antes de la salida del domo, la otra mitad sur de la anterior gran laguna craterica.



Figura 20. Cráter activo del Rincón de la Vieja con su laguna hiperácida (pH 0,30 - 1,16) y caliente (28,5° - 50,0°C). Fuente: J.I. Chaves. CNE.



Figura 22. Volcán Arenal visto desde el cerro Chiripa, donde se ubica el OSIVAM. Fuente: Luis Madrigal.

La amenaza extrema está concentrada en la generación de bloques, bombas y fangos calientes, incluyendo las oleadas piroclásticas en las inmediaciones del cráter, constituyendo un peligro serio para los turistas, en particular, dado que no se conocen bien las señales premonitoras de todos los eventos y menos aún su predicción. El alcance máximo de los balísticos históricos es de unos 2,5 km.

Los lahares que se pueden generar de erupciones futuras van a seguir los cauces de los ríos que descienden por sus flancos (ríos La Paz, Ángel, Desagüe, Anonos, Sarchí, Achioté, Prendas y Poasito), constituyendo otro serio peligro, pues podría dejar poblaciones aisladas debido a la destrucción de los puentes o afectar casas cercanas a los cauces de los ríos.

La caída de cenizas y la lluvia ácida, estaría principalmente concentrada en las vecindades del cráter (amenaza extrema) y hacia el suroeste y sur del volcán hasta unos 20 km de semicírculo.

Menos probable (amenaza muy baja pero no improbable) sería la formación de nuevos focos eruptivos, particularmente en su flanco sur, y la efusión de coladas de lava.

4. Volcán Irazú

El Irazú es un escudo volcánico complejo con una nueva medición de su altitud máxima es de 3427,2 m, según los mapas topográficos más recientes. Se localiza a unos 25 km al noreste de San José. Desde la ciudad capital y desde Cartago se le observa como una imponente estructura desde cuya cima se pueden observar ambas costas en días despejados.

Acorde con los estudios vulcanológicos, al menos una erupción importante ocurre cada 185 años como promedio y entre 2 y 3 erupciones de moderada a baja magnitud cada 100 años. Sin embargo, en el caso de una reactivación del Irazú, se desconoce si va a ser de corta duración y magnitud como algunas erupciones en la primera mitad del siglo XX (p. ej., 1924, 1928, 1933 y 1939 - 1940) o prolongadas y con abundante caída de cenizas (p. ej., 1723, 1917 - 1920 y 1962 - 1965). La caída profusa de cenizas sobre el Valle Central tendrá evidentes implicaciones para las fábricas, alambrado eléctrico y telefónico, torres de televisión y transmisión, sistemas de cómputo y agricultura. Las grandes fábricas se verán severamente afectadas y motivará el cierre del Aeropuerto Juan Santamaría.

El otro peligro extremo, a corto plazo, son los lahares en la estación lluviosa y paralelo o ligeramente posterior a un período eruptivo, que generan un alto riesgo a los pobladores aledaños a los cauces de los ríos que descienden del volcán, tales como: Reventado, Virilla, María Aguilar, Tiribí, Torres, Sucio, Toro Amarillo, Rete y Birrís.



Figura 24. Cráter del Irazú con su laguna fría a tibia, que a veces se suele secar. Fuente: G. E. Alvarado.

Las avalanchas de escombros volcánicos (deslizamientos volcánicos) poseen una frecuencia alta en su flanco norte (donde al menos se dio un evento en 1994, pero muchos deslizamientos en años anteriores) y más baja en el sur (depresión del Reventado o Prusia), por lo que al ponderarlo con su intensidad, extrema a alta, la amenaza resultando es extrema en el norte a alta en el sur.



Figura 25. El Irazú en plena actividad eruptiva en 1964. Fuente: Walter Schäer

Menos probable (amenaza muy baja pero no improbable) es la formación de nuevos focos eruptivos al occidente del actual cráter, o en su flanco sur, así como la efusión de coladas de lava.

5. Volcán Turrialba

El volcán Turrialba posee una altitud máxima de ~3320 m según los más recientes mapas topográficos. Se ubica a unos 14 km al noroeste de la ciudad del mismo nombre. Su cumbre posee un gran anfiteatro de origen complejo, de unos 2200 m por 500 – 800 m. Se ubican en esta cima sus 3 cráteres principales. Uno al este ocupado por un cuerpo de agua intermitente, somero y de unos 100 m de diámetro. Un cráter central en cuyas paredes se observa actividad fumarólica, también posee un lago intermitente gracias a las abundantes precipitaciones de la región. En el borde norte se notan algunas terrazas cavadas por antiguos vecinos de la región que explotaron las acumulaciones de azufre con fines farmacéuticos. Finalmente, al occidente se tiene el cráter asociado a la actividad volcánica más reciente.

En los últimos 3500 años, se han verificado al menos 6 eventos explosivos de importancia en el Turrialba, del tipo pliniano, vulcaniano y estromboliano. El pasado período eruptivo importante del Turrialba fue 1864 - 1866, del tipo estromboliano violento hasta vulcaniano, con caída de ceniza hasta Esparza y lahares sobre el cauce del río AQUIARES.

En el futuro, en el caso de un reactivar eruptivo importante, se estima que alrededor del cráter activo, en un radio de 2 - 5 km y particularmente el flanco occidental, va a ser afectado por la sedimentación de piroclastos gruesos y cenizas, por diversos procesos (balísticos, caída, oleadas y flujos). Si la actividad fuese vulcaniana, el área de afectación se incrementará a unos 10 km periféricos al cono y en el caso de una erupción pliniana, los efectos serán mayores, particularmente por el colapso de nubes eruptivas y la formación de flujos piroclásticos por sus flancos así como la sedimentación de pómez hasta los flancos del Irazú y la caída de cenizas gruesas en gran parte del Valle Central. Los efectos en la aviación si serían de consideración en sus rutas de aproximación a los aeropuertos, particularmente el Juan Santamaría. Se estima que aproximadamente 1,5 millones de personas se verán afectadas en el Valle Central y en el valle de Turrialba y alrededores. Dentro de los cauces con peligro potencial de lahares, estarían los ríos Toro Amarillo, Mercedes, Elia, Roca, Guácimo, Guayabo, Guayabito y claramente AQUIARES. Las coladas de lava, por su parte, alcanzarían distancias de unos 3 - 5 km como máximo.

VII. LA VIGILANCIA VOLCÁNICA Y SUS MÉTODOS

Poder pronosticar una erupción volcánica en nuestros días constituye aún un reto enorme para los científicos. La observación directa de las erupciones ocurridas durante el siglo pasado, aunado a la vigilancia volcánica, permiten distinguir algunas señales precursoras del inicio de una erupción, pero en especial si la erupción va a ser grande o si un volcán dormido se va a reactivar.

Los volcanes continuarán siendo impredecibles, la vigilancia volcánica parte de observaciones directas e instrumentales. Hoy en día se cuenta con herramientas poderosas para medir la sismicidad, la deformación del edificio volcánico, la temperatura en el flujo y en la composición de los gases y aguas, tanto directamente en el volcán, como por medio de imágenes de sensores remotos (fotografías, videos, imágenes satelitales, espectrómetros ópticos, observación infrarroja, etcétera). Dentro de los principales sistemas de vigilancia tenemos, en orden prioritario: a) la sismología, b) la geodesia y sus métodos complementarios, c) la geoquímica de gases, d) los estudios geofísicos diversos, e) las imágenes de satélite, f) la observación visual y otros más. Estas tecnologías de punta, unidas a la historia del volcán, ayudan a establecer las zonas de amenaza y los planes de contingencia. Sin embargo, son muy pocos los volcanes que cuentan con todos estos métodos de vigilancia en tiempo real.



Figura 27. Ejemplo de una estación sismológica en el campo.
Fuente: G. E. Alvarado.

En su mayoría, las técnicas de vigilancia volcánica comprenden diversos métodos, entre los que hay que señalar como principales los siguientes:

1. Sismología volcánica

Para analizar la información sísmica se cuenta con sismógrafos, ya sea en tiempo que registran y envían señales permanentemente a los centros sismológicos, o los portátiles, instalados durante crisis sismovolcánicas. Durante las etapas que preceden una erupción, suelen originarse numerosos tipos de temblores, producidos por la intrusión de magma que asciende en el conducto volcánico que alimenta el volcán, por el movimiento de gases o por la fracturación de las rocas.

2. La geodesia

Permite el control de la deformación de la superficie, debido a un cambio de volumen a profundidad. Se usan los Sistemas de Posicionamiento Global (*Global Positioning Satellite: GPS*) para localizar precisamente un punto sobre la superficie por triangulación utilizando el rastreo de señales de satélites. Los distanciómetros son equipos topográficos basados en rayos láser que detectan cambios en la distancia de millonésimos de milímetro mientras que los inclinómetros electrónicos son equipos sensibles a cualquier cambio en la pendiente de las laderas del volcán o su cráter. La Interferometría de radar de apertura sintética (conocida por su abreviación en inglés como *InSAR*) es igualmente una técnica usada para medir deformación, debido a las variaciones en la distancia del terreno al sensor. En el caso de los volcanes, se le utiliza a partir de imágenes satelitales o mediante un vehículo aéreo no tripulado (dron o *UAV: Unmanned Aerial Vehicle*) para detectar pequeñas variaciones topográficas debidas a la inflación y deflación de una gran área. Con ello se pretende detectar cambios de presión en profundidad (por ejemplo una inyección de magma), para vigilar coladas de lava, la estabilidad de los flancos del volcán, etcétera. En general, con esta técnica se puede estimar los volúmenes de lava y estimar la profundidad de un cuerpo magmático que esté produciendo deformación.

3. Los métodos geofísicos

La geofísica estudia la estructura y la dinámica del interior del volcán. Por ejemplo, permite medir la variación de parámetros físicos (gravedad, intensidad del campo eléctrico o magnético) debido al movimiento de fluidos (gas, agua, magma) a profundidad. Una roca fundida es menos densa que una roca sólida, entonces un cuerpo magmático no genera un campo gravitacional tan alto como el resto del edificio volcánico lo que se puede medir con un gravímetro. Del mismo modo, el campo magnético y el eléctrico de un cuerpo ígneo son diferentes y suelen contrastar con su medio en función de las propiedades (densidad, grado de fracturación, presencia de fluidos o agua, temperatura, etcétera). La sismología es una especialidad de la geofísica.

4. La geoquímica de las aguas y gases volcánicos en lagos cratéricos y las fuentes termales

Los gases emitidos por un volcán varían en proporción y en volumen con la profundidad del magma. Medir la composición (en el campo y en laboratorio) y el flujo de estos gases da información sobre la dinámica del magma. Además, estos gases reaccionan con el agua meteórica y entonces al vigilar la composición de las aguas de los lagos cratéricos y de las fuentes termales también aporta datos valiosos sobre la dinámica del volcán.



Figura 28. Medición de la cantidad de dióxido de azufre saliendo por la pluma de gases del Turrialba a la distancia. Fuente: Geoffroy Avard, OVSICORI.



Figura 29. Medida de las temperaturas de las fumarolas en el volcán Turrialba. En la foto inserta, se observan los resultados de temperatura de la boca activa del volcán. Fuente: J.I. Chaves CNE; Recuadro: Geoffroy Avard, OVSI-CORI

5. Termometría

Mediante cámaras especiales, de medición remota (a distancia) se puede tener una imagen de las temperaturas. Permite mapear en zonas calientes los cambios del área: migración de un campo de fumarolas, variaciones en una laguna volcánica como las células de convección, partes más calientes de una colada de lava durante su avance, etcétera.

VIII. LOS OBSERVATORIOS VULCANOLÓGICOS EN COSTA RICA

A partir del recrudecimiento de la actividad del volcán Irazú en marzo de 1963, se inició en Costa Rica el estudio, prevención y mitigación de los peligros geológicos de forma sistemática y organizada.

Posterior al despertar inesperado del volcán Arenal en 1968, se intensificó la investigación científica de los demás volcanes del país, hoy responsabilidad de tres centros de vigilancia e investigación sismológica y volcánica.

Los organismos que se encargan de estudiar la actividad de los volcanes en Costa Rica son: la Red Sismológica Nacional (RSN), el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSI-CORI - UNA) y el Observatorio y Vulcanológico de Arenal y Miravalles (OSIVAM).

La RSN está conformada por la Sección de Sismología, Vulcanología y Exploración Geofísica de la Universidad de Costa Rica (UCR) y el Área de Amenazas y Auscultación Sismológica y Volcánica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), quien a su vez está a cargo del OSIVAM.

La RSN tiene una red sismológica permanente con cobertura en todo el país, con varios puntos de control localizados cerca de los volcanes activos. En los volcanes Rincón de la Vieja, Miravalles, Tenorio, Poás, Irazú y Turrialba se tienen estaciones sismológicas, se realizan estudios geoquímicos, de temperatura tanto en agua como en gases, observaciones detalladas de campo indicando cambios dentro del cráter (cambios en la ubicación de las fumarolas, grietas) y de los lagos cratericos (cambios en el nivel del agua, coloración, temperatura y pH). También se realizan estudios geológicos detallados de todos los volcanes, que incluye el estudio de los productos explosivos, coladas de lava, petrología ígneas, caracterización de las fallas activas, morfología, sintetizados en mapas geológicos, neotectónicos y de peligro volcánico.



Fig. 31. En la parte superior las instalaciones de la RSN en la Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. Abajo, las instalaciones del OSIVAM en Quebrada Grande de Tilarán, en instalaciones del ICE. Fuente: Laura Hidalgo, Oficina de Divulgación de la UCR.



Fig. 30. Primer observatorio vulcanológico del continente Americano, construido en 1964 a raíz de la actividad del Irazú. Fuente: Walter Shäer

Por su parte, el Observatorio Sismológico y Vulcanológico de Costa Rica (OVSI-CORI), opera una red sismológica con transmisión en tiempo real que cubre todo el país, teniendo estaciones sismológicas en los volcanes Rincón de la Vieja, Miravalles, Arenal, Poás, Irazú y Turrialba. Además, cuenta con estaciones sismológicas portátiles para el seguimiento de microsismicidad local o actividad volcánica. Dentro de las labores de esta institución está la vigilancia de la deformación del terreno (GPS permanentes, InSAAR, distanciometría, nivelación). El área geoquímica vigila en tiempo real el flujo de SO_2 y la composición de los gases de dos volcanes y completa

su vigilancia con el análisis regular en laboratorio de las aguas cratéricas, de las fuentes termales, de las lluvias ácidas y de los gases volcánicos sacados directamente con la técnica de Giggenbach para los volcanes principales del país (Rincón de la Vieja, Miravalles, Tenorio, Arenal, Platanar, Poás, Barva, Irazú y Turrialba). Estos estudios se complementan con medidas en el campo de temperatura, de los flujos y de la composición de los gases. También se estudia el flujo del gas radón (emanometría), se hacen ocasionales estudios gravimétricos, y se estudia la petrología de las rocas.



Fig. 32. Entrada principal al Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI), de la Universidad Nacional. Fuente: Geoffroy Avard



Fig. 33. Reunión del Comité Asesor Técnico de Sismología y Vulcanología en la CNE. Fuente: G.E. Alvarado.

Cabe mencionar que en Costa Rica existe un organismo de coordinación para asuntos volcánicos a nivel nacional, denominado Comité Técnico Asesor (CAT) de Vulcanología. En este caso, está representado por expertos en el campo de las tres instituciones del país relacionadas con la investigación y vigilancia volcánica, la UCR, el ICE y la UNA, en coordinación con la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). A través de la CNE se promueve un sistema de alerta y protocolo, para determinar en qué momento las autoridades nacionales y locales deben activar las acciones prevención (alerta o evacuación) ante una crisis y de auxilio en el caso de una erupción.

Para más información y conocer las diversas investigaciones vulcanológicas que se realizan en las instituciones mencionadas, se recomienda consultar:

a. <http://www.cne.go.cr>

b. <http://www.rsn.ucr.ac.cr/>

c. <http://www.rsn.ucr.ac.cr/index.php/vulcanología/semáforo-volcanico>

d. <http://www.facebook.com/RSN.CR>

e. <https://twitter.com/RSNcostarica>

f. <http://www.ovsicori.una.ac.cr/>

g. <https://www.facebook.com/OVSICORI>

h. https://twitter.com/OVSICORI_UNA/

IX. ¿CÓMO CONVIVIR CON UN VOLCÁN ACTIVO Y QUÉ HACER ANTE UNA ERUPCIÓN VOLCÁNICA?

Los volcanes activos en Costa Rica como el Volcán Rincón de la Vieja, Arenal, Poás, Irazú, Turrialba, entre otros, podrían presentar un escenario de riesgo con los siguientes parámetros anormales:

- Sismicidad volcánica local frecuente de bajo nivel.
- Liberación de gases principalmente de vapor de agua entre otros materiales.
- Manifestación de lluvia ácida.
- Liberación de energía acelerada.
- Posibles daños en salud, entre otros.

Ante ello, se recomienda:

- Aprender acerca de su entorno geográfico, comunidad, necesidades y tipos de amenaza volcánica que podrían afectarle.
- Participar y ayudar para lograr una comunidad informada, organizada y preparada. El Comité Municipal y Comunal de Emergencias debe organizarse según el Reglamento de Comités de Emergencias de la CNE.
- Monitoreo más frecuente del fenómeno.
- Revisión del plan de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias y Plan de Contingencias para amenaza volcánica.
- Limitar el acceso a los volcanes.
- Advertencias de peligro a la navegación aérea.

1. Recomendaciones a la población que se vive cerca de un volcán activo

- Planificar lo que debe hacer con su familia en caso de una erupción volcánica.
- Estar siempre atento a los informes de las autoridades y especialistas sobre el estado de la actividad del volcán.
- En caso de un evento inesperado, seguir las recomendaciones y planes de contingencia previamente elaborados.
- Identifique las rutas de evacuación para estar preparados para una posible evacuación. Poseer dinero en efectivo como prevención por si los cajeros automáticos dejan de funcionar. La principal norma de seguridad y protección es la evacuación oportuna.
- Establecer mecanismos de evacuación junto con la familia (qué hacer ante una erupción volcánica). Hay que conocer los sitios de albergue.
- Si tuvo que evacuar su hogar, y al volver se encuentra con personas saqueando, no los enfrente solo, pida ayuda a instituciones de socorro o policial.
- Al observar alguna actividad anómala o particular en el volcán, notifique a las autoridades de su comunidad, a los observatorios vulcanológicos o al 9-1-1.
- Tener comunicación con los Comités Comunitarios y Municipales de Emergencias.
- Respetar las instrucciones de las autoridades y mantenerse alertas.
- Informar sobre la liberación de gases que sobrepase el nivel de respiración-olor detectable por ser intenso y fuerte.
- Alejarse del lugar y evitar las áreas hacia donde sopla el viento proveniente del volcán.
- Usar pantalones largos y camisa manga larga.
- Mantenerse alejado del área, las explosiones laterales pueden viajar muchos kilómetros desde la montaña.
- En caso de emergencia, escuche la radio para informarse sobre las instrucciones de la autoridad a cargo.
- No hacer caso de las murmuraciones, espere a que sean emitidas las noticias por funcionarios en los diferentes medios de comunicación.
- No trate de visitar el volcán simplemente para ver qué está pasando, pues resulta inconsciente exponerse a un riesgo innecesario. Tratar de observar de cerca un volcán en erupción es una idea que puede costarle la vida.
- Limitar el acceso a los cráteres y cauces de ríos que eventualmente pueden arrastrar lahares o presentar crecidas inusuales.
- Evite respirar gases nocivos o ceniza volcánica fina (polvo). Mantenga fijo un paño húmedo sobre su cara (boca y nariz) o una mascarilla, para facilitar la respiración. En caso de tener una dolencia respiratoria, evite todo contacto con la ceniza y gases. La exposición prolongada a la lluvia ácida puede producir diversos problemas de salud tales como: cefalea, dermatitis, rinitis, conjuntivitis, gastritis, problemas respiratorios, náuseas, vómitos, diarrea, faringitis, broncoespasmos, y resequedad de la piel.
- La ceniza puede provocar ardor e inflamación en los ojos. No use lentes de contacto. Reduzca los ejercicios físicos al aire libre para evitar la inhalación de cenizas.
- En caso de tener una dolencia respiratoria, evite todo contacto con la ceniza y permanezca dentro de su hogar, hasta que las autoridades informen que ya no hay riesgo.
- Prepare artículos de limpieza (escobas, brochas, aspiradores, palas) para limpiar con cuidado la ceniza de los techos solo si es abundante, ya que al ser pesada, puede provocar que su vivienda colapse. Pero igualmente, puede ser muy riesgoso limpiar los techos por el peligro a caerse debido a que la ceniza se puede volver resbaladiza o por tocar accidentalmente un cable del tendido eléctrico.
- No arroje la ceniza en las tuberías ni en las alcantarillas, dado que las puede obstruir.
- Si le es posible, mover la vegetación (particularmente árboles) cercanos a su vivienda, para evitar que la acumulación de ceniza provoque el rompimiento de ramas de árboles y arbustos.
- Proteger las fuentes de abastecimiento de agua potable. Evitar almacenar agua de lluvia para beberla, especialmente de techos metálicos o recogida en estaciones. En caso de tener que recolectar agua de ríos y manantiales, es mejor filtrarla y desinfectarla, para ello consulte al Ministerio de Salud.

- Durante las erupciones volcánicas el agua potable suele escasear y además se aumenta su uso para el lavado de ropa, vehículos, limpieza de comidas, techos, etcétera. Use detergentes en vez de jabones en barra, ya que estos se suelen impregnar de ceniza. Todo ello suele culminar en un racionamiento no deseado de agua.
- Lave bien los alimentos (particularmente los vegetales) que vaya a consumir. El comer alimentos con ceniza nos puede causar dolor de estómago y diarrea. No comer ni beber ningún alimento que sospeche que se encuentra contaminado.
- Mantener documentos personales accesibles (cédula de identidad, licencia de conducir, carné de seguro social, títulos de propiedad, etcétera).
- Tener a mano cobertores de plástico para proteger los equipos electrónicos o sensibles a la ceniza (computadoras, maquinaria, etcétera).
- Si se es propietario de vehículos automotores, adquirir de inmediato los cobertores especiales que se venden en el comercio para protegerlos. Considere esto como prioridad porque los motores son muy sensibles a presentar desperfectos por causa de las cenizas volcánicas.

2. Recomendaciones adicionales para las comunidades

- Dar a conocer los mapas de amenazas volcánicas, en particular donde vive cada familia y hacia dónde debe de eventualmente evacuar.
- Aprender y enseñar a convivir bajo condiciones de riesgo mediante políticas para la capacitación de conglomerados humanos.
- Prever insumos y suministros para situaciones de emergencia.
- Respetar las normas de prohibición de acceso a los sectores declarados peligrosos.
- Estar bien informados y no creer en los rumores falsos que se propagan de personas no autorizadas. Además, mantener un alto nivel de información oficial. Desmitificar los conceptos erróneos y hacer uso adecuado de la memoria histórica. Para ello se pueden preparar folletos instructivos con la colaboración de personal científico, garantizándose que solamente un vocero oficial hable con los medios.
- Conocer los lugares de albergue con anticipación, o casas de familiares adonde alojarse fuera del peligro, entendiendo que se encuentran en lugares seguros.



3. Recomendaciones para las Instituciones

Tanto a nivel central como local deben tomar en cuenta:

- Promover reuniones en la comunidad para organizarse y plantear los problemas existentes para resolverlos.
- Preparar a los Comités Municipales y Comunales de Emergencia según lo que el SNGR y las autoridades hayan establecido.
- Revisar y actualizar el plan de contingencia y consecuentemente hacer los ajustes necesarios.
- Establecer mecanismos de evacuación y rutas fijas para poner a salvo las familias durante una erupción volcánica.
- Garantizar el abastecimiento de agua potable. Proteger las fuentes de agua y las estructuras para las plantas de tratamiento. Individuos: cuota mínima de “supervivencia”: 7 litros diarios por persona (sostenible sólo por unos pocos días). Según la OMS para beber: 3 a 4 litros diarios por persona. Para preparación de comida, limpieza: 2 a 3 litros diarios por persona. Individuos: cuota a mediano plazo: 15 a 20 litros diarios por persona (sostenible por unos pocos meses). Para beber: 3 a 4 litros diarios por persona. Para preparación de comida, limpieza: 2 a 3 litros diarios por persona Para higiene personal: 6 a 7 litros diarios por persona Para lavado de ropa: 4 a 6 litros diarios por persona.
- Lograr eficacia real en los servicios básicos de saneamiento, entre ellos la eliminación de aguas residuales y residuos sólidos.
- Estimular las normas para una buena higiene personal. Proporcionar medidas de protección, manipulación de alimentos y disposición final de residuos.
- Poseer una estrategia integrada de salud. Para ello, se requiere identificar los escenarios de salud y las necesidades, planificar la respuesta administrativa y la división de los planes en unidades autosuficientes, además de formular un plan hospitalario y de contingencia para desastres.
- Compilar información básica (datos demográficos, epidemiológicos).



Figura 34. Ejemplos de rótulos informativos y de advertencia sobre áreas de peligro volcánico y rutas de evacuación.
Fuente: N. Campos. CNE (arriba) y J. I. Chaves. CNE (abajo).

4. Recomendaciones en caso de evacuación

- Mantener documentos personales en carpetas accesibles y a mano (identificaciones, títulos de propiedad, etcétera).
- Solo llevar lo indispensable. Limite el equipaje a lo que pueda transportar a mano o en una mochila o salveque, para tener facilidad de movimiento.
- Antes de evacuar, desconectar la energía eléctrica y los teléfonos, cortar el suministro de agua y gas; asegurarse cerrar bien puertas y ventanas.
- No esperar al último momento para evacuar y tomar la(s) ruta(s) de evacuación predeterminada(s).
- Evite manejar pero si tiene que hacerlo, hágalo con prudencia, pues las cenizas reducen la visibilidad y puede perder el control por derrape en la carretera. Use los limpiaparabrisas y mantenga las luces del auto encendidas.
- Aléjese del lugar y evite las áreas hacia donde sopla el viento proveniente del volcán, o de los cauces o gargantas de las montañas, sitios preferenciales de corrientes de lodo (lahares) y flujos piroclásticos.
- Determinar sitios de albergue, familiares y amigos fuera del área de peligro.
- Usar pantalones largos y camisa manga larga, abrigo o capa gruesa, sombrero y anteojos. Las cobijas pueden ser necesarias. No olvidar los ponchos o capas impermeables.
- Escuche una radio de batería o vea por la televisión o en los informes cortos de las redes sociales formales, para obtener noticias de la emergencia y atender posibles instrucciones de la autoridad a cargo.
- Llevar: agua fresca, alimentos enlatados, abrelatas, dulces y galletas, velas y fósforos, mascarilla, lentes protectores, impermeable, linterna con dos juegos de baterías, radio portátil con dos juegos de baterías o pilas.
- Tener los teléfonos de las instituciones de primera respuesta (Cruz Roja, Bomberos, Fuerza Pública) y de ser posible del Comité Municipales de Emergencias. En caso de emergencia llame al 9-1-1. Use el teléfono solo en casos urgentes, para no saturar las redes.
- Acatar las instrucciones de las autoridades y mantenerse alerta. Asegúrese de la calidad y confiabilidad de la información.
- Establecer los mecanismos para proteger o trasladar a un lugar seguro: animales, productos agrícolas y lecheros, así como enseres (muebles, utensilios básicos de cocina, recuerdos familiares primordiales, maquinaria, herramientas de trabajo, etcétera).
- Si tienen animales, albergarlos en sitios cubiertos, y disponer de pasto, agua y además alimentos. Evite que consuman agua y alimentos si están contaminados y prever tratamientos sintomáticos por contaminación volcánica. No permitir la convivencia con humanos para evitar la zoonosis.
- Al evacuar su hogar y regresar, puede que personas estén saqueando; no los enfrente, pida ayuda a la policía.

5. Recomendaciones para los turistas que visitan un volcán activo

- Si va a visitar un volcán, infórmese de previo sobre su actividad, particularidades, riquezas naturales, accesibilidad, condiciones climáticas y requisitos de seguridad.
- Lea los rótulos y folletos informativos relacionados con el volcán, particularmente sobre los eventuales peligros y rutas de evacuación.
- Disminuya el grado de permanencia cerca del cráter, aún en el caso de actividad regular.
- Si piensa visitar un volcán con emanaciones de gases fuertes (actividad exhalativa), tenga en consideración que los gases podrían afectarlo. Si padece de enfermedades respiratorias (asma, bronquitis, enfisema, etcétera) o del corazón, es preferible que no visite el volcán. Lo mismo es válido para personas de edad avanzada o niños de edad corta.
- Si sufre de pronto irritación en los ojos o dolores de cabeza, se recomienda alejarse del área, y en caso necesario, acudir a un puesto de salud cercano.
- Obedecer las instrucciones de las autoridades y mantenerse alerta.
- Aunque la probabilidad es muy baja, el visitar un volcán activo de cerca es una idea que puede costarle la vida o causarle lesiones severas.
- Ponga su vehículo en posición de salida.



Figura 34. Grupo de turistas en el borde del cráter activo del Volcán Poás a 2575 m. de altitud. Fuente: N. Campos. CNE.

6. Recomendaciones a los comunicadores antes y durante una crisis volcánica

- Conocer y familiarizarse con la información sobre el volcán y las comunidades potencialmente afectadas.
- Asistir a las conferencias de prensa y eventos (ejercicios de simulación, simulacros, visitas a los observatorios).
- Desarrollar relaciones de trabajo confiables.
- Diseñar protocolos de manejo de información. Ajustar y ejecutar los planes de comunicación a la situación de crisis imperante. Unificar las versiones de la información y evitar el lenguaje especializado. No entregar información selectiva.
- Difundir regularmente información al público. La información deberá de ser veraz y única para eliminar rumores y reducir la incertidumbre.
- Consultar al vocero institucional. Difundir información sobre acciones de respuesta presentes y futuras.
- No suministrar nombres de heridos o fallecidos hasta su notificación oficial.
- Transmitir en forma reiterada los mensajes que sean importantes para la comunidad y preferiblemente usar un logotipo introductorio de reconocimiento inmediato.
- Es deseable que los medios de comunicación emitan información acorde con las fuentes oficiales del manejo de la emergencia. No transmitir información de fuentes no oficiales o alimentar rumores, insinuaciones y ni fomentar desacuerdos o intrigas entre las instituciones científicas.
- Los mensajes deben de ser claros en sus términos técnicos, cortos, simples, coherentes, transparentes, oportunos y prudentes. Se deben de utilizar números, porcentajes y proporciones con cuidado y dentro del contexto. Se debe de evitar las abreviaturas. Evalúe la calidad del mensaje.
- Utilizar testimonios de personas relevantes para la comunidad, pero no alarmistas y que generen falsas expectativas. No excluya a las minorías y respete los valores culturales.

7. Elementos que debe contener la mochila para emergencias (para 72 Horas)

- El maletín o mochila; agua pura (2 litros de agua al día por persona); luz: velas, linternas LED o “barras de luz química” que se doblan o se agitan y producen una luz fluorescente durante horas, sin necesidad de combustión o pilas.
- Alimentos: galletas, barras energéticas, embutidos al vacío, chocolates o alimentos enlatados que puedan ser consumidos sin necesidad de agregar agua o sin necesidad de ser cocinados y por su envase gozan de larga duración.
- Fuego: ya sea fósforos o un encendedor.
- Una navaja multiusos: asegúrese que esté bien engrasada y con el filo necesario en sus componentes.
- Una radio: con pilas de repuesto o mejor aún si funciona a base de dínamo, para estar informado de las labores de rescate.
- Un cambio de ropa: tanto ropa exterior como interior, guantes, gorro y un par de zapatos de ser posible.
- Kit de higiene personal: crema dental, hilo dental, cepillo dental, jabón de manos, papel higiénico, toallas sanitarias (en el caso de las damas), rasuradora.
- Mapas: ya sea la diagramación de su casa, el edificio donde se encuentra o bien mapa de la ciudad.
- Un celular: Es posible que las redes sociales caigan o que la señal se pierda pero este es un elemento que no puede faltar.
- Documentos de identificación: copias de cédula, pasaporte, acta de nacimiento o cualquier otro documento que le identifique. Debe cuidar que estén dentro de una bolsa plástica sellada para evitar que la humedad los dañe.
- Datos de contacto: teléfonos de emergencia, teléfonos de familiares y amigos.
- Un botiquín de primeros auxilios: con medicamentos recetados (que usted tenga que tomar habitualmente) y medicamentos de venta libre (antialérgicos, anti diarreicos, analgésicos, etc.), mascarilla naso bucal para cubrirse del polvo, guantes de látex, lentes transparentes, vendas, gazas, apósitos, curitas, tijeras, mantas térmicas, esparadrapo, jabón antibacterial, materiales para desinfectar heridas, manual de primeros auxilios.
- Copias de llaves: tanto de la casa como de su vehículo.
- Dinero en efectivo: de baja denominación.
- Un silbato: para guiar a los cuerpos de rescate.
- Una cobija o saco de dormir.
- Papel y lápiz: para tomar notas.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS (UTILIZADAS Y RECOMENDADAS)

1. ABARCA, S., ACOSTA, P., DURÁN, M., GONZÁLEZ, C., LÜCKE, O., MARÍN, C., MATAMOROS, R., PADILLA, A., QUINTANILLA, E., RAMÍREZ, C., SANDOVAL, M., VARGAS, C. A. y VINDAS, A., 2006: Tefroestratigrafía y peligro volcánico del sector sur y suroeste de los volcanes Barva y Poás, Cordillera Volcánica Central, Costa Rica.- 96 págs. + apéndices + mapas. Inf. final Campaña Geológica, Escuela Centroamericana de Geología, Univ. de Costa Rica.
2. AGUILAR, I. y ALVARADO, G. E., en prensa. Estimación de las pérdidas humanas y económicas provocadas por el vulcanismo en Costa Rica durante el siglo XX y parte del siglo XXI.- Rev. Geol. Amér. Central.
3. ALVARADO G. E., 1993: Volcanology and Petrology of Irazú Volcano, Costa Rica.- xxxv + 261 págs. Univ. de Kiel, Alemania [Ph.D. thesis].
4. ALVARADO G. E., 2005: Costa Rica: Land of volcanoes.- 309 págs. EUNED, San José.
5. ALVARADO G. E., 2009: Los volcanes de Costa Rica: Geología, historia, riqueza natural y su gente.- xxxii + 335 págs. EUNED (3da edición); San José.
6. ALVARADO G. E. y SCHMINCKE, H. - U., 1994: Stratigraphic and sedimentological aspects of the rain triggered lahars of the 1963-1965 Irazú eruption, Costa Rica.- Zbl. Geol. Paläont. Teil, 1 (H. 1/2): 513-530.
7. ALVARADO G. E., y SOTO, G.J., 2002: Pyroclastic flows generated by crater-wall collapse and outpouring of the lava pool of Arenal volcano, Costa Rica.- Bull. Volcanol. 63: 557-568.
8. ALVARADO G. E. y SCHMINCKE, H. - U., 2013: The 1723 A.D. Violent Strombolian and Phreatomagmatic Eruptions at Irazú Volcano, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 48: 41-61.
9. ALVARADO G. E., SOTO, G. J., GHIGLIOTTI, M. y FRULLANI, A., 1997: Peligro volcánico del Arenal.- Bol. OSIVAM, 8 (15-16): 62-82.
10. ALVARADO G. E., ACEVEDO, A. P., MONSALVE, M. L., ESPÍNDOLA, J. M., GÓMEZ, D., HALL, M., NARANJO, J. A., PULGARÍN, B., RAIGOSA, J., SIGARÁN, C. y VAN DER LAAT, R., 1999: El Desarrollo de la Vulcanología en Latinoamérica en el Último Cuarto de Siglo XX.- Rev. Geofísica, 51: 185-241; México.
11. ALVARADO G. E., SIGARÁN, C. y PÉREZ, W., 2000a: Vulcanismo: sus productos y geoformas.- En: DENYER, P. y KUSSMAUL, S. (eds.): Geología de Costa Rica, pp. 133-154. Ed. Tecnológica de Costa Rica; Cartago.
12. ALVARADO G. E., PÉREZ, W. y SIGARÁN, C., 2000b: Vigilancia y peligro volcánico. -En: DENYER, P. y KUSSMAUL, S. (eds.): Geología de Costa Rica, pp. 251-272. Ed. Tecnológica de Costa Rica; Cartago.
13. ALVARADO G. E., CARBONI, S., CORDERO, M., AVILÉS, E., VALVERDE, M. y LEANDRO, C., 2003: Estabilidad del cono y comportamiento de la fundación del edificio volcánico del Arenal (Costa Rica).- Bol. OSIVAM, 14 (26): 21-73.
14. ALVARADO G. E., VEGA, E., CHAVES, J. y VÁZQUEZ, M., 2004: Los grandes deslizamientos (volcánicos y no volcánicos) de tipo debris avalanche en Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 30: 83-99.
15. ALVARADO G. E., CARR, M. J., TURRIN, B.D., SWIHER, C., SCHMINCKE, H. - U. y HUDNUT, K. W., 2006a: Recent volcanic history of Irazú volcano, Costa Rica: alternation and mixing of two magma batches, implying at least two intracrustal chambers.- En: ROSE, W. I., BLUTH, G. J. S., CARR, M. J., EWERT, J. W., PATINO, L. C. y VALLANCE, J. W., (eds.): Volcanic Hazards in Central America. Geol. Soc. Amer. Sp. Paper, 412: 259-276.
16. ALVARADO G. E., SOTO, G. J., SCHMINCKE, H. - U., BOLGE, L. L. y SUMITA, M., 2006c: The 1968 andesitic lateral blast eruption at Arenal volcano, Costa Rica.- J. Volcanol. Geotherm. Res., 157 (1-3): 9-33.
17. ALVARADO G. E., DENGU, C., MARTENS, U., BUNDSCHUH, J., AGUILAR, T. y BONIS, S. B., 2007a: Stratigraphy and geologic history.- En: BUNDSCHUH, J. y ALVARADO, G. E. (eds.): Central America: Geology, Resources and Hazards. Taylor & Francis, Londres/London. 1: 345-394
18. ALVARADO G. E., SOTO, G. J., PULLINGER, C. R., ESCOBAR, R., BONIS, S., ESCOBAR, D. y NAVARRO, M., 2007b: Volcanic activity, hazards, and monitoring.- En: BUNDSCHUH J. y ALVARADO, G. E. (eds.): Central America: Geology, Resources and Hazards. Taylor & Francis, Londres/London. 2: 1155-1188.

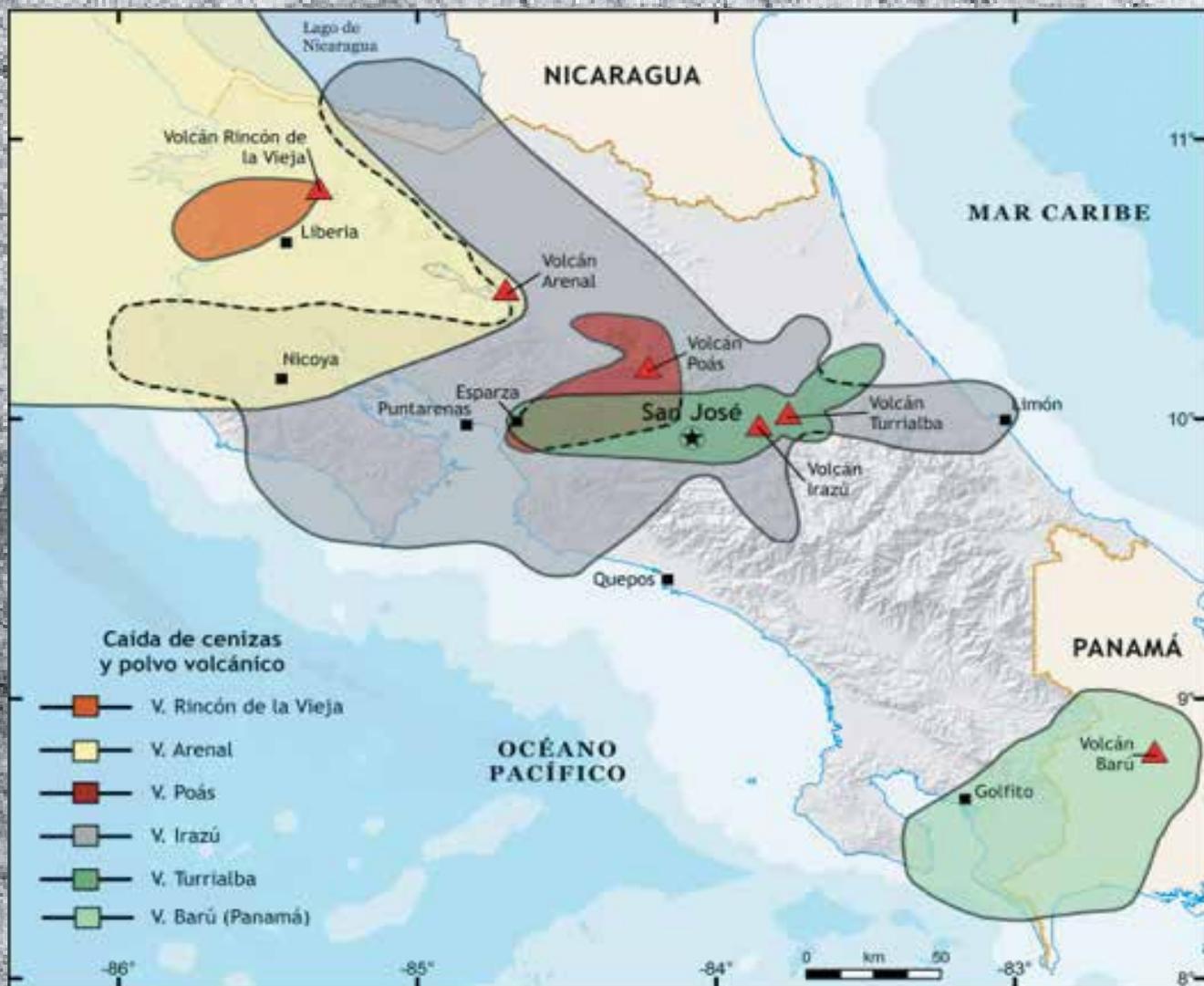
19. ALVARADO G. E., CARBONI, S., CORDERO, M., AVILÉS, E. y VALVERDE, M., 2010: Stability of the cone and the foundation of Arenal volcano, Costa Rica.- En: OLALLA, C., HERNÁNDEZ, L. E. RODRÍGUEZ-LOSADA, J. A., PERUCHO, Á. y GONZÁLEZ-GALLEGO, J. (eds.): Volcanic Rock Mechanics. Rock Mechanics and Geo-engineering in Volcanic Environments. CRC Press, Taylor & Francis Group, A. Balkema book, London, pp. 135-150.
20. ALVARADO G. E., SOTO, G. J., SALANI, F. M., RUIZ, P. y HURTADO DE MENDOZA, L., 2011: The formation and evolution of Hule and Rio Cuarto maars, Costa Rica.- J. Volcanol. Geotherm. Res. 201: 342-356.
21. ALVARADO Z., X., 2006: Impacto en la salud ambiental por efecto de emisiones de dióxido de azufre del volcán Arenal, en la población de la Fortuna de San Carlos.- Rev. Costarricense de Salud Pública., 15 (29): 25-34.
22. BEAUBIEN, S. E., CIOTOLI, G. y LOMBARDI, S., 2003: Carbon dioxide and radon gas hazard in Alban Hills area (central Italy).- J. Volcanol. Geotherm. Res. 123: 63 - 80.
23. BUNDSCHUH, J. y ALVARADO, G. E. (eds.) 2007: Central America: Geology, Resources and Hazards.- xii + 1311 págs. Taylor & Francis, vol. 1 y 2, Londres
24. CLARK, S.K., 1993: The recent eruptive history of Irazú volcano, Costa Rica: A study of tephra deposits of the last 2500 years with geochemical and isotopic analysis of the 1963-1965 eruption.- 186 págs. Univ. Iowa, [M. Sc. tesis].
25. CLARK, REAGAN, M. K. y TRIMBLE, D. A., 2006: Tephra deposits for the past 2600 years from Irazú Volcano, Costa Rica. Volcanic Hazards in Central America.- En: ROSE, W. I., BLUTH, G. J. S., CARR, M. J., EWERT, L. C., PATINO, L. C. y VALLANCE, J. W. (eds.): Geol. Soc. Amer. Sp. Paper, 412: 225-234.
26. DE LA CRUZ-REYNA, S., 1996: Long-Term Probabilistic Analysis of Future Explosive Eruptions.- En: SCARPA, R. y TILLING, R. I. (eds.): Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards. Springer-Verlag, Berlín, 599-629.
27. FOURNIER D'ALBE, E. M., 1979: Objectives of volcanic monitoring and prediction.- J. Geol. Soc. Lond., 136: 321-326.
28. HEIKEN, G., MURPHY, S., HACKETT, A. y SCOTT, K., 1995: Volcanic Hazards and Energy Infrastructures.- U.S Department of Energy Code EH-33: Office of Risk Analysis and Technology. LA-UR, 95-1087: 1-45.
29. HIDALGO, A., 1997: Evaluación sobre la eventual generación de una gran ola (Seiche) en el Embalse de Arenal, debido a la entrada de un flujo de detritos volcánicos.- Bol. OSIVAM, 8 (15-16): 46-56.
30. JEREZ. D. y CLINE, M., 1989: Preliminary hazard map of Poás and Barva volcanoes.- USAID/RET Corporation (1: 50 000).- En: WOODWARD-CLYDE, 1993: A preliminary evaluation of earthquake and volcanic hazards significant to the major population centers of Central Valley, Costa Rica.
31. JEREZ. D. y CLINE, M., 1990: Preliminary hazard map for Turrialba volcano.- USAID/RET Corporation (1: 50 000).- En: WOODWARD-CLYDE, 1993: A preliminary evaluation of earthquake and volcanic hazards significant to the major population centers of Central Valley, Costa Rica.
32. KEMPTER, K., 1997: Geologic evolution of the Rincón de la Vieja Volcanic Complex, NW Costa Rica. - xvii + 192 págs. Univ. Texas at Austin, [Ph.D. tesis].
33. KEMPTER, K., y ROWE, G. L., 2000: Leakage of Active Crater lake brine through north flank at Rincón de la Vieja volcano, northwest Costa Rica, and implications for crater collapse.- J. Volcanol. Geotherm., Res. 97: 143-159.
34. KEMPTER, K., BENNER, S. G. y WILLIAMS, S. N., 1996: Rincón de la Vieja volcano, Guanacaste province, Costa Rica: geology of the southwestern flank and hazards implications.- J. Volcanol. Geotherm. Res. 71: 109-127.
35. KERLE, N., 1996. An economic evaluation and human perspective for a moderate volcanic eruption at Arenal.- Bol. Obs. Vulcanol. Arenal, 6 (11-12): 53-70.
36. MACÍAS, J. L. y CAPRA, L., 2005: Los volcanes y sus amenazas.- 160 págs. Colec. La Ciencia para Todos 210, Fondo de Cultura Económica, México.
37. MALAVASSI R., E., 1979: Geology and petrology of Arenal volcano, Costa Rica.- 111 págs. Univ. Hawaii [Tesis M. Sc.].

38. MELOY, A. F., 2006: Arenal-type pyroclastic flows: A probabilistic event tree risk analysis.- *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 157: 121-134.
39. MIAVITA, 2012: Handbook for Volcanic Risk Management. Prevention, Crisis management, Resilience.- 198 págs. MIAVITA (Mitigate and Assess risk from Volcanic Impact on Terrain and human Activities) team, Orleans (Francia).
40. MORA, R., 2001: Peligrosidad volcánica del Poás (Costa Rica), basado en las principales erupciones históricas de 1834, 1910 y 1953-1955.- xii + 115 pp. Univ. Costa Rica, Sistema de Estudios de Posgrado, Escuela Centroamericana de Geología [Tesis de Maestría].
41. NEWHALL, C. G. y SELF, S., 1982: The volcanic explosivity index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism.- *J. Geophys. Res.* 87: 1231-1238.
42. OPS, 2006: Guía de preparativos en salud frente a erupciones volcánicas.- Organización Panamericana de la Salud, Área de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Socorro en Casos de Desastres, 5 módulos con CD acompañante (www.paho.org/desastres).
43. ORAMAS-DORTA, D., COLE, P. D., WADGE, G., ALVARADO, G. E. y SOTO, G. J., 2012a: Spatial and temporal control on pyroclastic flow hazard at Arenal volcano, Costa Rica.- *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 45-64: 225-226.
44. ORAMAS-DORTA, D., COLE, P. D., WADGE, G., ALVARADO, G. E. y SOTO, G. J., 2012b: Pyroclastic flow hazard at Arenal volcano, Costa Rica: escenarios and assesment.- *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 74-92: 247-248.
45. ORTIZ, R., 1996 (ed): Riesgo volcánico.- 304 págs. Serie Casa de los Volcanes 5: Cabildo de Lanzarote.
46. PANIAGUA, S., 1994: Amenaza Volcánica.- En: DENYER, P. y KUSSMAUL, S. (eds.): Atlas Geológico Gran Área Metropolitana.- Ed. Tecnológica de Costa Rica, pp. 221-231.
47. PANIAGUA, S., y SOTO, G., 1986a: Reconocimiento de los riesgos volcánicos potenciales de la cordillera Central de Costa Rica, América Central.- *Cienc. Tec.*, 10 (2): 49-72.
48. PANIAGUA, S., y SOTO, G., 1986b: Reconocimiento de los riesgos volcánicos potenciales de la cordillera Central de Costa Rica, América Central.- *Rev. CIAF*, 11 (1-3): 178-199; Bogotá.
49. PANIAGUA, S., y SOTO, G., 1988. Peligros volcánicos en el Valle Central de Costa Rica. *Ciencia y Tecnología*, 12 (1-2): 145-156, San José.
50. PANIAGUA, S., SALAZAR, L. G., KUSSMAUL, S., MONGE, A., OBANDO, L.G., BURGOS, A. y FERNÁNDEZ, M., 1993: Amenaza y estimación económica básica de la vulnerabilidad material asociada al volcán Irazú, Cordillera Central, San José, Costa Rica.- 54 págs. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica [Informe interno].
51. PANIAGUA, S., SALAZAR, L. G., KUSSMAUL, S., MONGE, A. y OBANDO, L.G., 1996: Síntesis de la amenaza volcánica y estimación básica del riesgo del volcán Rincón de la Vieja, Cordillera de Guanacaste, Costa Rica.- 64 págs. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica [Informe interno].
52. PAVANELLI, N., CAPACCIONI, B., SAROCCHI, D., CALDERONI, G., VASELLI, O., TASSI, F y DUARTE, E., 2004: Geology and stability of the southern flank of Iraza volcano, Costa Rica.- *Acta Vulcanologica*, 16 (1): 1-7.
53. PROYECTO MET-ALARN, 2005: Recomendaciones técnicas para la Elaboración de Mapas de Amenaza por Erupciones Volcánicas.- 48 págs., INETER-COSUDE, Managua.
54. REAGAN, M. K., 1987: Turrialba volcano, Costa Rica: Magmatism at the Southeast Terminus of the Central American arc.- 215 págs. Univ. California, Santa Cruz [Tesis de Ph.D.].
55. REAGAN, M. K., DUARTE, E., SOTO, G.J. y FERNÁNDEZ, E., 2006: The eruptive history of Turrialba volcano, Costa Rica, and potential hazards from future eruptions.- En: ROSE, W. I., BLUTH, G. J. S., CARR, M. J., EWERT, J. W., PATINO, L. C. y VALLANCE, J. W. (eds.): *Volcanic Hazards in Central America. Geol. Soc. Amer. Sp. Paper 412412: 235-257.*
56. SIEBERT, L., 1996, ALVARADO, G. E., VALLANCE, J. W. y VAN WYK DE VRIES, B., 2006: Large-volume volcanic edifice failures in Central America and associated hazards.- En: ROSE, W. I., BLUTH, G. J. S., CARR, M. J., EWERT, J. W., PATINO, L. C. y VALLANCE, J. W. (eds.): *Volcanic Hazards in Central America. Geol. Soc. Amer. Sp. Paper 412412:: 1-26.*doi: 10.1130/2006.2412 (01).

57. SIEBERT, L., SIMKIN, T. y KIMBERLY, P., 2010: Volcanoes of the World.- ix + 551 págs. Smithsonian Institution, Univ. California Press, Londres.
58. SOTO, G. J. (coord.), 2012: Preparación de mapas de peligros volcánicos y restricción de uso de la tierra en el volcán Turrialba.- 170 págs. FUNDEVI, Univ. Costa Rica. Inf. Consultoría para la CNE, San José, Costa Rica, 184 pp. [Inf. Interno].
59. SOTO, G. y PANIAGUA, S., 1992: La cordillera volcánica Central (Costa Rica): Sus peligros potenciales y prevenciones.- Rev. Geográfica Amér. Central, 25-26: 291-304.
60. SOTO, G. ALVARADO, G. E. y GOOLD, S., 2003: Erupciones < 3800 a.P. del volcán Rincón de la Vieja, Costa Rica.- Rev. Geol. Amér. Central, 29: 67-86.
61. SOTO, G. y MORA, M. M., 2013: Actividad del volcán Turrialba en el periodo 2007-2011 y perspectivas de su amenaza.- En: ADAMSON, M. y CASTILLO, F. (eds.): Desastres. Costa Rica en el tercer milenio: Desafíos y propuestas para la reducción de vulnerabilidad. Contrastes Vivos, Preventec, Univ. de Costa Rica, Cap. 12: 287-310.
62. SOTO, G. y SJÖBOHM, L., 2005: Sobre el mapeo de los peligros volcánicos del Arenal (Costa Rica) como una herramienta para la planificación del uso del suelo y la mitigación de desastres. – Memoria VIII Seminario de Ingeniería Estructural y Sísmica, San José, Costa Rica, septiembre 2005, 26 pp.
63. SOTO, G. y SJÖBOHM, L., 2006: Amenaza volcánica a la infraestructura vial en el Arenal. – Memorias IX Seminario Nacional de Geotecnia, San José, Costa Rica, 16-17 de noviembre 2006, 13 pp.
64. SOTO, G. y SJÖBOHM, L., 2007: Los peligros volcánicos del Arenal.- Entorno a la Prevención, San José, Costa Rica, 4:21-26.
65. TANGUY, J.-C., RIBIÈRE, C., SCARHA, A. y TJETJEP, W.S, 1998: Victims from volcanic eruptions: a revised database.- Bull Volcanol. 60:137-144.
66. TASSI, F., VASELLI, O., FERNANDEZ, E., DUARTE, E., MARTINEZ, M., DELGADO HUERTAS, A. y BERGAMASCHI, F., 2009: Morphological and geochemical features of crater lakes in Costa Rica: an overview.- J. Limnol., 68 (2): 193-205, doi: 10.3274/JL09-68-2-04.
67. TILLING, R. I., 1989 : Volcanic hazards.- iv + 123 págs. American Geophysical Union.
68. WALDRON, H., 1967: Debris flow and erosion control problems caused by the ash eruptions of Irazu volcano, Costa Rica.- United States Depart. of the Interior Open file report. U.S. Geol. Surv. Bull. 1241-I: 1-37.
69. WARDMAN, J. B., WILSON, T. M., BODGER, P. S., COLE, J. W. y STEWART, C., 2012: Potential impacts from tephra fall to electric power systems: a review and mitigation strategies.- Bull. Volcanology, 74 (10): 2221-2241.
70. WARRICK, R.A., ANDERSON, J., DOWING, T., LYONS, J., RESSLER, J., WARRICK, M. y WARRICK, T., 1981: Four communities under ash. After Mount St. Helens.- x + 146 págs. Program on Technology, Environment and Man, Monograph 34, Inst. Behavioral Science, Univ. Colorado.
71. YGLESIAS, M., 2012: Riesgo de padecer enfermedades y síntomas respiratorios, asociado a la exposición a dióxido de carbono y dióxido de azufre provenientes del volcán Turrialba, sobre las poblaciones aledañas.- xv + 221 págs. Univ. Costa Rica, Facultad de Medicina, Escuela de Tecnologías en Salud.
72. YGLESIAS-GONZÁLEZ, M. Y CHAMIZO-GARCÍA, H. A., 2014: Susceptibilidad y síntomas respiratorios asociados a la exposición a dióxido de carbono y dióxido de azufre provenientes del volcán Turrialba, Costa Rica.- Población y Salud en Mesoamérica, revista electrónica semestral, 12 (1): 7-13, <http://ccp.ucr.ac.cr/revista>.
73. YOUNG, S. R., BAXTER, P. J., POMONIS, A., ERNST, G. G. J. y BENSON, C., 1998: Volcanic hazards and community preparedness at volcán Irazú, Costa Rica.- xi + 144 págs. Techn. Rep. WC/98/16R, Overseas Geology Series, British Geol. Surv., Nottingham.
74. ZÁRATE, E., 1988: Factores meteorológicos asociados a desastres causados por erupciones volcánicas en Costa Rica.- Ciencia y Tecnología, 12 (1-2): 41-52.
75. ZOBIN, V.M., 2001: Seismic hazard of volcanic activity.- J. Volcanol. Geotherm. Res. 112: 1-14.



Figura 35. Volcanes principales de Costa Rica. Fuente: Elaboración propia.



ISBN: 978-9968-716-31-4



9 789968 716314

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias

Tel.: (506) 2210-2828 • Fax: (506) 2220-0667
 Apdo. Postal 5228-1000 San José, Costa Rica

www.cne.go.cr

2014