

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**MAPA PRELIMINAR DE PELIGROS VOLCÁNICOS PARA EL
VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA (COSTA RICA): DESCRIPCIÓN DE
UN ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR LAHARES**

**Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del
Programa de Estudios de Posgrado en Geología para optar al grado y título de
Maestría Profesional en Gestión del Riesgo en Desastres y Atención de Emergencias**

YEMERITH ALPÍZAR SEGURA

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2018

A mi hija Denisse:

*Como recordatorio de que nuestras historias nos pertenecen, y por eso
siempre podremos ser lo que queramos.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron para que este trabajo fuera una realidad, en especial a toda mi familia por su apoyo, a mi madre, Elena Segura Arroyo y mi hija, Denisse Castro Alpizar por su paciencia y comprensión, y a mi sobrina Deina Arroyo Alpizar por su colaboración durante el trabajo de campo. A Esteban Bonilla Elizondo, por su casi inagotable paciencia para conmigo. A María José Chávez Groh, quien me animó y aconsejó desde el inicio. A mi tutor, Mario Fernández Arce, por creer en el proyecto y en mi capacidad para llevarlo a cabo. A mis colegas y compañeros de siempre, Carlos Ramírez Umaña y Gino González-Ilama por su apoyo en el campo. A mis grandes amigos y maestros, Eduardo (Lalo) Montecinos Cisternas y Gastón Gaínza, por su apoyo y disposición para aconsejar. A los vecinos del Gavilán de Upala, en especial doña Raquel y don Gerardo, por estar siempre dispuestos a colaborar. Al personal docente, administrativo y los estudiantes de las escuelas IDA Gavilán, Buenos Aires y Dos Ríos por su disposición para ser parte del proyecto. A Grettel Sánchez S., por estar siempre anuente a colaborar. A Frank Jara Jiménez, gran amigo de quien he recibido palabras de ánimo y apoyo desde el Bachillerato. A los lectores de mi trabajo, Elena Badilla Coto y Lidier Esquivel Valverde por su disposición y buenos consejos. A Darcy Bevens del Centro para el Estudio de los Volcanes Activos de Hawái (CSAV, por sus siglas en inglés), gracias a quien hace ya más de cinco años, obtuve los primeros conocimientos que posteriormente he podido ampliar, utilizándolos como base para desarrollar esta investigación, Mahalo Darcy! Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que por traiciones de mi memoria no he mencionado pero que de una forma u otra contribuyeron para que este trabajo fuera un éxito, muchas gracias a todos.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Geología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Gestión del Riesgo en Desastres y Atención de Emergencias”

Dr. Mauricio Mora Fernández
**Representante del Decano
Sistema de Estudios de Posgrado**

Dr. Mario Fernández Arce
Profesor Guía

M. Sc. Elena Badilla Coto
Lectora

M. Sc. Lidier Esquivel Valverde
Lector

Dr. Marco Barahona Palomo
**Director
Programa de Posgrado en Geología**

Yemerith María Alpízar Segura
Sustentante

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS EN ESTE DOCUMENTO	XII
CAPÍTULO 1: INTRODUCTORIO	1
1.1 Problema	4
1.2 Justificación	4
1.3 Objetivos	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
1.4 Metodología	7
1.4.1. Investigación bibliográfica.....	8
1.4.2. Planeamiento y coordinación del trabajo de campo.....	8
1.4.3. Trabajo de campo.....	8
1.4.4. Identificación y descripción de los principales peligros volcánicos	9
1.4.5. Elaboración de mapa preliminar de peligros y recomendaciones para el uso de la tierra en el área de estudio.....	9
1.4.6 Generación de insumos para las comunidades de Dos Ríos, Gavilán y Buenos Aires de Upala	9
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Trabajos previos.....	10
2.2 Peligros volcánicos.....	14
2.3 Riesgo volcánico	18
2.4 Evaluación de la peligrosidad volcánica y mapas de riesgo	18
2.5 Percepción del riesgo	20
CAPÍTULO 3: LOS PELIGROS VOLCÁNICOS DEL VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA	22
3.1 Actividad eruptiva conocida	22
3.2 Principales peligros volcánicos asociados con la actividad del Rincón de la Vieja.....	25
3.2.1. Lahares	26
3.2.2. Flujos piroclásticos.....	33
3.2.3. Caída de ceniza	34
3.2.4. Gases y lluvia ácida.....	45
3.2.5. Flujos de lava	46

3.2.6.	Caída de proyectiles balísticos	46
3.2.7.	Colapso del edificio volcánico	47
3.2.8.	Características de los depósitos.....	47
3.3	Evaluación de peligrosidad del Rincón de la Vieja de acuerdo con la metodología de Yokoyama et al. (1984).....	53
CAPÍTULO 4: MAPAS DE PELIGRO VOLCÁNICO		54
4.1	Análisis de los mapas de peligro volcánico existentes.....	54
4.2	Mapa preliminar de peligro volcánico	60
CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA TIERRA Y VULNERABILIDAD FÍSICA EN EL SECTOR NORTE DEL VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA.....		63
5.1	Recomendaciones para el uso de la tierra	63
5.1.1.	Área de muy alto peligro A1	65
5.1.2.	Área de alto peligro A2	66
5.1.3.	Área de moderado-bajo peligro A3.....	66
5.1.4.	Recomendaciones finales	67
5.2	Principales vulnerabilidades físicas identificadas	68
5.2.1.	Infraestructura vial	68
5.2.2.	Ubicación de edificaciones	72
CAPÍTULO 6: PERCEPCIÓN DEL RIESGO		74
6.1	Aplicación de la metodología.....	74
6.2	Análisis de resultados.....	75
6.2.1.	Percepción del riesgo en adultos	75
6.2.2.	Percepción del riesgo en escolares	78
6.3	Insumos para la gestión local del riesgo volcánico	82
6.3.1.	Ficha familiar	82
6.3.2.	Panfletos y afiches informativos	83
6.3.3.	Mapa de peligro simplificado para el sector norte del volcán.....	84
6.3.4.	Rótulos de zona segura y ruta de evacuación.....	86
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		88
CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA.....		96

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se elaboró un mapa preliminar de peligros volcánicos para el volcán Rincón de la Vieja, con énfasis en la afectación por lahares, con base en el cual se emiten una serie de recomendaciones sobre uso de la tierra. Se realiza también un breve análisis de la percepción del riesgo en los pobladores que habitan las comunidades localizadas en el sector norte del volcán.

La principal motivación para desarrollar el trabajo, es que a pesar de que el Rincón de la Vieja es un volcán sumamente activo, que durante las últimas décadas ha presentado erupciones freáticas y freatomagmáticas importantes, afectando principalmente a las comunidades ubicadas en su falda norte, no cuenta de forma oficial con un mapa de peligros volcánicos, ni con una zonificación de uso del territorio que permita aplicar la gestión del riesgo ante desastres volcánicos en la planificación territorial. Esto limita a los gobiernos locales en cuanto a la toma de decisiones responsables sobre uso del territorio.

Se espera que el mapa preliminar de peligrosidad volcánica y las recomendaciones sobre uso de la tierra, sirvan como insumo para la toma de decisiones sobre ordenamiento territorial en la zona, mientras que el análisis de un escenario de afectación por lahares, permite identificar las vulnerabilidades físicas de las comunidades ante este peligro, sirviendo como apoyo a la gestión integral del riesgo en la zona. Finalmente, el análisis sobre percepción del riesgo, ha facilitado la tarea de generar insumos para contribuir con el fortalecimiento de la gestión del riesgo en las comunidades de Dos Ríos, El Gavilán y Buenos Aires de Upala.

El mapa preliminar de peligros se realizó con base en la integración y análisis de la información existente. Se llevó a cabo un proceso de recopilación bibliográfica, acerca de la actividad conocida del volcán Rincón de la Vieja, mapas de peligros existentes y percepción del riesgo volcánico. Posteriormente, se realizó trabajo de campo (cartografiado de peligros y talleres con la población).

Los resultados más relevantes fueron: 1. Un mapa preliminar de peligros volcánicos que integra información preexistente y nueva; 2. Un mapa con zonificación de peligros volcánicos, a partir del cual se emitieron recomendaciones para el uso del territorio y que constituye una versión simplificada del mapa de peligros, fácil de leer para cualquier persona sin importar su nivel académico y; 3. Documentos informativos para que la población implemente en sus labores de gestión local del riesgo (panfletos, señales informativas y preventivas, ficha familiar y mapa simplificado).

ABSTRACT

In the present investigation, a preliminary map of volcanic hazards for the Rincón de la Vieja Volcano was elaborated, with emphasis on lahars threat, from which a series of recommendations on land use are issued. There is also a brief analysis of the risk perception in the inhabitants of the communities located in the northern sector of the volcano.

The main motivation to develop the work, is that although the Rincón de la Vieja is a very active volcano, which during the last decades has presented major phreatic and phreato magmatic eruptions affecting mainly the communities located on its northern side, it does not have an official map of volcanic hazards, neither with a zoning of land use that allows apply risk management to volcanic disasters to territorial planning. This limits local governments in terms of making responsible decisions about land use.

It is expected that the preliminary map of volcanic hazards and the recommendations on land use, serve as an input for decision making on territorial planning in the area, while the analysis of a scenario of affectation by lahars, allows to identify physical vulnerabilities of the communities in the face of this danger, serving as support for the integral risk management. Finally, the analysis on risk perception has facilitated the task of generating inputs to contribute to the strengthening of risk management in the communities of Dos Ríos, El Gavilán and Buenos Aires of Upala.

The preliminary hazard map was made based on the integration and analysis of existing data. A bibliographic compilation process about the known activity of the Rincon de la Vieja volcano, existing hazard maps and perception of volcanic risk was done. Subsequently, fieldwork was carried out (mapping of hazards and workshops with the population).

The most relevant results were: 1. A preliminary volcanic hazards map, that integrates pre-existing and new information; 2. A map with volcanic hazards zonation proposal, from which recommendations for the use of the territory were issued and that constitutes a simplified version of the hazard map, easy to read for anyone regardless of their academic level and; 3. Informative documents for the population as a tool implement in their work of local risk management (informative pamphlets, preventive signs, an information family card and a simplified map).

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Resumen de actividad conocida para el volcán Rincón de la Vieja.	23
Cuadro 2: Peligrosidad del volcán Rincón de la Vieja según Yokoyama et al. (1984).	53
Cuadro 3: Mapas de amenaza existentes para el volcán Rincón de la Vieja.....	55
Cuadro 4: Resumen de los peligros volcánicos desplegados en el mapa preliminar.	60
Cuadro 5: Resumen de Áreas de peligro y recomendaciones para uso del territorio.....	65
Cuadro 6: Número de personas que nacieron en la zona de estudio.	75
Cuadro 7: Motivación para vivir en la zona de estudio.....	76
Cuadro 8: Respuestas a cuestionamientos sobre la actividad eruptiva.	77
Cuadro 9: Conocimientos sobre gestión local del riesgo volcánico y acciones de respuesta.	77
Cuadro 10: Significado del volcán para la comunidad.	77
Cuadro 11: Acciones de respuesta ante una erupción volcánica.....	80
Cuadro 12: Preocupación de los escolares por la actividad volcánica.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructuras volcánicas de la Cordillera de Guanacaste.	2
Figura 2: Ubicación del área de estudio.	3
Figura 3: Metodología aplicada para desarrollar la investigación.	7
Figura 4: a. Fotografía de la pintura que se cree representa una erupción volcánica; b. Diagrama de las pinturas de la cueva Chauvet-Pont d'Arc; c. Petroglifos de la erupción de un volcán; d. Pinturas neolíticas de Çatalhöyük (Turquía), y se cree que representan una erupción del volcán Hasan Dağı twin-peaks; (Imágenes tomadas de Nomade et al., 2016).	15
Figura 5: Cronología de la actividad eruptiva conocida y documentada para el volcán Rincón de la Vieja.	25
Figura 6: Modelo de afectación por lahares para el volcán Rincón de la Vieja con volúmenes variables. En el anexo 4 se presentan todos los mapas en alta resolución.	28
Figura 7: Modelo de afectación por lahares para diferentes volúmenes en la zona norte del volcán. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.	30
Figura 8: Superposición de parte de un modelo realizado para $8 \times 10^5 \text{ m}^3$, sobre los depósitos de lahares recientes en las cercanías del puente sobre el río Pénjamo.	31
Figura 9: Modelo de lahares con volumen de $2,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ con 95% de confiabilidad. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.	32
Figura 10: Distribución hipotética de los flujos piroclásticos ante un escenario eruptivo como el de 1776 A.C. (mapa original sin coordenadas). Tomado de Soto et al. (2003b).	33
Figura 11: Afloramiento de pómez y ceniza correspondiente a la erupción subpliniana de 1776 A.C. ± 130	35
Figura 12: Modelo de caída de ceniza para el escenario A1. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.	37
Figura 13: Modelo de caída de ceniza para el escenario A2. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.	38
Figura 14: Modelo de caída de ceniza para el escenario A3. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.	39
Figura 15: Modelo de caída de ceniza para el escenario B1. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.	41
Figura 16: Modelo de caída de ceniza para el escenario B2. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.	42

Figura 17: Modelo de caída de ceniza para el escenario B3. Ver en alta resolución en anexo 4..	43
Figura 18: Mapa de peligro por caída de ceniza durante cualquier época del año, elaborado con base en el escenario eruptivo B. Ver en alta resolución en anexo 4.....	44
Figura 19: En color morado se muestra la zona de afectación por gases y lluvia ácida propuesta en este trabajo y en naranja, la delimitada por Soto y Martínez (2012).....	45
Figura 20: Ubicación de los afloramientos descritos y principales puentes.....	48
Figura 21: Algunos materiales depositados por lahares recientes y los niveles de terrazas mencionados. Sitios 1b y 1c de la figura 20.....	49
Figura 22: Afloramiento 1a (figura 20), donde los lahares sobreyacen a los depósitos de flujo piroclástico.	50
Figura 23: Estructuras típicas de flujos piroclásticos de bloques y cenizas en el afloramiento 1a (figura 20). Izquierda: Estructura en rompecabezas; derecha, chimenea de desgasificación.	51
Figura 24: a) Vista general del afloramiento 1d (figura 20); b) Depósitos de los lahares de 1991 con vegetación en la base; c) depósitos de los lahares de los últimos dos años.	52
Figura 25: Mapa de peligros volcánicos potenciales de Paniagua et al., 1996.	56
Figura 26: Mapas publicados por Kempter (1996), izquierda; Kempter & Rowe (2000), derecha.	57
Figura 27: Mapa de peligros volcánicos publicado por Soto et al. (2003b).....	59
Figura 28: Mapa de peligros volcánicos publicado por Soto y Martínez, 2016.....	59
Figura 29: Mapa preliminar de peligros volcánicos para el volcán Rincón de la Vieja. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.	62
Figura 30: Mapa de áreas de peligro volcánico definidas. Mapa en alta calidad en anexo 4.....	64
Figura 31: Puentes sobre los ríos Pénjamo (arriba), y Azul (abajo), destruidos durante la actividad eruptiva de 1991. Imágenes de Soto et al., 2003. Ver ubicación en la figura 20.	70
Figura 32: Puente sobre el río Pénjamo. Arriba: Puente de troncos existente hasta 2016; abajo: Puente Bailey instalado para reemplazar el anterior.	71
Figura 33: Puente Bailey instalado sobre el cauce del río Azul.....	71
Figura 34: Mapa de peligros simplificado y rutas de evacuación. Ver mapa en alta calidad en anexo 4.....	85
Figura 35: Señales diseñadas para ser colocadas en sitios definidos dentro del área de estudio. .	87

ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS EN ESTE DOCUMENTO

A.C.	Antes de Cristo
ACG	Área de Conservación Guanacaste
ALOS	Advanced Land Observation Satellite (por sus siglas en inglés)
Aprox.	Aproximadamente
CLE	Comité Local de Emergencias
CME	Comité Municipal de Emergencias
CNE	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
Esc.	Escuela
H ₂ S	Sulfuro de hidrógeno
HCl	Cloruro de hidrógeno
HF	Fluoruro de hidrógeno
Hg	Mercurio
IEV	Índice de Explosividad Volcánica
Mt.	Monte
MED	Modelo de elevación Digital
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (por sus siglas en inglés)
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (por sus siglas en inglés)
Pb	Plomo
p. ej.	Por ejemplo
PNRV	Parque Nacional Rincón de la Vieja
Rn	Radón
SO ₂	Dióxido de azufre
USGS	Servicio Geológico de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés)

*"El hombre es una cuerda tendida sobre el abismo. Es peligroso pasar al otro lado,
peligroso permanecer en el camino, peligroso mirar hacia atrás;
peligroso pararse y peligroso temblar."*

Friedrich Nietzsche, 1883.

CAPÍTULO 1: INTRODUCTORIO

Pese a que el volcán Rincón de la Vieja ha presentado erupciones importantes durante los últimos años, la investigación bibliográfica realizada demostró que el área no cuenta de forma oficial con un mapa de peligro volcánico, que permita aplicar la gestión del riesgo ante desastres volcánicos a la planificación territorial.

Por medio del presente estudio, se generó un mapa preliminar de peligros volcánicos para el volcán Rincón de la Vieja, y se describió un escenario de afectación por lahares para las comunidades de Dos Ríos, Gavilán y Buenos Aires de Upala, ubicadas en el sector norte del volcán. Asimismo, se emitieron recomendaciones para el uso de la tierra en el área de estudio y se recopiló información sobre percepción del riesgo volcánico que ha permitido generar insumos para fortalecer la gestión local del riesgo en las comunidades mencionadas.

El mapa preliminar de peligros volcánicos, se elaboró con base en la integración y análisis de la información existente, y se espera que eventualmente pueda servir como herramienta a las instituciones tomadoras de decisiones, para planificar el ordenamiento territorial y realizar gestión del riesgo, considerando el componente de peligro volcánico.

Al menos 200 focos eruptivos, con edades que varían entre el Mioceno y el Cuaternario, han sido identificados en Costa Rica (Alvarado, 2009). De estos, cinco han presentado actividad eruptiva histórica: Rincón de la Vieja, Arenal, Poás, Irazú y Turrialba.

La Cordillera de Guanacaste está conformada por dos estructuras de caldera (Guachipelín- Alcántaro y Guayabo), sobre las que se desarrollaron cuatro estratovolcanes complejos. De noroeste a sureste se encuentran: el Complejo Orosí-Cacao, Rincón de la Vieja, Miravalles y Tenorio (Figura 1).

El volcán Rincón de la Vieja se ubica 25 km al NNE de la ciudad de Liberia, Guanacaste, entre las provincias de Alajuela y Guanacaste. Es un estratovolcán complejo y el único con actividad eruptiva histórica en la Cordillera de Guanacaste (Bullard, 1956, p. 76; Aguilar y Alvarado, 2014, p. 117). Su elevación máxima es de 1916 m s.n.m., y cuenta con al menos nueve focos eruptivos reconocibles en su cima (Healy, 1969, p. 3). El cráter activo alberga una laguna caliente e híper acida (Alpizar et al., 2014), en la que actualmente

se producen erupciones freáticas con relativa frecuencia. En la figura 2 se muestra la ubicación del área de estudio y los poblados más cercanos.

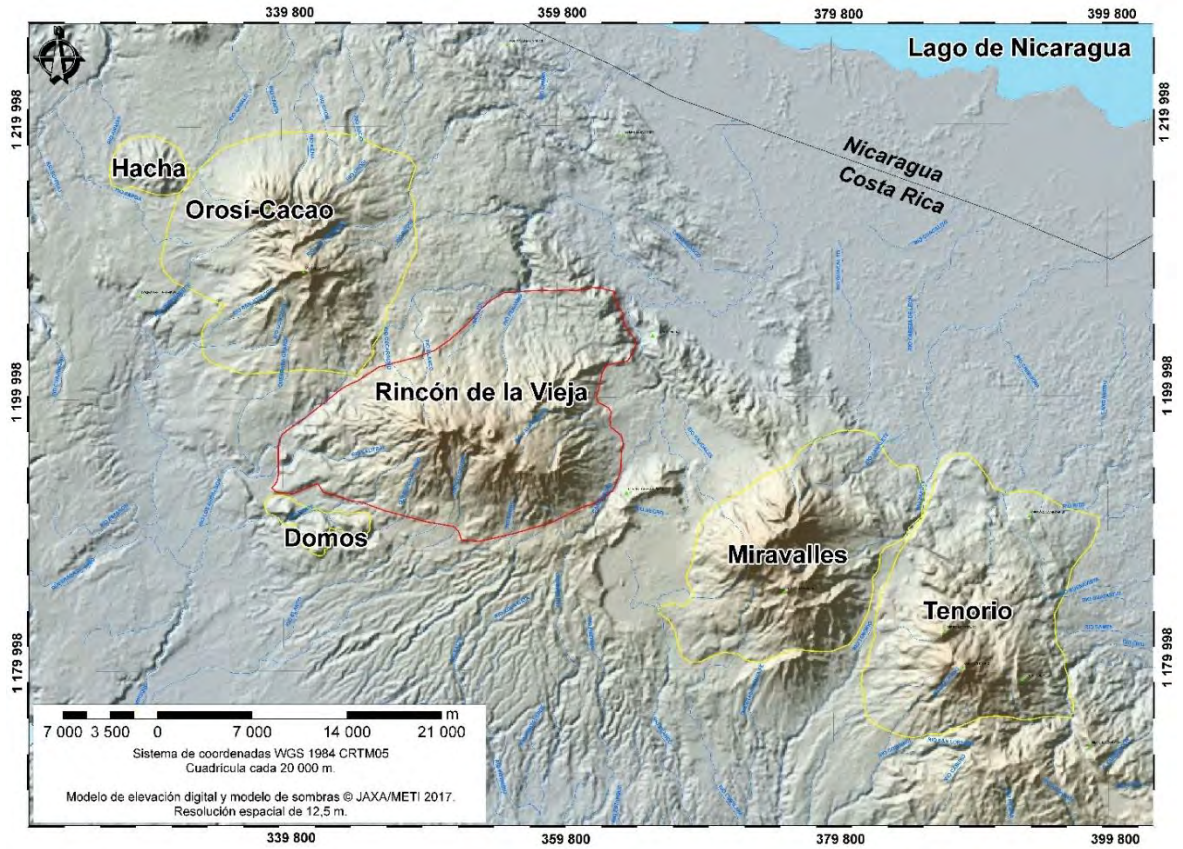


Figura 1: Estructuras volcánicas de la Cordillera de Guanacaste.

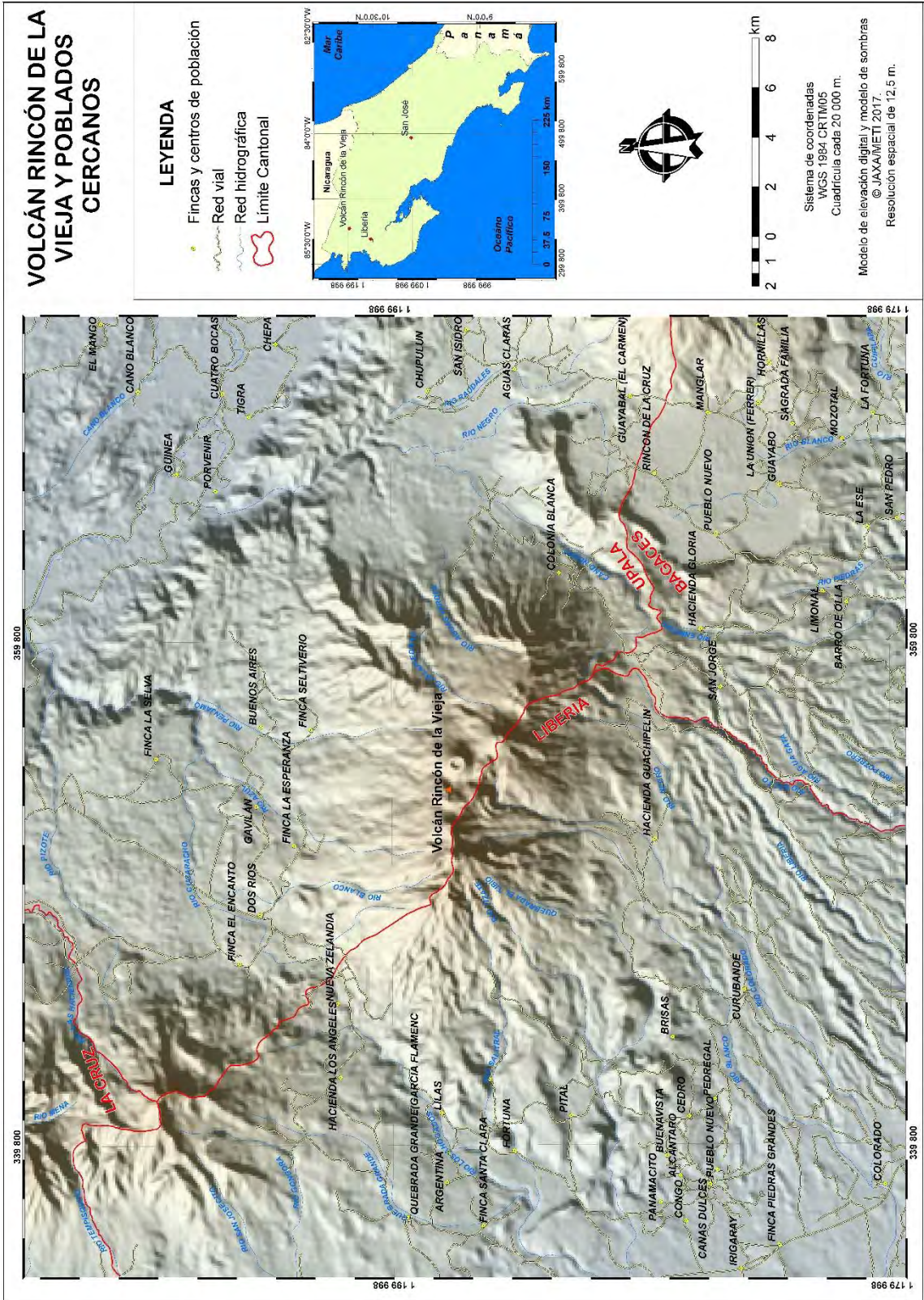


Figura 2: Ubicación del área de estudio.

1.1 Problema

Este volcán es el único históricamente activo en la Cordillera de Guanacaste y ha presentado al menos una erupción subpliniana y flujos piroclásticos importantes durante los últimos ~3800 años, así como gran cantidad de erupciones menores durante el último siglo (Soto et al., 2003a).

De los tres cantones en los que se sitúa el volcán Rincón de la Vieja (Upala, Liberia y Bagaces), existe una propuesta (no vigente) de Plan Regulador únicamente para el cantón de Upala (Municipalidad de Upala, 2012). Por lo tanto, cabe afirmar que, al día de hoy, este volcán no cuenta de forma oficial con un mapa de peligros volcánicos, ni con una zonificación de uso del territorio que permita aplicar la gestión del riesgo ante desastres volcánicos a la planificación territorial, como sí posee por ejemplo, el volcán Arenal (Esquivel, 2004; Soto y Sjöbohm, 2005).

Las municipalidades, como entes administradores del uso del territorio, no disponen de una zonificación definida y se ven atadas de manos ante el establecimiento de nuevos desarrollos, en zonas que podrían ser consideradas de alto riesgo.

1.2 Justificación

El importante, pero relativamente poco explotado potencial energético, turístico, agrícola e industrial presente en las faldas del volcán Rincón de la Vieja, principalmente en el sector norte del macizo, hace que sea de carácter urgente contar con una zonificación de uso de la tierra en la que se delimiten las zonas de mayor amenaza por la actividad volcánica, y se defina el uso más apropiado para la tierra en estos sectores. Estas acciones deben ir de la mano con un proceso de concientización sobre el riesgo, en la población que habita las zonas más expuestas a ser afectadas por una erupción volcánica. Para poder emitir recomendaciones que contribuyan con el desarrollo de un proceso de zonificación integral, se debe contar con la base de un mapa preliminar de peligro volcánico elaborado con rigurosidad científica.

En el caso particular del volcán Rincón de la Vieja, debido en parte a que una amplia área es abarcada por el parque nacional, y probablemente más a su ubicación geográfica, el

desarrollo (exceptuando el sector turístico) que se ha dado, no es comparable con el que se presenta en las faldas de otros volcanes activos de Costa Rica, como lo son Poás, Barva, Irazú y Turrialba, donde se asienta parte de la Gran Área Metropolitana. Por esta razón, se podría pensar que la aplicación de un plan de ordenamiento territorial, que involucre la evaluación del riesgo volcánico, sería de una implementación más viable en esta zona, al tiempo que contribuirían, a reducir la vulnerabilidad de las poblaciones ante futuros eventos eruptivos.

Debido a la actividad volcánica, y por recomendación de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), desde 2012, el sendero de turistas que conduce hacia el sector del cráter activo, se encuentra cerrado (Arguedas, 10 de abril de 2016). Para realizar este tipo de recomendaciones al Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), la CNE cuenta con criterios técnicos obtenidos a través del Comité Asesor Técnico en Vulcanología y Sismología (Ley N° 8488).

En cuanto a la población que habita el área de estudio, de acuerdo con la investigación bibliográfica realizada, no existen estudios que den cuenta del conocimiento que la gente tiene sobre el volcán, ni que evalúen la percepción del riesgo volcánico en la zona. Existe un plan de contingencia para el parque nacional volcán Rincón de la Vieja (CNE, 2012), este fue elaborado con base en el mapa de peligro volcánico de Soto y Martínez (2016), y se enfoca en el área de visitación del parque nacional.

Durante el primer semestre de 2017, se han dado al menos dos eventos eruptivos a raíz de los cuales se han generado lahares en los cauces de los ríos Pénjamo, Azul y Quebrada Azufrada. Durante estos eventos ha sido común que algunos pobladores y turistas se acerquen a los cauces de los ríos, exponiéndose a sufrir daños directos por los flujos de lodo. Esta situación resalta dos aspectos fundamentales:

1. Que los pobladores son vulnerables ante la actividad volcánica, en parte porque desconocen el riesgo que representa la actividad volcánica en general y los lahares en particular y;

2. Que los lahares constituyen uno de los principales peligros volcánicos que amenazan a las poblaciones ubicadas en el sector norte del volcán Rincón de la Vieja.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Elaborar un mapa preliminar de peligrosidad volcánica con énfasis en la afectación por lahares para el flanco norte del volcán Rincón de la Vieja, con base en la integración y análisis de la información existente, como insumo para la toma de decisiones y el ordenamiento territorial.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Describir al menos un escenario de afectación por lahares para las poblaciones de Dos Ríos, el Gavilán y Buenos Aires de Upala, ubicadas en el sector norte del volcán Rincón de la Vieja, para identificar las vulnerabilidades físicas de estas comunidades.
- b) Emitir recomendaciones para el uso de la tierra en el área de estudio, con base en el mapa de afectación por lahares, como apoyo a la gestión integral del riesgo en la zona.
- c) Recopilar información sobre percepción del riesgo volcánico que permita generar insumos para fortalecer la gestión del riesgo en las comunidades de Dos Ríos, El Gavilán y Buenos Aires de Upala.

1.4 Metodología

La investigación inició con un proceso exhaustivo de recopilación bibliográfica, acerca de tres temas fundamentales: a) las erupciones previas del volcán Rincón de la Vieja; b) los mapas de peligro volcánico existentes para este volcán y c) la percepción del riesgo volcánico.

Se realizó dos tipos de trabajo de campo, el primero consistió en mapeo y validación de la información bibliográfica recopilada; y el segundo consistió en talleres realizados con la participación de la población. Finalmente, con base en la información compilada, se generaron los productos de la investigación: el mapa preliminar de peligro volcánico, las recomendaciones para el uso de la tierra en el área y los insumos para que la población implemente en su gestión local del riesgo. El resumen de la metodología empleada para llevar a cabo la investigación, se presenta en la figura 3.

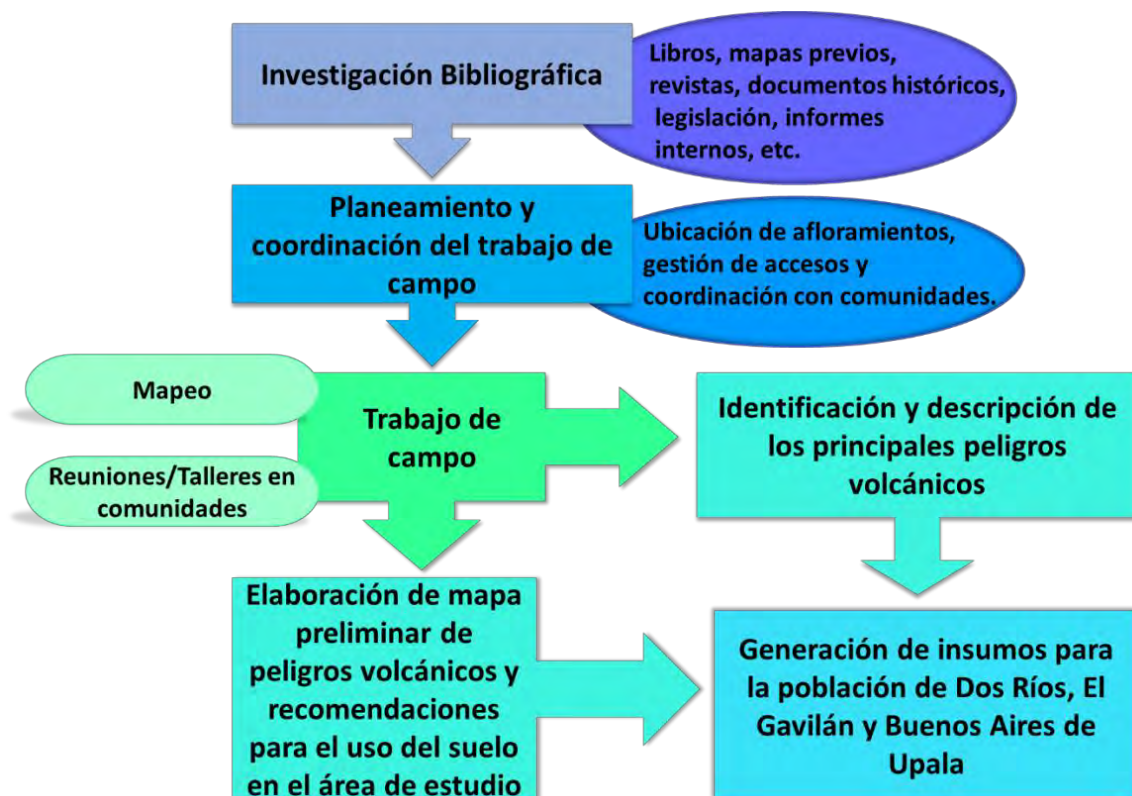


Figura 3: Metodología aplicada para desarrollar la investigación.

1.4.1. Investigación bibliográfica

Se realizó consulta de fuentes de información primaria y secundaria, tales como tesis, mapas de peligros existentes, documentos históricos, revistas científicas e informes internos de los observatorios vulcanológicos, entre otros. Todos los documentos utilizados se encuentran disponibles en bibliotecas físicas y digitales, tanto dentro como fuera de la Universidad de Costa Rica.

1.4.2. Planeamiento y coordinación del trabajo de campo

Además de llevarse a cabo un planeamiento con los sitios a visitar durante cada salida de campo, se gestionaron permisos que fueron requeridos para trabajar dentro del Parque Nacional Rincón de la Vieja. En cuanto a la realización de los talleres, estos se coordinaron previamente con los encargados según el caso (líderes comunales y personal de centros educativos).

1.4.3. Trabajo de campo

Se realizó cartografiado de depósitos de lahares y otros productos volcánicos.

Este paso contiene dos etapas, para cada una de las cuales se especifican los instrumentos de recolección de información a utilizar.

a) Cartografiado de los depósitos de lahares en el área de estudio y validación en campo de la información recopilada mediante la investigación bibliográfica.

b) Talleres de recolección de información: en coordinación con el personal docente de los centros educativos y los líderes comunales de las localidades ubicadas en el sector norte del volcán, se realizaron talleres de recolección de información. Con las personas adultas, se trabajó en los salones comunales, mientras que los talleres con escolares se realizaron en las escuelas de Dos Ríos, Gavilán y Buenos Aires.

El trabajo se enfocó en dos grupos poblacionales: a) niños y niñas de segundo ciclo y; b) adultos: líderes comunales y personas con al menos 15 años de residir en la zona. Se utilizaron tanto entrevistas guiadas como los formularios que se presentan en el anexo 2. La

implementación de ambos métodos, tuvo como fin obtener información para evaluar la percepción del riesgo volcánico e identificar posibles vacíos de información en la población. La duración de los talleres fue de entre 30 y 120 minutos.

1.4.4. Identificación y descripción de los principales peligros volcánicos

Con base en la información recopilada sobre actividad eruptiva conocida (histórica y prehistórica), se identificaron los principales peligros asociados con el volcán Rincón de la Vieja.

1.4.5. Elaboración de mapa preliminar de peligros y recomendaciones para el uso de la tierra en el área de estudio

A partir del procesamiento y síntesis de la información recopilada, se generó el mapa preliminar de peligro volcánico, con base en cual se emitieron las recomendaciones sobre los usos más apropiados que se debería dar al territorio en el área.

La modelación de los lahares utilizada como base para la descripción del escenario de afectación, se realizó utilizando una herramienta informática de determinística llamada Laharz (anexo 3). Los resultados del modelo fueron validados con información de campo.

1.4.6 Generación de insumos para las comunidades de Dos Ríos, Gavilán y Buenos Aires de Upala

A partir de los mapas generados y considerando la percepción del riesgo de la población, se elaboraron trípticos y carteles dirigidos a las comunidades, que les sirvan como insumo en la gestión local del riesgo volcánico. Estos productos fueron presentados en talleres durante los cuales además, se brindó información para solventar los vacíos identificados en la población.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Una zonificación de uso de la tierra tendría que ser definida sobre la base de un riguroso análisis científico, considerando además las fortalezas, debilidades y capacidades del espacio al que se circunscribe y de sus pobladores. Se deben tomar en cuenta las necesidades y aspiraciones de desarrollo de las comunidades ubicadas dentro de este espacio, y considerar que sus resultados eventualmente trascenderían límites políticos. Idealmente, un producto de esta índole contribuiría con la elaboración de los planes de emergencias y desarrollo cantonal de los municipios a los que atañe el tema.

Los planificadores involucrados en la prevención de desastres abogan por la elaboración de mapas de zonificación de peligros en áreas volcánicas pobladas (Crandell et al., 1984). Para comprender la importancia que tiene la integración de los mapas de peligro volcánico dentro del ordenamiento territorial, es necesario establecer la relación existente entre riesgo y amenaza.

La Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo (Nº8488) de la República de Costa Rica define amenaza como un peligro latente representado por la posible ocurrencia de un fenómeno peligroso, de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre, capaz de producir efectos adversos en las personas, los bienes, los servicios públicos y el ambiente (La Gaceta, 2006).

Por su parte, el riesgo se considera como la probabilidad de que se presenten pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un período definido. Su cuantificación es obtenida, al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos (La Gaceta, 2006).

2.1 Trabajos previos

El volcán Rincón de la Vieja ha sido estudiado por diversos investigadores desde las primeras décadas del siglo XX. Inicialmente, documentos de Tristán- Fernández (1921, p. 161-168) sugieren que podría haberse dado un leve cambio morfológico en el cráter activo entre los siglos XIX y XX. De forma general, Healy (1969) realizó una descripción morfológica de la cima del volcán, utilizando fotografías aéreas y su propio trabajo de campo;

fue el primero en mencionar que la estructura está conformada por al menos nueve conos distribuidos a lo largo de dos alineamientos.

Benner (1987) realizó un mapeo geológico que le permitió caracterizar la historia eruptiva, categorizar la petrografía básica de las unidades que conforman el edificio volcánico y lo más importante, con base en el registro estratigráfico, la topografía y las características climáticas, evaluar las amenazas potenciales para futuras erupciones, considerando lahares, flujos de lava y caída de tefra. Este estudio excluyó la evaluación de amenazas a largo plazo.

Boudon et al. (1996), caracterizaron los depósitos piroclásticos proximales de las erupciones de 1966-1970 y 1991-92, e incluso realizaron un mapa de distribución para estos materiales. Señalaron además, que la explosividad de estos eventos es el producto de la interacción entre un cuerpo magmático somero, el lago cratérico y el sistema hidrotermal activo del volcán. Además, afirmaron que la principal amenaza durante erupciones posteriores, podría corresponder a flujos de lodo (lahares), que afectarían los valles localizados en el flanco norte del volcán.

La mayor parte de las erupciones históricas de este volcán, han sido catalogadas como freáticas, es decir, no magmáticas (Barquero y Segura, 1983; Barquero y Fernández, 1987; GVP, 1991a, 1991b, y 1991c). Sin embargo, los productos de las erupciones de 1966-70 y 1991-98 presentan bombas escoriáceas y en corteza de pan, materiales que se asocian de manera indiscutible con productos eruptivos juveniles (Alvarado, 1989; 2011).

Fernández et al. (1991) describieron la actividad eruptiva presentada durante los días 6, 7 y 8 de mayo de 1991 y elaboraron un mapa de caída de ceniza a partir de los reportes realizados por los pobladores. Asimismo, realizaron un mapeo de algunas de las zonas afectadas por lahares y sus depósitos, indicando que los flujos fueron producidos por el desbordamiento de la laguna cratérica y que la amenaza volcánica más importante para el flanco norte-noroeste, proviene de los lahares.

Kempton et al. (1996), estudiaron la geología del flanco suroeste del macizo y determinaron, a través de estudios de tamaño de grano del depósito de tefra Río Blanco ($\sim 3770 \pm 130$ años a. P), que la erupción en la que estos materiales se depositaron fue

subpliniana, con una columna eruptiva que alcanzó aproximadamente 16 km de altura. Además, realizaron una evaluación cualitativa de riesgos, concluyendo que las futuras erupciones de este volcán serían propensas a mantener el estilo explosivo, extendiendo la zona de mayor peligro varios kilómetros al norte del cráter activo.

Paniagua et al. (1996), realizaron una síntesis de la amenaza volcánica considerando el marco geológico y estratigráfico, petrografía, geoquímica, manifestaciones termales, estructuras, clima y actividad eruptiva reciente. Posteriormente, hicieron una serie de recomendaciones sobre las acciones a tomar antes y durante una erupción volcánica. Además, estos autores recopilaron información de las erupciones presentadas durante los siglos XVIII, XIX y XX, entre las que se reporta la ocurrencia de erupciones freatomagmáticas, emisión de gases, lahares, caída de ceniza, piroclastos y lluvia ácida.

Respecto a la ocurrencia de lahares en el volcán Rincón de la Vieja, se cuenta con registro de algunos flujos que descendieron por los ríos Pénjamo y Azul durante 1991 y 1995 (Soto, 2004; Soto et al., 2003b). Sin embargo, no existe registro de que hayan causado decesos. Alvarado (1993, p. 189), menciona que el 8 de mayo de 1991 ocurrió un lahar que recorrió una distancia de 16,6 km en el flanco norte del macizo.

Soto et al. (2003 a) realizaron un estudio de las erupciones más importantes desde 3800 a. P., y determinaron que durante ese periodo, ocurrió al menos un evento eruptivo subpliniano ($\sim 3770 \pm 130$ años a. P) y que una erupción generó flujos piroclásticos importantes (~ 1520 a.P.) hacia el oeste del foco eruptivo, al igual que ya lo había sugerido Kempter (1997, p. 126).

Bakkar (2017), realizó un estudio detallado de los procesos sísmicos y volcánicos en el Rincón de la Vieja, a través del análisis simotectónico de la actividad ocurrida entre 2011 y mayo de 2016. Esta autora propuso un total de 11 fallas corticales en el flanco meridional del macizo, y una clasificación de las señales sismo-volcánicas asociadas con la actividad del mismo.

En cuanto a mapas de zonificación de peligro volcánico en Costa Rica, se cuenta con el caso del volcán Arenal (Esquivel, 2004), en cuyo mapa se delimitan las zonas circundantes al volcán, de acuerdo con su nivel de exposición a la amenaza y se indican los usos a los que

se puede destinar el terreno en cada una de las zonas definidas. Las restricciones establecidas en este mapa son de acatamiento obligatorio para todas las instituciones públicas desde el 11 de enero de 2001, cuando se publicó en el diario oficial La Gaceta N° 8 (páginas 41-47) la resolución vinculante “Restricciones de uso del suelo en los alrededores del volcán Arenal”, la cual, debido a cambios en la actividad del volcán, fue ligeramente modificada mediante la “Reforma Restricciones de uso del suelo en los alrededores del Volcán Arenal” del 2 de marzo de 2016. Al 2018, no existe otro documento de esta naturaleza, legalmente vinculante para ninguno de los demás volcanes activos del país.

Mora-Amador (2010) elaboró un mapa de peligrosidad volcánica para el volcán Poás, con base en sus principales erupciones históricas. Sin embargo, este documento no tiene carácter de oficialidad en cuanto a temas de ordenamiento territorial y gestión del riesgo.

Para el volcán Turrialba se cuenta con mapas de peligro volcánico y restricción de uso de la tierra, tanto a escala 1: 25 000 como 1: 50 000 (Soto, 2012). Este documento fue financiado por la CNE, y se utilizó como base para los planes de contingencia y el manejo del parque nacional durante los últimos años (Esquivel, 2018 (Comunicación personal)).

Paniagua et al. (1996) realizaron un análisis de los daños ocasionados por la actividad eruptiva del Rincón de la Vieja durante 1995. Posteriormente, Aguilar y Alvarado (2014) llevaron a cabo un estudio sobre las pérdidas económicas asociadas con erupciones volcánicas en Costa Rica entre 1953 y 2005, determinando que las erupciones presentadas por el Rincón de la Vieja, durante las décadas de los sesentas y noventas del siglo pasado, ocasionaron pérdidas al sector agrícola y ganadero, así como daños a la infraestructura vial (puentes), particularmente a raíz de la caída de ceniza, lluvia ácida y lahares.

En relación con percepción del riesgo volcánico en la zona de estudio, no se ha encontrado evidencia de estudios anteriores; sin embargo, se cuenta con investigaciones de esta naturaleza en los volcanes El Chichón y Tacaná, en México, y Poás, en Costa Rica.

Limón (2005) realizó un análisis de la percepción del riesgo en los volcanes Chichón y Tacaná, México. Este estudio determinó que la percepción del riesgo volcánico depende incluso de la cosmovisión de las poblaciones, y que el nivel de información que estas tengan, está estrechamente vinculado con su nivel de desarrollo.

Un estudio de percepción del riesgo volcánico para el volcán Poás, realizado por Blunda (2010), determinó que, en general, la población que habita en los alrededores del volcán, no es consciente del riesgo que este representa, y que aquellos individuos en edad escolar y universitaria, son los que poseen mayor conocimiento sobre lo que deben hacer ante una erupción volcánica.

Blunda (2010, p. 203- 205) afirma que la base para la gestión del riesgo volcánico, radica en el adecuado manejo de los factores de amenaza y vulnerabilidad asociados con el impacto de la actividad volcánica sobre el entorno. Entre estos factores se cuentan: la cultura, el nivel de conocimiento de los peligros a los que se expone la comunidad, el estado físico de las viviendas, cantidad y distribución de la población, infraestructura de servicios, red vial, economía local, organización social y gestión comunitaria (Blunda, 2010, p. 204).

Peraldo-Huertas y Mora-Fernández (2017), exponen los resultados de sus experiencias en percepción del riesgo ante eventos geológicos después de aplicar distintas metodologías, como encuestas, entrevistas, talleres y microhistorias con dos poblaciones. La primera, en Pérez Zeledón (San José, Costa Rica), y con la que se abordó el tema del impacto que tuvo el terremoto del 3 de julio de 1983, así como la fuente generadora del evento desde el punto de vista de los pobladores. La segunda población, está conformada por habitantes de la isla de Ometepe (Nicaragua), y con esta se evaluó la percepción del riesgo volcánico, particularmente asociado con la actividad del volcán Concepción. Estos autores señalan que algunos casos, las percepciones localizadas pueden incrementar la vulnerabilidad de las poblaciones, pero también despertar la curiosidad científica.

2.2 Peligros volcánicos

Los volcanes son la fuente de varios peligros geológicos. Desde que existe consciencia de la amenaza que estos representan para las poblaciones, la actividad eruptiva alrededor del mundo ha sido registrada, por medio de petroglifos, pinturas, dibujos, crónicas (figura 4) y hasta leyendas.

Posiblemente el registro más antiguo conocido sea la pintura de 36000(?) años, encontrada en la caverna Chauvet-Pont d'Arc, en Ardèche, Francia (Nomade et al., 2016) (figura 4a y b). A este registro le siguen las pinturas neolíticas de Çatalhöyük (Turquía), las

cuales datan de hace aproximadamente 28000(?) años y se cree que representan una erupción del volcán Hasan Dağı twin-peaks (Schmitt et al., 2014) (Figura 4d); los petroglifos de la erupción del volcán Porak, datados en 5000 años A.C, en Syunik (Armenia) (Figura 4c) y el registro de la erupción del volcán Vesubio en 79 D.C, realizado por Plinio el Joven (Scandone et al., 1993).

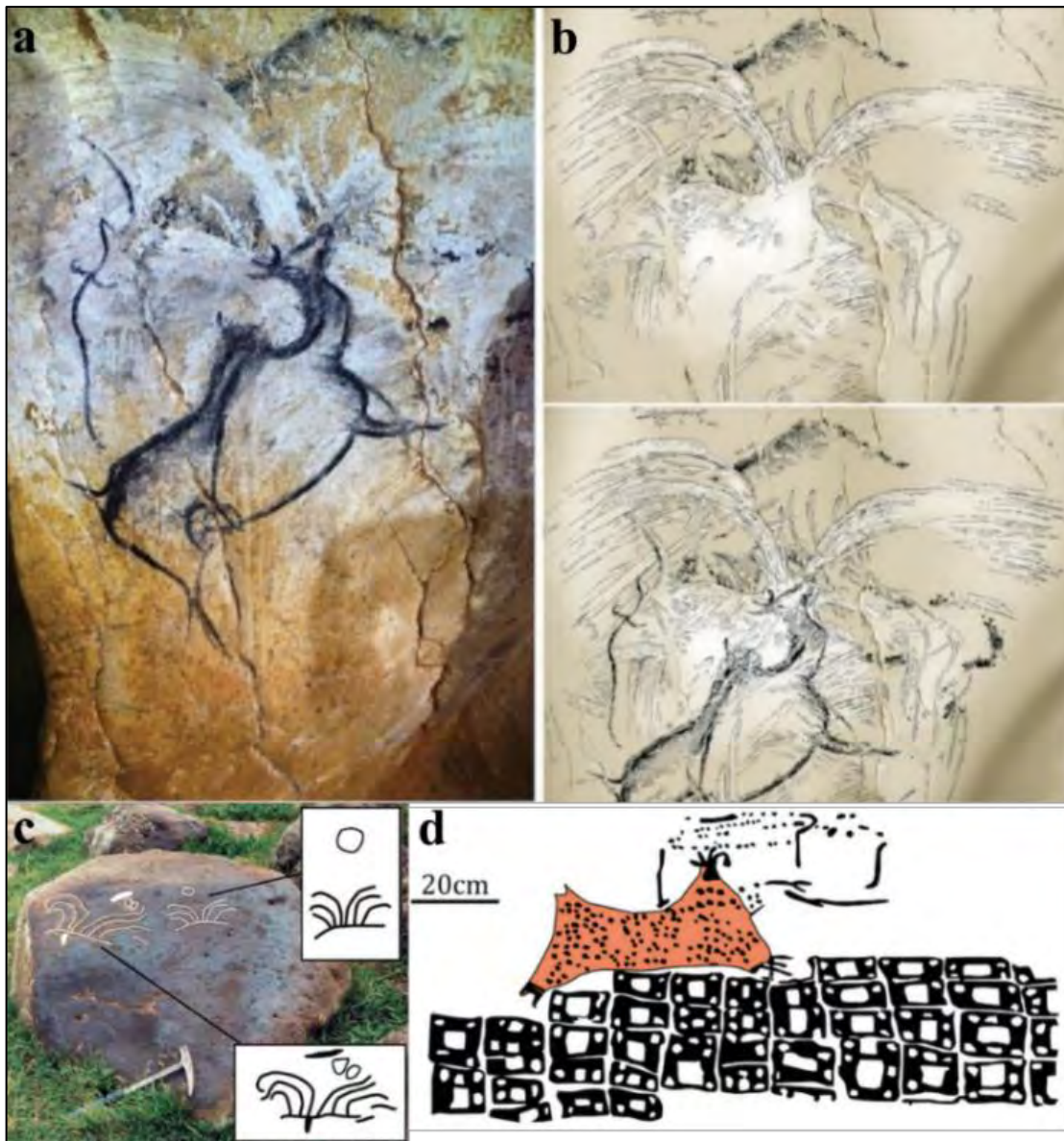


Figura 4: a. Fotografía de la pintura que se cree representa una erupción volcánica; b. Diagrama de las pinturas de la cueva Chauvet-Pont d'Arc; c. Petroglifos de la erupción de un volcán; d. Pinturas neolíticas de Çatalhöyük (Turquía), y se cree que representan una erupción del volcán Hasan Dağı twin-peaks; (Imágenes tomadas de Nomade et al., 2016).

Asimismo, a lo largo de la historia y principalmente desde el siglo XX, científicos alrededor del globo se han dedicado a estudiar los peligros de muchos de los volcanes activos y potencialmente activos del mundo. Esta tarea requiere vigilar de cerca su actividad, así como el estudio de su historia eruptiva y depósitos, para tratar de determinar periodos de recurrencia y tipo de erupciones, que pueden caracterizar un volcán en particular.

El estudio y monitoreo de los volcanes activos, permite a los científicos informar, y en caso necesario alertar a las autoridades y a la población que habita cerca de algún volcán en particular, si aumenta la probabilidad de que ocurra una erupción u otro evento peligroso asociado con la actividad volcánica.

Desde el siglo I D.C., más de cuatrocientos volcanes han hecho erupción una o varias veces (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2000). Según Witham (2005, p. 213), solo durante el siglo XX murieron al menos 91724 personas como consecuencia de la actividad volcánica en todo el mundo; de este total, 0,72 % de los decesos fueron causados por flujos de lava, 6,59% por caída de tefra y balísticos, 49,97 % a raíz de flujos piroclásticos y avalanchas, 33,51 % a causa de lahares, 0,43% por sismos volcánicos, 0,72 % por tsunamis inducidos por actividad volcánica, 2,2 % debido a la afectación por gases y 6,04% a raíz de causas indirectas (enfermedades, inanición, etc.) o desconocidas.

Las regiones volcánicas más activas del mundo se encuentran a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico, que incluye muchas islas del Pacífico Sur, Occidental y Norte, así como Japón y muchas zonas extensas del borde occidental de América, incluyendo Centroamérica, el Caribe y grandes áreas de la Cordillera de los Andes (USGS, 2000); aquí se concentra la mayor parte del vulcanismo originado por subducción. Otras zonas volcánicas sumamente activas se encuentran en los bordes de placa divergente (como Islandia y África Oriental) y los puntos calientes (Yellowstone, Galápagos, Hawái, entre otros.).

Sin importar el origen del vulcanismo, las grandes erupciones explosivas pueden representar una amenaza para la población, poniendo en riesgo a las comunidades expuestas e incluso, a propiedades localizadas a cientos de kilómetros de distancia. La actividad volcánica puede llegar inclusive, a afectar el clima global, como sucedió con las erupciones de los volcanes Tambora (1815), Chichón (1982) y Pinatubo (1991) (USGS, 2000).

Entre los principales peligros volcánicos se pueden citar: coladas de lava, gases, caída de ceniza y bombas, flujos piroclásticos y lahares, siendo estos dos últimos los más letales. Algunos de estos, como los flujos de lava, son tan fácilmente evitables que rara vez causan víctimas mortales (Auker et al., 2013, p. 14). Por su parte, algunos gases volcánicos causan algunas muertes, debido a que son prácticamente indetectables al olfato humano (Smets et al., 2010).

Históricamente, los gases volcánicos que pueden ser emitidos de forma difusa a través del suelo, constante por medio de fumarolas, o súbitamente durante las erupciones, han ocasionado entre 1 y 4% del total de las muertes causadas por vulcanismo y al menos 455 millones de personas en el mundo viven en áreas volcánicas expuestas a gases como CO₂, SO₂, HCl, HF, H₂S, CO, Rn, Pb y Hg. En muchos casos, las emisiones de gases volcánicos superan a las de contaminantes atmosféricos antropogénicos (p. ej. el flujo de SO₂ emitido por el Mt. Etna (Sicilia) equivale al total de las emisiones de SO₂ antropogénico en Francia) (Hansell & Oppenheimer, 2004).

Los lahares y flujos piroclásticos son los fenómenos que han causado la mayoría de las muertes directas relacionadas con erupciones volcánicas entre 1600 y 2010 (Auker et al., 2013, p. 23).

Los flujos piroclásticos son avalanchas de cenizas calientes y lava fragmentada suspendido en gas, que alcanzan temperaturas de hasta 900° C, y se mueven a velocidades de entre 160 y 240 km/h (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2000).

Los lahares, a menudo llamados flujos de lodo, son suspensiones hiperconcentradas de agua, cenizas y escombros. Están solo un poco por detrás de los flujos piroclásticos en términos de muertes causadas entre los años 1600 y 2010 (Auker et al 2013; 2000). Tanto los flujos piroclásticos, como los lahares, ocurren muy rápidamente, ofreciendo muy poco tiempo para la evacuación. Algunos de los peligros volcánicos descritos, como las avalanchas o lahares, pueden ocurrir aun cuando el volcán no se encuentre en erupción (Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2000).

2.3 Riesgo volcánico

Scandone (1983), define el riesgo volcánico como una función areal del tipo:

$$R(x, y, t) = P_i(x, y, t) \times D_i(x, y, t).$$

Donde P_i , es la probabilidad absoluta de que un fenómeno volcánico determinado ocurra en un área de coordenadas x , y en el tiempo t , y $D_i(x, y, t)$ es el daño causado por este suceso. El tiempo se relaciona con la dependencia temporal de las probabilidades eruptivas y con la variación del daño que con el tiempo un área experimenta a causa de una erupción.

Por su parte, Ortiz y Araña (1996, p. 17) consideran el riesgo como una función probabilística resultante del producto entre las funciones peligrosidad, vulnerabilidad y exposición:

$$\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición} \times \text{Peligrosidad}$$

Donde por exposición se entiende valor expuesto. De acuerdo con esta metodología, para establecer el riesgo se debe obtener la peligrosidad y la vulnerabilidad para cada punto de la zona de estudio. La vulnerabilidad, se define como la condición intrínseca de ser impactado por un suceso a causa de un conjunto de condiciones y procesos físicos, sociales, económicos y ambientales. Esta se determina según el grado de exposición y fragilidad de los elementos susceptibles de ser afectados y la limitación de su capacidad para recuperarse (Ley 8488, La Gaceta (2006)).

En ambas definiciones de riesgo la variable común es la amenaza o peligrosidad volcánica, por lo que el presente trabajo constituirá un aporte, ya sea que se aplique una u otra metodología para futuras estimaciones del riesgo volcánico.

2.4 Evaluación de la peligrosidad volcánica y mapas de riesgo

Renda et al. (2017) describen los mapas de riesgo como herramientas que, al permitir identificar zonas de mayor o menor riesgo ante peligros, ayudan a determinar las áreas a intervenir con determinada inversión en infraestructura, volviéndolos un recurso que permite adecuar la gestión territorial a las condiciones restrictivas para su ocupación.

Tal y como lo menciona Gómez (1996, p. 15-16), el principal objetivo perseguido con la aplicación de la ecuación de Peligrosidad Volcánica, es la generación de mapas que expresen de forma cuantitativa los riesgos potenciales a los que está expuesta un área volcánica.

Como primer problema al momento de abordar el cálculo del riesgo, tenemos la complejidad del análisis del factor de peligro, debido a que para su estimación es necesario disponer al menos de:

- 1- Un intervalo amplio del registro histórico y geológico que permita caracterizar la tipología eruptiva,
- 2- La localización del futuro centro eruptivo y;
- 3- La probabilidad de que se produzca en ese punto una erupción de determinada intensidad y características en un intervalo de tiempo dado.

En cuanto a la evaluación de los tipos de erupciones y su probabilidad de ocurrencia, diversos autores han definido índices y métodos de clasificación de todo tipo, que para ser aplicables requieren el conocimiento de gran cantidad de parámetros del registro geológico (Gómez, 1996, p. 18). Por su parte, la localización del futuro centro eruptivo es difícil de precisar en áreas donde exista cierta dispersión o irregularidad, y dado que es necesario fijar un punto único sobre el que llevar a cabo el cálculo, se elimina del análisis, la variabilidad espacial que presentan los fenómenos volcánicos. Respecto a este tema, existen investigaciones como la de Selva et al., (2012), donde se propone un mapa probabilístico de amenaza de apertura de nuevos focos eruptivos en la caldera Campi Flegrei, Nápoles.

De acuerdo con Ortíz y Araña (1996), para estudiar los distintos peligros volcánicos es necesario hacerlo de forma independiente, según sus características por episodio eruptivo, por lo que se debe considerar la duración, magnitud y alcance, entre otros. Asimismo, a través del estudio de la tefroestratigrafía, se debe tratar de definir en la medida de lo posible, e idealmente a través de dataciones, periodos de recurrencia de los ciclos eruptivos y se puede además, obtener parámetros que permitan realizar modelajes numéricos. Todo esto, con el objetivo de crear los mapas de peligro volcánico, con el apoyo de un sistema de información geográfica.

Durante la elaboración de mapas de peligro, se debe tener especial cuidado con detalles como la escala, la proyección geográfica utilizada, la simbología y el despliegue en sí mismo de los datos. Es indispensable tener en mente el tipo de público para el que está siendo creado el documento, es decir, pobladores, políticos o científicos; ya que esto determinará el uso que se le dará al documento (informativo, apoyo para toma de decisiones o académico) y servirá de indicador para saber qué información es ciertamente relevante integrar.

Los estudios vulcanológicos normalmente se centran en la elaboración de mapas de peligrosidad, donde se evalúan de forma cualitativa los peligros volcánicos. Para Costa Rica tenemos por ejemplo los trabajos de Soto y Sjöbohm (2005) y Soto (2012), en los volcanes Arenal y Turrialba, respectivamente.

Gómez (1996, p. 26), menciona que, para determinar la peligrosidad de un área, normalmente los estudios plantean tres preguntas principales: ¿Cuál es la zona más probable en la que se puede producir una erupción?, ¿qué posibilidades hay de que se produzca en un plazo determinado? y ¿cuál será su dimensión y su zona de alcance? Es por lo anterior, que la vulcanología se ha centrado en el análisis de tres aspectos: 1- La ubicación del área probable de erupción; 2- El análisis de la probabilidad de erupción y; 3-La naturaleza de las erupciones futuras.

2.5 Percepción del riesgo

Experiencias con erupciones como la del Monte Pelée en Martinica (1902) y la del volcán Arenal en Costa Rica (1968), han demostrado que es complicado mantener una percepción equilibrada del riesgo volcánico, y que el nivel de conciencia depende principalmente de la memoria histórica de las poblaciones (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 1987, p. 59; Esquivel, 2004; Soto y Sjöbohm, L, 2005).

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (1987, p. 60-61) afirma además que un factor decisivo en la percepción del riesgo por parte

de las comunidades, es cuando la seguridad de la población es responsabilidad de una sola persona, por lo general es un político con poca o nula capacitación en el tema.

De acuerdo con Sandman (2003), la indignación es el principal factor determinante del peligro percibido. Se puede decir que, si existe una amenaza alta, pero la percepción del riesgo es baja, la población va a mostrar poco interés en el tema, y esto eventualmente dificultaría la adopción de medidas que permitan mitigar el impacto de la amenaza.

Las personas únicamente responden a aquello que perciben, y la percepción del riesgo está determinada por factores como experiencias pasadas, cultura, conocimientos y características propias de la amenaza, no necesariamente basadas en criterios técnicos. Para evaluar la percepción del riesgo en una localidad, se pueden utilizar herramientas de acercamiento a la comunidad, como encuestas, entrevistas, talleres, conversatorios, entre otros.

Peraldo-Huertas y Mora-Fernández (2017), resaltan la importancia de involucrar a las comunidades en los procesos de gestión del riesgo ya que las poblaciones son una de las fuentes de transformación del territorio, a la vez que sus integrantes son quienes conocen el entorno y por tanto se encuentran capacitados para interpretarlo. Asimismo, si los pobladores han estado involucrados dentro de los procesos, es más probable que apropien sus resultados y los aprovechen, pues habrán sido generados en su entorno, y no introducidos de manera súbita.

CAPÍTULO 3: LOS PELIGROS VOLCÁNICOS DEL VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA

3.1 Actividad eruptiva conocida

La actividad eruptiva del volcán Rincón de la Vieja durante los últimos 3800 años está relativamente bien documentada. Diversos autores han llevado a cabo las tareas, tanto de documentar la actividad eruptiva, como de cartografiar, describir y datar los depósitos reconocibles. Esta información ha sido utilizada como insumo principal para elaborar el cuadro 1, en el cual se realiza un recuento detallado de los periodos de actividad conocida para este volcán.

A partir del análisis de la información recopilada, se hace evidente que, durante los últimos 4000 años, el volcán ha tenido al menos tres periodos de actividad eruptiva bien marcados:

1. Una erupción subpliniana, descrita por Kempter et al. (1996), Kempter (1997), Soto et al. (2003a), Soto (2004) y caracterizada por depósitos de pómez dacítico. Los depósitos de esta erupción se extienden hasta unos 30 km de distancia al WNW del cráter activo (Soto, 2004).

2. Una erupción con generación de flujos piroclásticos de escoria canalizados hacia el flanco norte del volcán; estos flujos alcanzaron, de acuerdo con Soto et al. (2003a), unos 10 km de distancia desde el foco eruptivo.

3. El periodo eruptivo histórico, dentro del cual se agrupa la actividad ocurrida y documentada desde el siglo XIX hasta la actualidad. La actividad durante este lapso se ha caracterizado por erupciones freatomagmáticas, siendo hasta el momento la más importante del periodo, la explosión vulcaniana ocurrida el 17 de enero de 1967 (Soto et al., 2003a). Se ha observado que las erupciones freatomagmáticas ocurren separadas por intervalos de tiempo de cuatro a cinco décadas de relativa calma, durante los cuales predomina la actividad freática.

Cabe destacar que, para los lapsos transcurridos entre los tres periodos mencionados, si bien hasta el momento no se han descrito los depósitos eruptivos correspondientes, existe un registro geológico en la cima del volcán, conformado principalmente por capas de tefra,

que evidencia periodos de actividad eruptiva freática o freatomagmática menos intensa, por lo que su posterior análisis no debe ser descartado. En la figura 5 se presenta una línea temporal con las erupciones documentadas; se abarcan los últimos 3800 años de historia eruptiva.

Cuadro 1: Resumen de actividad conocida para el volcán Rincón de la Vieja.

Año	Tipo de actividad	Fuentes
1766 A.C. ±130	Actividad eruptiva subpliniana	Kempton et al., 1996; Kempton 1997;
484 ±80- 110	Flujos piroclásticos	Soto et al., 2003a; 2003b y Soto, 2004.
1765	Referencia breve en archivos del Museo Naval de España (dudosa)	RSN, 1995.
1854-1861	Explosiones de vapor y ceniza	
14/06/1912	Erupción violenta con cenizas abundantes	
3-4/1920	Columnas de gas	
4-6/ 1922	Emisiones de vapor y columnas de ceniza	
1940-1955	Emisiones de vapor y actividad fumarólica intensa	Boudon et al., 1996; RSN, 1995; OVSICORI, 1995.
9/1966- 8/1970	Actividad fumarólica, explosiones moderadas entre octubre 1966 y enero 1967. Entre enero y abril de 1967 hubo erupciones violentas. Entre abril de 1967 y agosto de 1970 hubo explosiones menores. Afectación a las cuencas superiores de los ríos Blanco y Colorado (flanco SW). Cerca de 40 cm de ceniza en la cima.	
1971	Erupción con cenizas que produjo lahares.	OVSICORI, 1995.
2/1983	Explosiones con proyección de bloques el 6 y 21. Pequeños lahares en el valle del río Pénjamo el 7 y 8.	RSN, 1995; OVSICORI, 1995.
3/ 1984	Violentas erupciones. Hubo lahares hacia el flanco norte que alcanzaron 10 a 15 km de distancia	RSN, 1995.
9/1985 - 4/1986	Vegetación dañada por varias erupciones menores deducidas de los sismogramas. Algunos depósitos alrededor del volcán.	
31/12/1986	Explosión freática	RSN, 1995; OVSICORI, 1995.
1/4/1987	Explosión freática. Pequeños lahares a lo largo del río Pénjamo y quebrada Azufrosa	RSN, 1995; OVSICORI, 1995.
5/1991- 9/1992	Sismos de baja frecuencia, pequeña explosión el día 7 de mayo a las 8:11 a.m., con una columna de cenizas y vapor que alcanzó 5 km de altura y originó los lahares hacia el norte. Del 8 al 11 de mayo hubo un decremento progresivo en la frecuencia de las	RSN, 1995.; Paniagua et al., 1996; OVSICORI, 1995, 1991; Soto, 2004; .

	explosiones. Hasta septiembre de 1992 hubo explosiones menores intermitentes. Ríos Pénjamo, Azul y quebrada Azufrosa.	
4/ 1993	Burbujeos intensos en la laguna de color gris lodoso.	RSN, 1995.
4/1994-5/1995	Laguna de color turquesa con leves burbujeos, esta condición se mantiene hasta octubre.	
11/1995	Los días 6, 7 y 8 se dieron al menos 25 erupciones con proyección balística, siendo mayor la del día 7 a la 1:34 p.m., con una columna que se elevó aproximadamente 4 km por encima del cráter. Flujos de lodo sobre el cauce de los ríos Pénjamo y desagüe hasta la desembocadura en el río Cucaracho (Aprox. 9 km). Caída de ceniza hasta 30 km al oeste del volcán.	RSN, 1995.; OVSICORI, 1995; Paniagua, 1996;
2/1998	Reportes visuales de la mayor explosión el 16 de febrero a las 5:14 a.m. Ésta generó un lahar tibio que se distribuyó por los ríos Pénjamo, Azul y Azufrosa, en el flanco norte del volcán. Durante el resto del día hubo 23 erupciones de vapor con muy poca ceniza reportadas. La última erupción con ceniza ocurrió el martes 17 a las 10:20 a.m. Hubo muerte de peces. Las erupciones fueron freáticas. El tamaño de la erupción de 1998, es al menos dos órdenes inferior a la de 1995.	Soto, 2004.
8-11/ 2011	Erupciones freáticas pequeñas, columna de menos de 1 km de altura, con generación de pequeños lahares y mortandad de peces	RSN, 2011; OVSICORI, 2011a; 2011b
2012-2013	Pequeñas erupciones freáticas	Alpízar et al., 2014a.; RSN, 2012 a, b; OVSICORI, 2012; González et al., 2013a; 2013b.
2014-2016	Erupciones freáticas con deposición de material en el flanco noreste del cráter activo y flujos de lodo durante octubre de 2014.	González et al., 2014a; 2014b; 2014c; Alpízar et al., 2014b; Bakkar y Taylor, 2016; Bakkar et al., 2016; Mora- Amador et al., 2015a; 2015b; Mora- Amador y Ramírez, 2016 .
2017-2018	Erupciones freáticas con columnas de hasta 1 km de altura sobre el cráter activo, caída de ceniza y generación de lahares importantes.	Observaciones de campo y testimonios de vecinos.

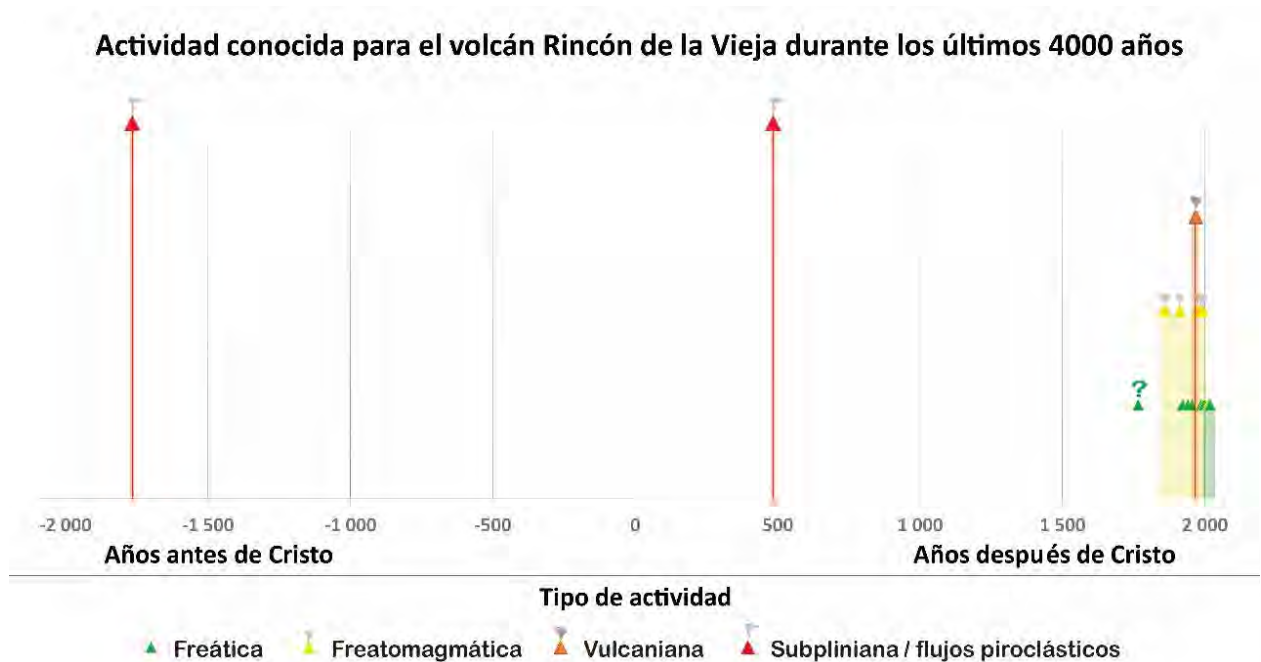


Figura 5: Cronología de la actividad eruptiva conocida y documentada para el volcán Rincón de la Vieja.

3.2 Principales peligros volcánicos asociados con la actividad del Rincón de la Vieja

Se ha determinado que los principales peligros volcánicos del sector norte del Rincón de la Vieja, a corto plazo, son los lahares, flujos piroclásticos, caída de ceniza, afectación por gases y lluvia ácida. Los flujos de lava y la caída de bloques/bombas se verían restringidos a pocos kilómetros de distancia desde la fuente, y es poco probable que alcancen las poblaciones más cercanas, si se considera que las viviendas más próximas se encuentran a 5 km de distancia del cráter activo. Respecto a la posibilidad de colapso de la pared norte del cráter activo, no existen estudios concluyentes; sin embargo, el análisis de percepción del riesgo demostró que esta es una de las principales preocupaciones de la población.

3.2.1. Lahares

Debido a factores como la presencia de una laguna intracrática, y a las condiciones climáticas imperantes en las partes altas y medias del flanco norte del volcán, los lahares son uno de los eventos más comunes asociados con su actividad, habiendo sido descritos en detalle por como Paniagua et al. (1986), Kempter (1996), Kempter y Rowe (2000) y Soto et al. (2003b) (ver cuadro 3). Todos estos autores han coincidido en que la zona más propensa a ser afectada por lahares se ubica en el sector norte del volcán. No obstante, ante un escenario eruptivo con $IEV \geq 3$, no debe descartarse la ocurrencia de lahares en los demás flancos.

Los lahares que han afectado el área de estudio se han encauzado generalmente por la quebrada Azufrada y los ríos Pénjamo y Azul, recorriendo hasta 16,6 km de distancia desde el cráter (Alvarado, 1993) y llegando a afectar el cauce del río Cucaracho. Autores como Kempter (1996) y Kempter & Rowe (2000), y Soto et al. (2004), han descrito en detalle los depósitos y sugieren que el río Pizote podría llegar a verse afectado por estos flujos en caso de una erupción de tamaño considerable, o bien a raíz de un eventual colapso del flanco norte del cráter activo. Más adelante, se describen varios escenarios de afectación por lahares para el sector norte del área de estudio, con base en modelos determinísticos y descripción de afloramientos.

3.2.1.1. Elaboración de modelos determinísticos

Debido a que los lahares son los eventos con mayor posibilidad de ocurrencia en el área de estudio y a que su alcance, mortalidad y la destrucción suelen tener significativa magnitud (ver detalles en anexo 3), se han elaborado modelos determinísticos de afectación por lahares para el volcán Rincón de la Vieja utilizando la herramienta Laharz (Schilling, 1998).

Primero se elaboró un modelo general (figura 6) que abarca todos los flancos del macizo; este considera volúmenes variables ($8 \times 10^5 \text{ m}^3$, $1 \times 10^6 \text{ m}^3$, $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$, $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ y $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$) y un modelo de elevación digital con resolución espacial de 12,5 m del sensor ALOS PALSAR, obtenido de *Alaska Satellite Facility* (2015). Los puntos de disparo se ubicaron en las partes altas de los ríos y quebradas que nacen en las laderas del volcán.

La escogencia de volúmenes modelados se basó principalmente en los siguientes criterios:

1. Alcance que han tenido los lahares generados hacia el norte del volcán Rincón de la Vieja en el pasado (cuadro 1);
2. Frecuencia con la que ocurren lahares de pequeño volumen en el área de estudio;
3. Experiencias previas documentadas, para las cuales se conocen los volúmenes o el alcance aproximado de los flujos (volcanes Irazú y Arenal (Alvarado, 1993)) y;
4. Validaciones previas realizadas a los modelos con base en los depósitos de flujos antiguos en Irazú y Rincón de la Vieja.

En la modelación se incluyó también el cálculo de una zona de amenaza proximal, la cual además de la topografía, considera la relación entre distancia L y altura H (Schilling, 1998), que en este caso fue de 0,24. En esta zona es donde, por sus condiciones topográficas y su posición con respecto al cráter activo, es más probable que se generen lahares.

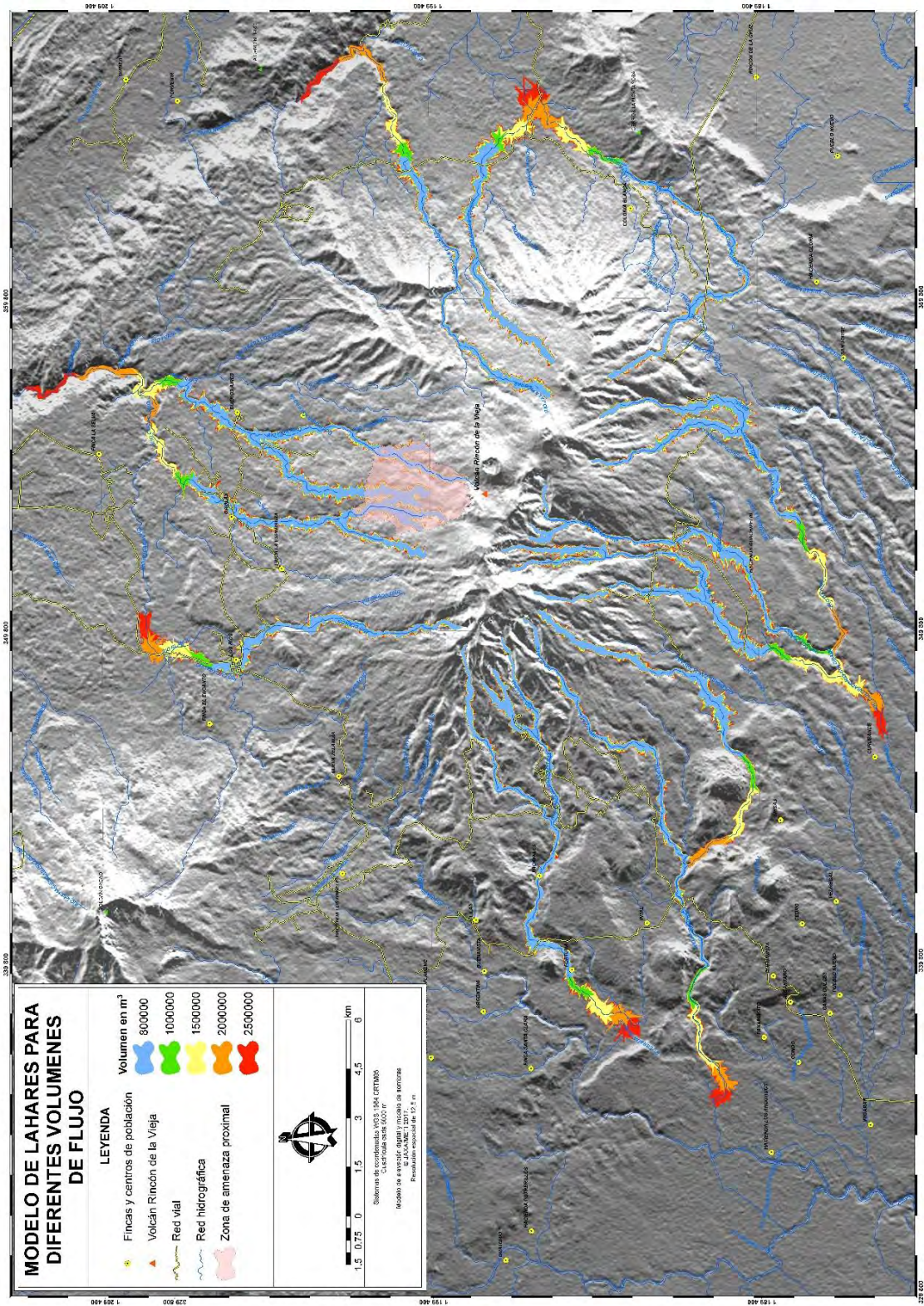


Figura 6: Modelo de afectación por lahares para el volcán Rincón de la Vieja con volúmenes variables. En el anexo 4 se presentan todos los mapas en alta resolución.

Para enfatizar en la afectación que tendría el sector norte debido a lahares que descenderían por los ríos Blanco, Azul y Pénjamo, en la figura 7 se despliegan los resultados del modelo, sobrepuestos con una capa que incluye todas las estructuras humanas (viviendas, granjas, hoteles, servicios públicos) identificadas en una imagen satelital de Google Earth ® correspondiente a diciembre de 2014.

Según el modelo de la figura 7, para un escenario de $8 \times 10^5 \text{ m}^3$ (menor volumen modelado), una gran parte de los asentamientos podrían ser inundados por un lahar, siendo Dos Ríos el sitio que eventualmente se vería más afectado.

En la figura 8 se muestra en detalle una parte del escenario de afectación presentado en la figura 7 para un volumen de $8 \times 10^5 \text{ m}^3$. En la imagen, se sobrepone el modelo con el contorno de los depósitos de lahares que han descendido recientemente por el cauce del río Pénjamo, obtenidos a partir de una imagen satelital de la plataforma Google Earth.

En la figura 9 se presentan los resultados del análisis para lahares de $2,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ con un 95 % de confiabilidad, en esta se representa el alcance mínimo, medio y máximo que tendría un flujo con volumen de $2,1 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Es importante considerar, que los límites establecidos en los modelos no son definitivos y pueden variar según las condiciones propias de cada flujo. En este caso, debido a que el tamaño de pixel del MED utilizado para la modelación es de 12,5 m, se puede considerar ese valor como la incertidumbre de los modelos obtenidos. Así pues, para los volúmenes modelados, es posible que las zonas de inundación varíen hasta 12,5 m a ambos lados del contorno trazado.

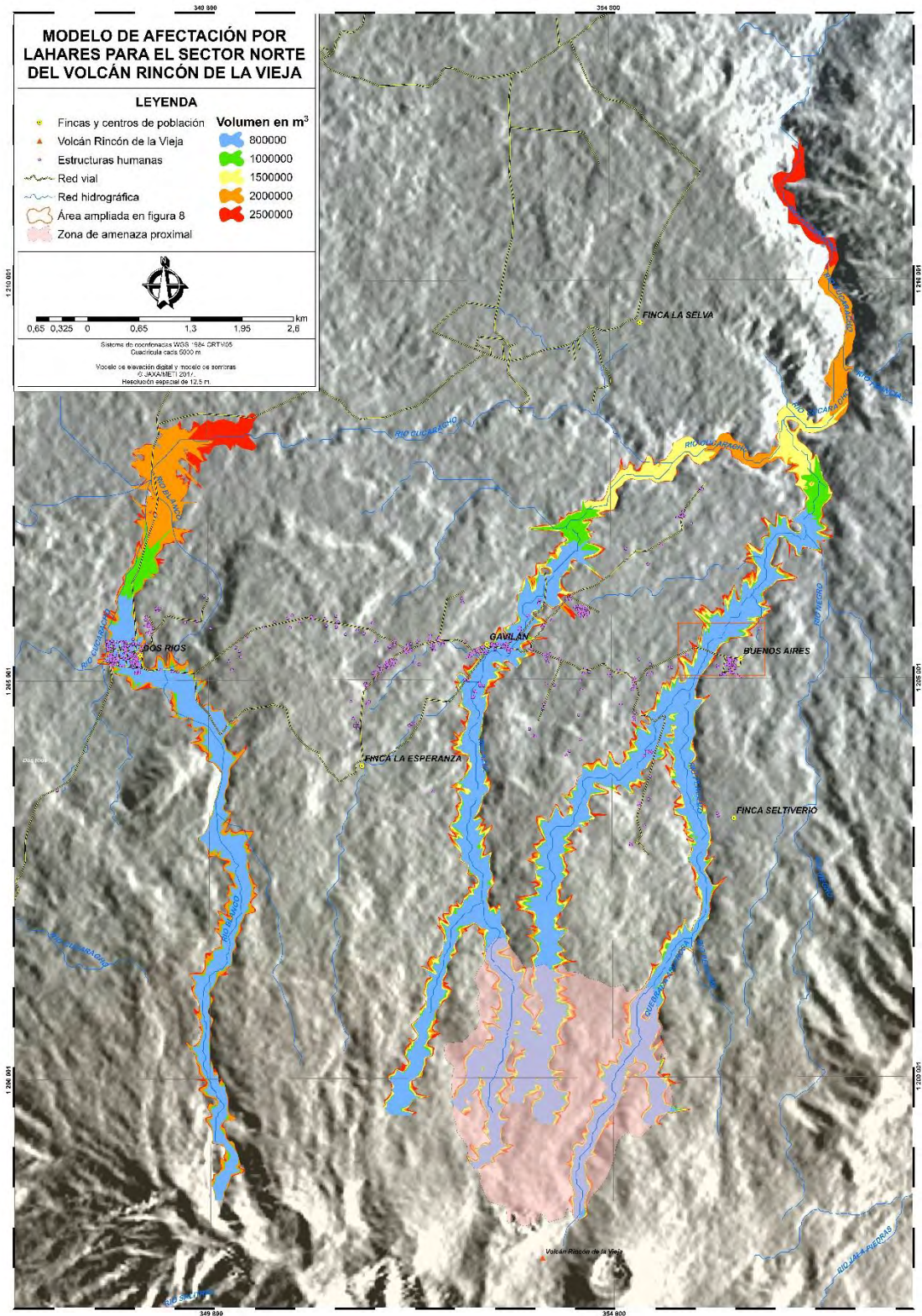


Figura 7: Modelo de afectación por lahares para diferentes volúmenes en la zona norte del volcán. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.

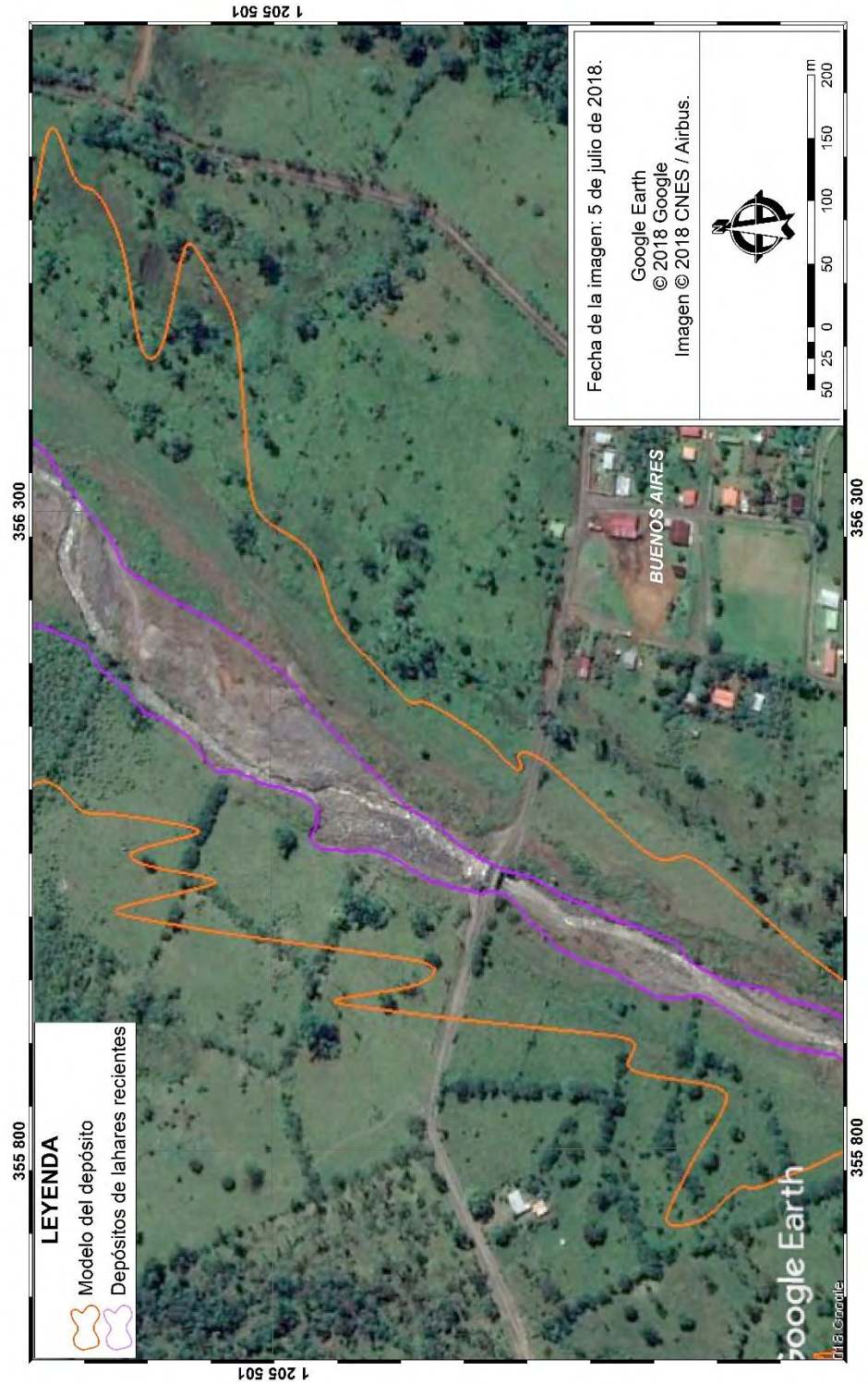


Figura 8: Superposición de parte de un modelo realizado para $8 \times 10^5 \text{ m}^3$, sobre los depósitos de lahares recientes en las cercanías del puente sobre el río Pénjamo.

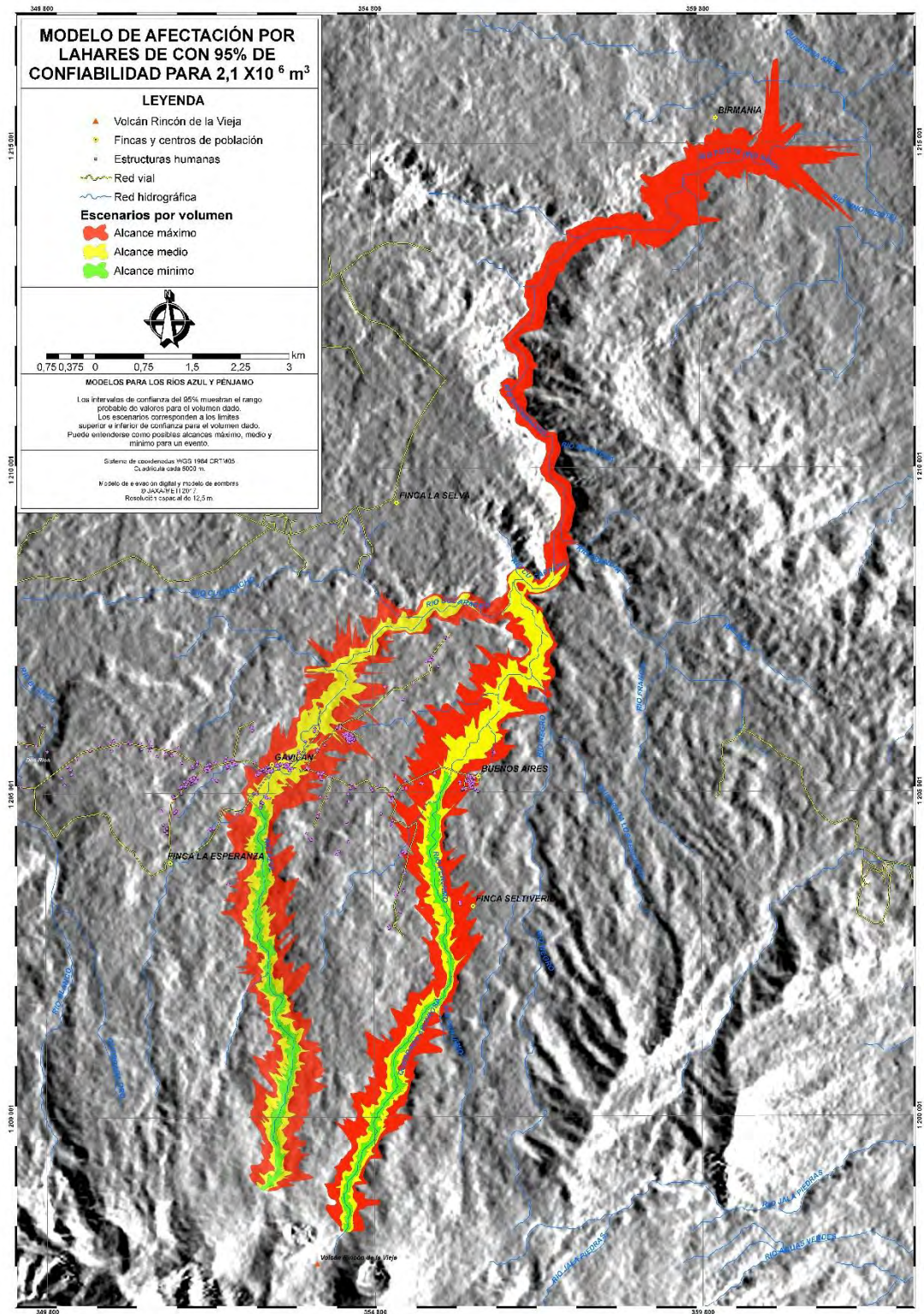


Figura 9: Modelo de lahares con volumen de $2,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ con 95% de confiabilidad. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.

3.2.2. Flujos piroclásticos

Los depósitos de flujos piroclásticos más importantes que se han encontrado para este volcán, datan del año 484 \pm 80-110, tal y como se indica en el cuadro 1; se distribuyen hacia el sector norte del volcán, alcanzando las comunidades de Buenos Aires y Gavilán.

Estos flujos fueron ampliamente descritos por Kempter et al. (1996) y Soto et al. (2003b), y fueron modelados por este último (figura 10), quien además menciona que, ante un escenario eruptivo similar al de 1766 A.C. \pm 130, la distribución de los flujos piroclásticos sería tanto hacia el norte como hacia el sur, donde afectaría un área menor. El modelo de Soto et al. (2003b) será considerado como insumo de la elaboración del mapa de peligrosidad.

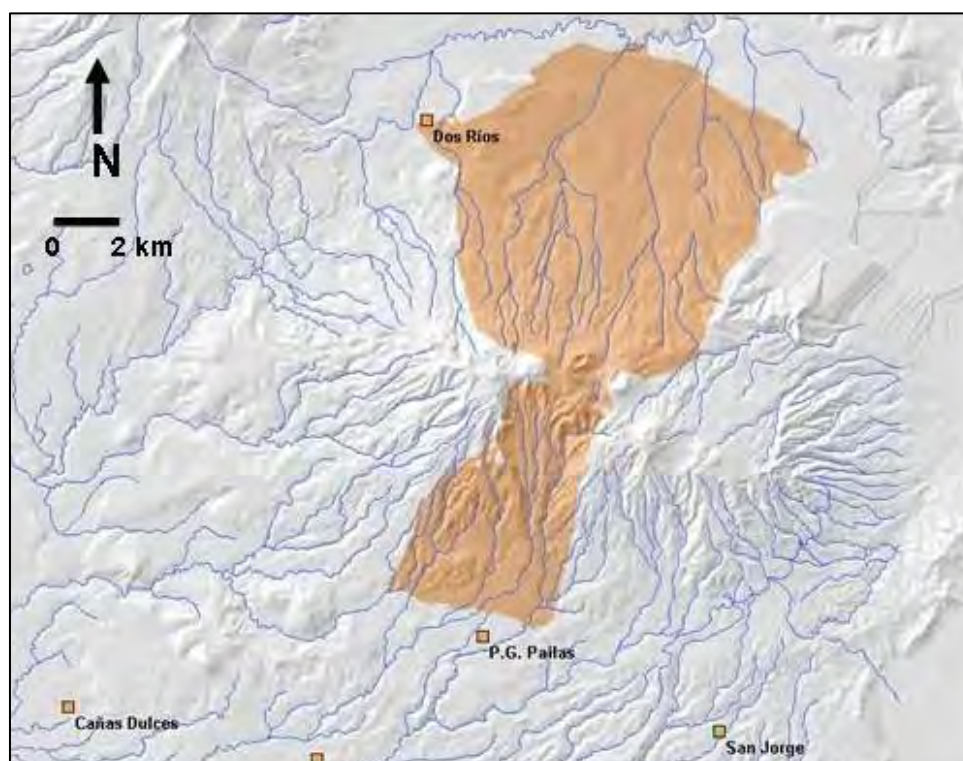


Figura 10: Distribución hipotética de los flujos piroclásticos ante un escenario eruptivo como el de 1776 A.C. (mapa original sin coordenadas). Tomado de Soto et al. (2003b).

Con respecto al modelo de flujos piroclásticos de Soto et al. (2003b), su distribución parece estar sobredimensionada, obedeciendo los mega rasgos geomorfológicos que usualmente se aprecian en MED con resoluciones espaciales de 30 a 90 m, lo cual es de esperarse debido a la antigüedad del documento. En este caso, los flujos hipotéticos se distribuirían de igual forma en valles y zonas altas, con límites laterales y frontales que en ocasiones son abruptos y cortan perpendicularmente los cauces fluviales.

Pese a lo anterior, el mapa de la figura 10, es el único disponible para ser utilizado como insumo sobre este peligro específico, ya que la modelación de flujos piroclásticos no estaba contemplada dentro de los alcances del trabajo. Como aspecto positivo, se debe señalar que los afloramientos donde se observaron depósitos de flujos piroclásticos antiguos, se encuentran dentro de los límites definidos por Soto et al. (2003b), pero será necesaria una validación de campo más detallada y utilizar un MED con resolución de 12,5 m o más alta, para mejorar este modelo.

3.2.3. Caída de ceniza

Autores como Kempter et al. (1996), Kempter (1997), y Soto et al. (2003a), han realizado mapas de caída de ceniza basados en el registro geológico y sus resultados coinciden en que la ceniza emitida presentaría un eje de dispersión orientado hacia el oeste del cráter activo. Mediante comprobación de campo, en el flanco oeste del edificio volcánico, se han encontrado depósitos de ceniza y pómez de espesores métricos, los cuales, de acuerdo con Soto et al., (2003), corresponden a la erupción subpliniana de 1766 A.C. ± 130 (figura 11).



Figura 11: Afloramiento de pómez y ceniza correspondiente a la erupción subpliniana de 1776 A.C. \pm 130.

Durante las erupciones de 1966, cayeron alrededor de 40 cm de ceniza en la cima del volcán, y para la actividad de 1995, se reportó caída de material hasta 30 km al oeste del volcán.

No obstante, si bien durante la mayor parte del año los vientos provienen desde el este, es posible que su dirección cambie, durante ciertos periodos. Es por esta razón que el mapa de peligros volcánicos propuesto, además de considerar la zona delimitada con base en el registro geológico, contempla dos escenarios eruptivos modelados en tres épocas distintas del año.

3.2.3.1. Modelación de escenarios de afectación por ceniza

Para la modelación se utilizó la herramienta Ash3D, desarrollada por el USGS. Esta se ejecuta en línea, y como parte de sus datos de entrada, toma un archivo de vientos proporcionado por el modelo numérico de predicción meteorológica del Sistema Global de

Pronóstico de la NOAA (Mastin et al., 2013). Los escenarios modelados se definieron como A (el más conservador) y B (el menos conservador) y sus características son:

Escenario A: Propuesto por Soto et al., (2003): con una altura de columna eruptiva de hasta 7 km sobre el cráter y un volumen de hasta 10^6 m^3 . La duración de esta erupción es de nueve horas, según lo calculado por Kempter (1997).

Escenario B: El que describe Kempter (1997), con una altura para la columna eruptiva de hasta 16 km sobre el cráter, un volumen de $0,25 \text{ km}^3$ y una duración de al menos 9 horas.

Para los escenarios A1, A2 y A3, correspondientes con los meses de enero, mayo y octubre respectivamente, se obtuvo espesores máximos de 30 mm. De acuerdo con el modelo, el eje de distribución del depósito sería hacia el suroeste en enero (figura 12) y hacia el oeste en octubre (figura 14), alcanzando una distancia de hasta 65 km desde el cráter. Para el caso de una erupción que ocurriera en mayo con las características descritas para el escenario A, la distribución de la ceniza sería hacia el este y sureste del foco eruptivo, con espesores máximos de 30 mm y el depósito alcanzaría una distancia máxima de 28 km desde el centro de emisión. En las figuras 12, 13 y 14, se presentan los mapas correspondientes a los escenarios A de forma reducida, mientras que en el anexo 4 se muestran en la escala a la que fueron elaborados.

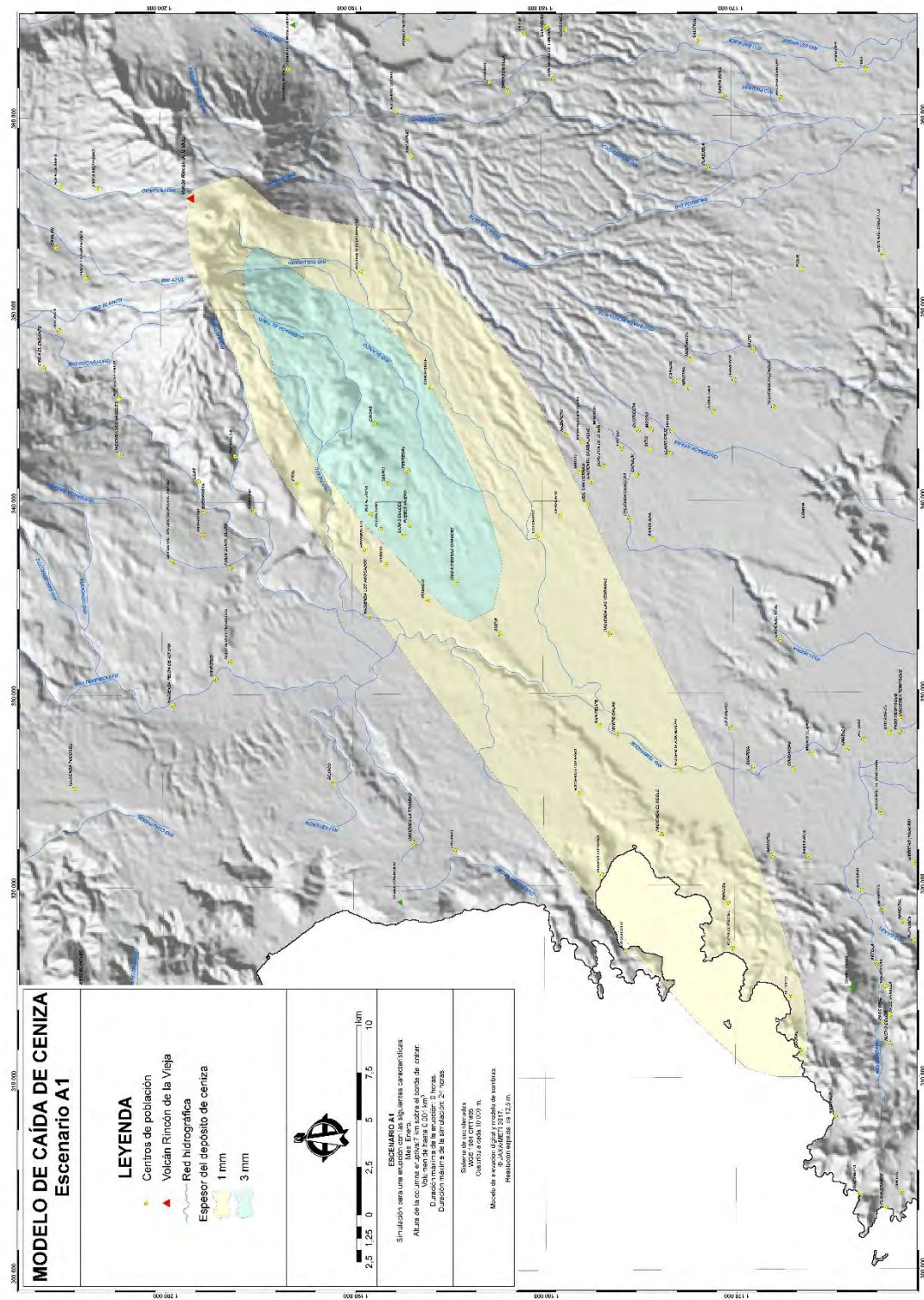


Figura 12: Modelo de caída de ceniza para el escenario A1. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.

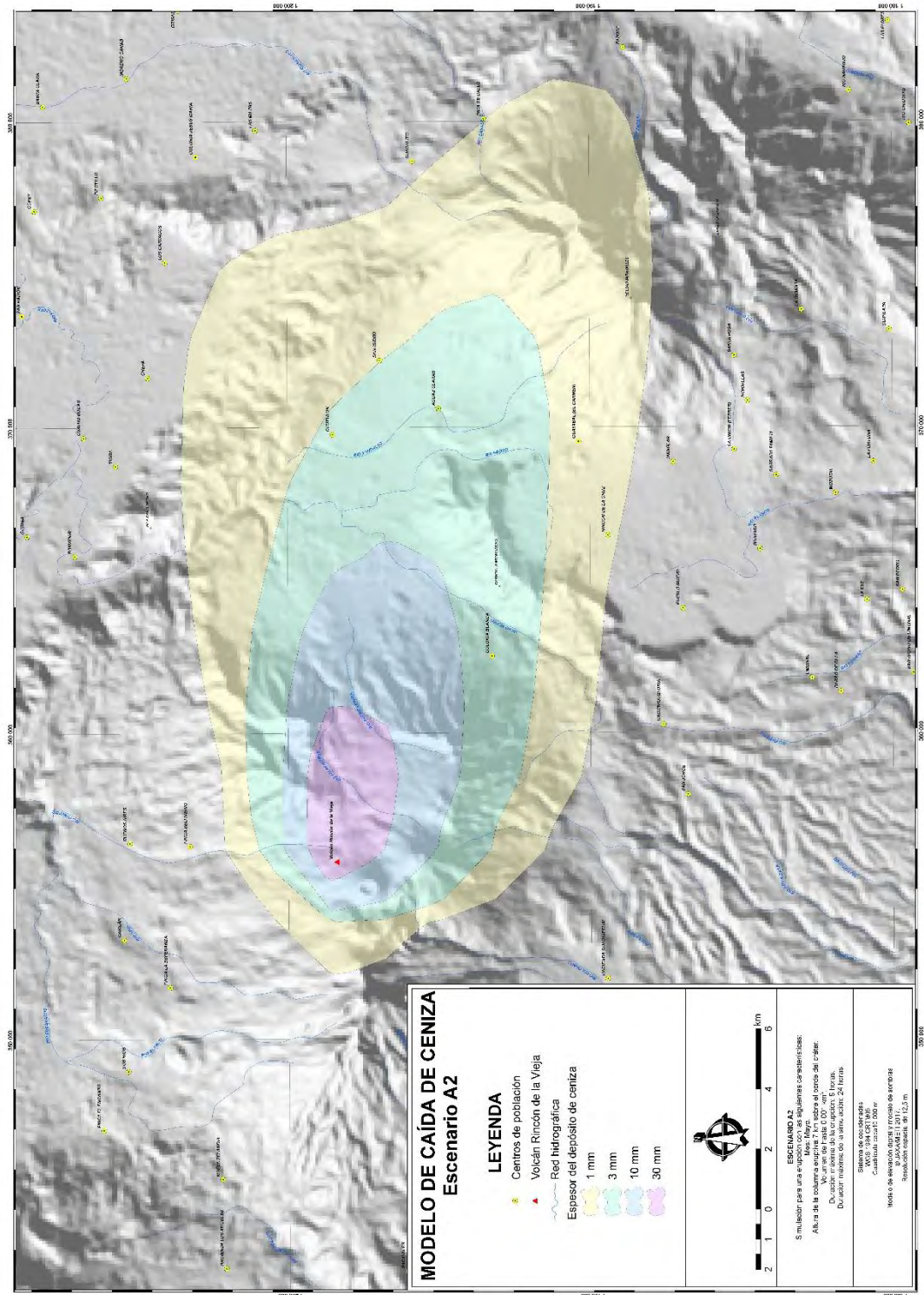


Figura 13: Modelo de caída de ceniza para el escenario A2. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.

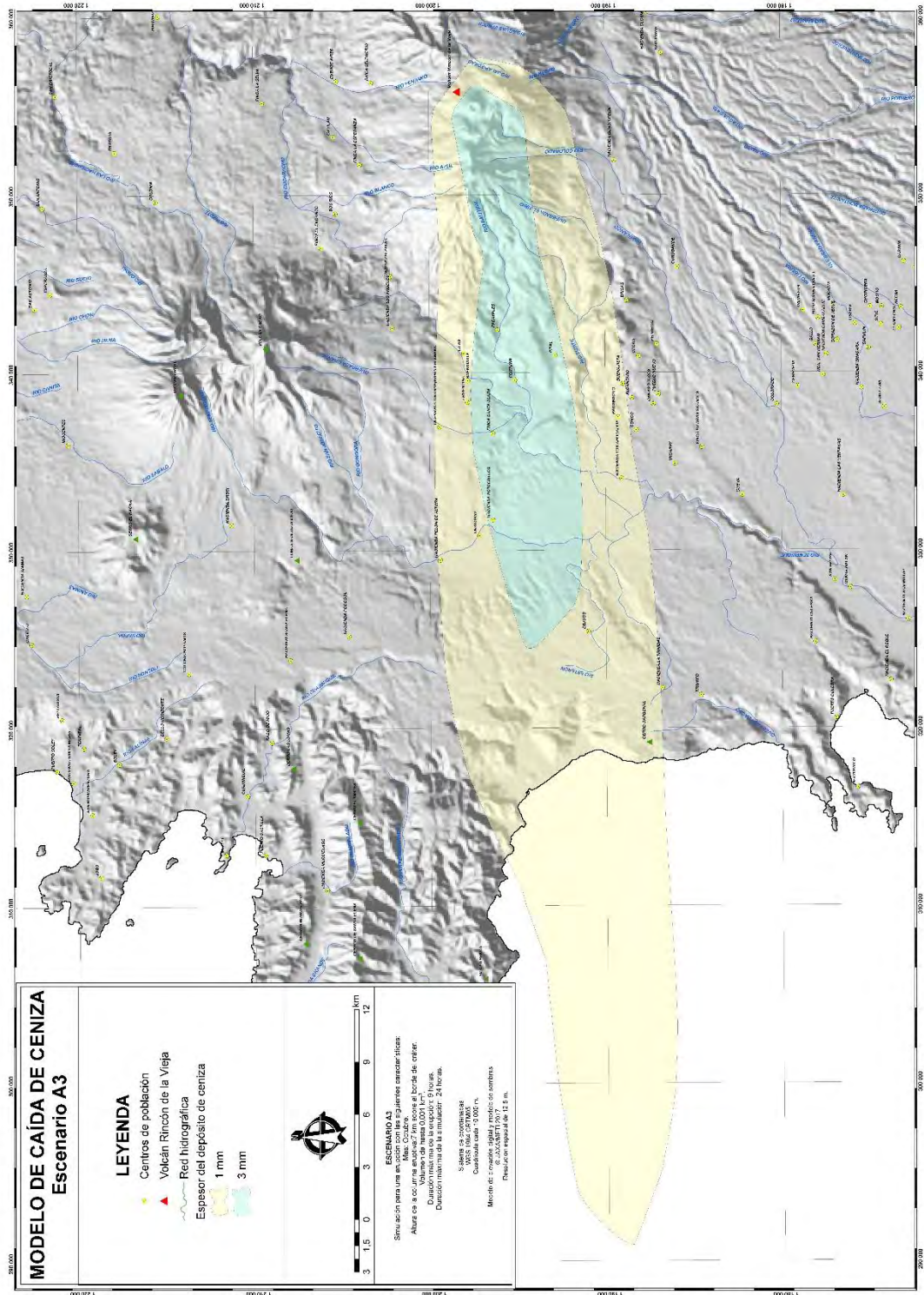


Figura 14: Modelo de caída de ceniza para el escenario A3. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.

Respecto a los escenarios B, ante las mismas condiciones eruptivas, en las tres épocas del año el comportamiento de nube de ceniza es sumamente variable, de forma tal que, si la erupción ocurriera en enero, como plantea el escenario B1, el eje de distribución de los depósitos tendría rumbo NE-SW, distribuyéndose a ambos lados del volcán por más de 100 km. El espesor máximo del depósito en estas condiciones sería de 100 mm (figura 15). Si la erupción ocurriera durante el mes de mayo, el eje de dispersión del depósito tendría rumbo E-W, y se extendería por aproximadamente 50 km a ambos lados del volcán, con un espesor máximo de 300 mm para el depósito (figura 16). En el caso de que la erupción ocurra durante el mes de octubre, la ceniza se dispersaría hacia el oeste por más de 200 km y con 100 mm de espesor máximo para el depósito (figura 17). En relación con los mapas de peligro existentes (ver Capítulo 4), el modelo que mejor se adapta a ellos es el correspondiente al escenario B3.

Debido a que un mapa de peligros debe contemplar cualquier escenario y época del año, se han combinado los modelos de afectación por caída de ceniza correspondientes a los escenarios B (figura 18), en un único mapa, que se utilizó como insumo final para el mapa preliminar de peligros volcánicos. En este mapa se consideran espesores para el depósito de entre 3 y 300 mm. Los mapas han sido combinados con la finalidad de que el resultado, no se limite exclusivamente al registro geológico, y sea aplicable durante distintas épocas del año, considerando las direcciones predominantes del viento en diferentes épocas.

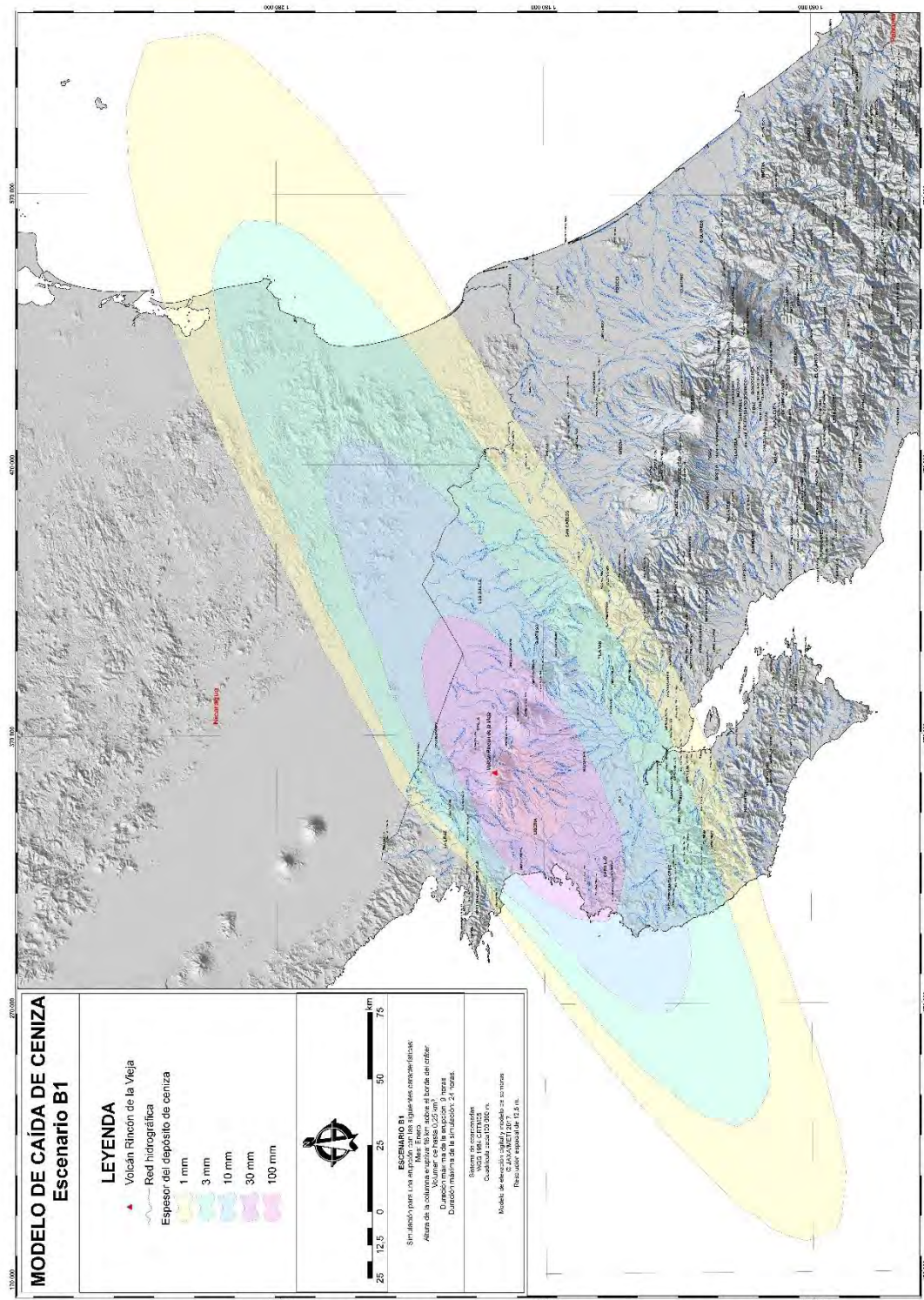


Figura 15: Modelo de caída de ceniza para el escenario B1. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.

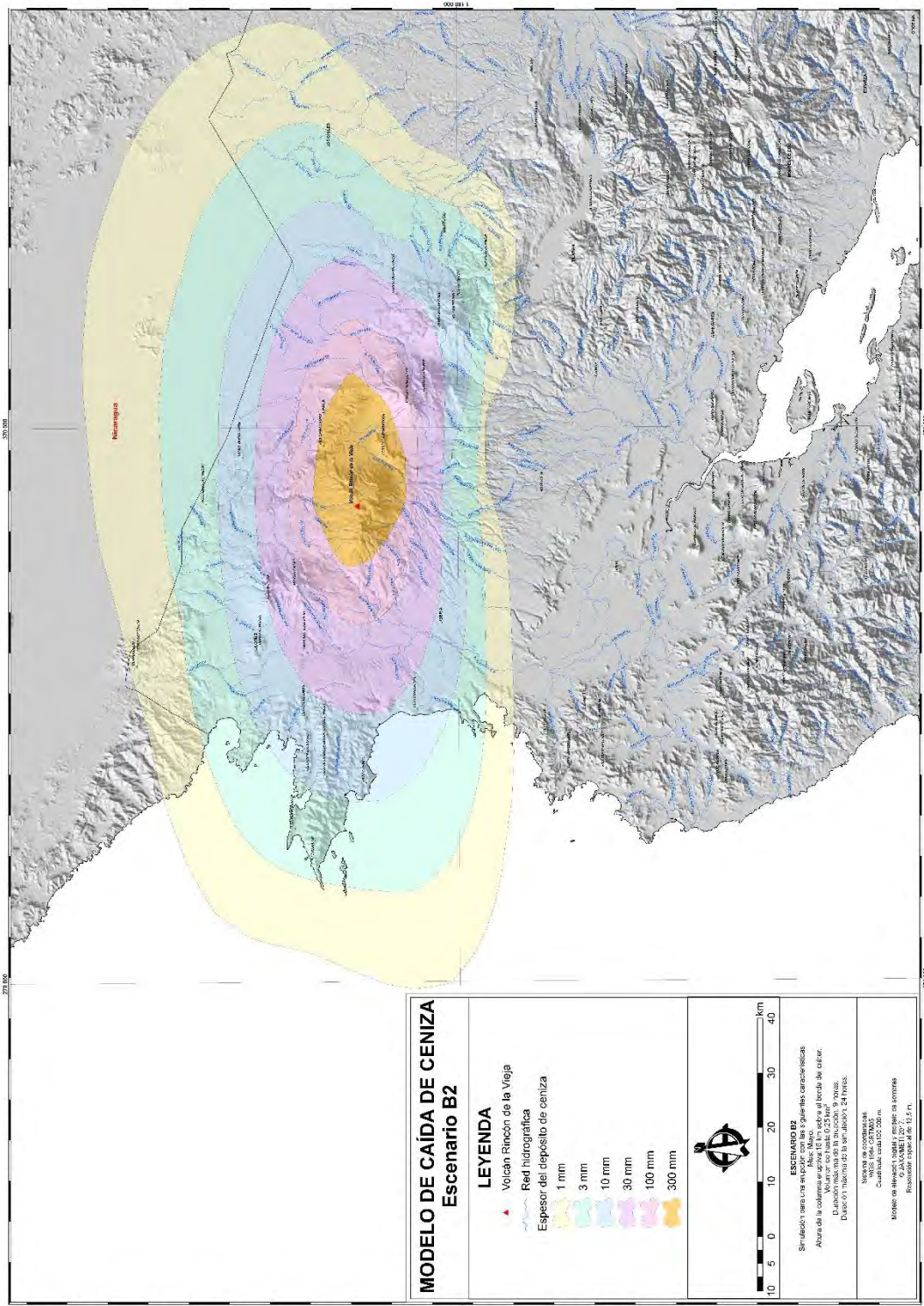


Figura 16: Modelo de caída de ceniza para el escenario B2. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.

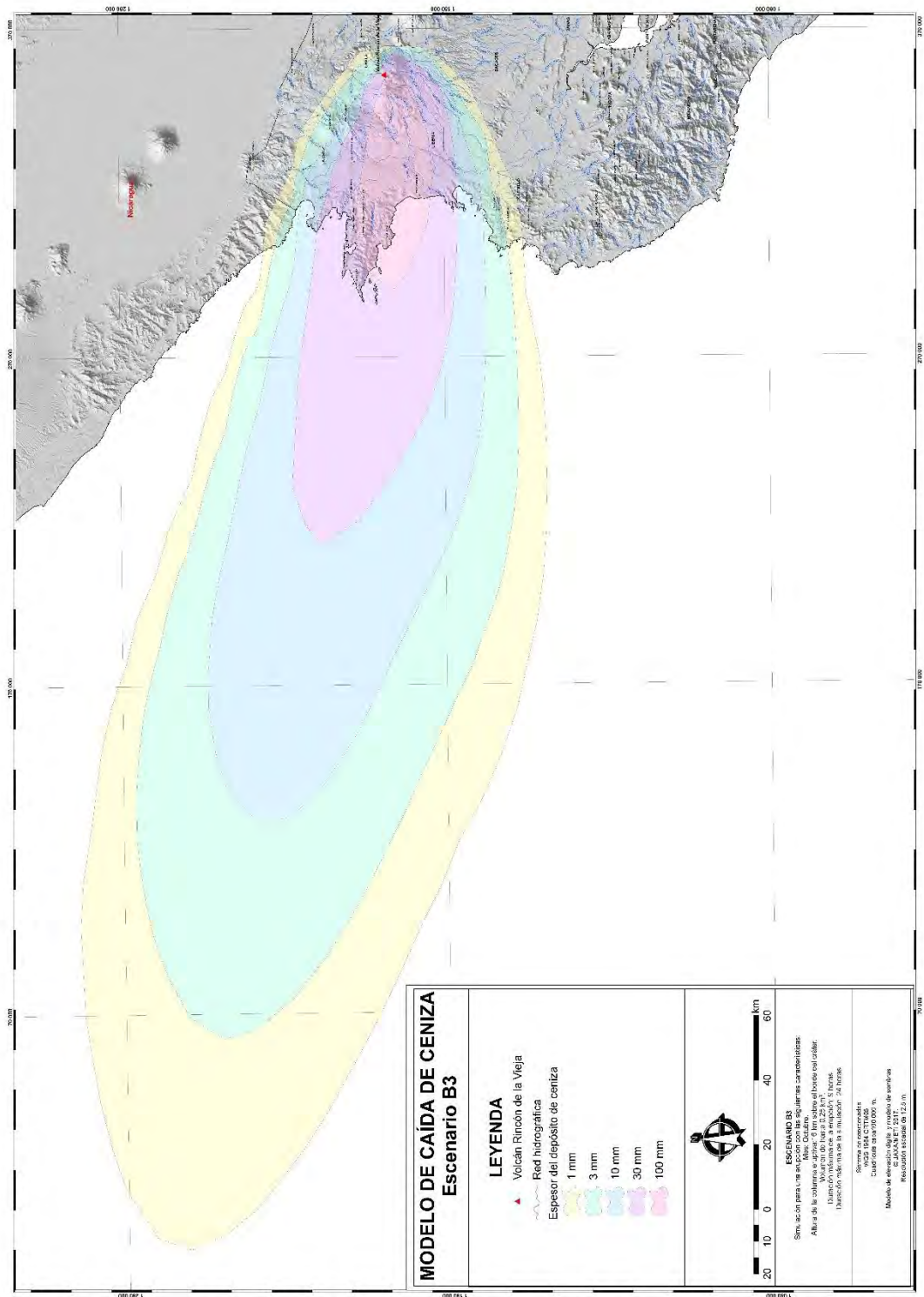


Figura 17: Modelo de caída de ceniza para el escenario B3.
Ver en alta resolución en anexo 4.

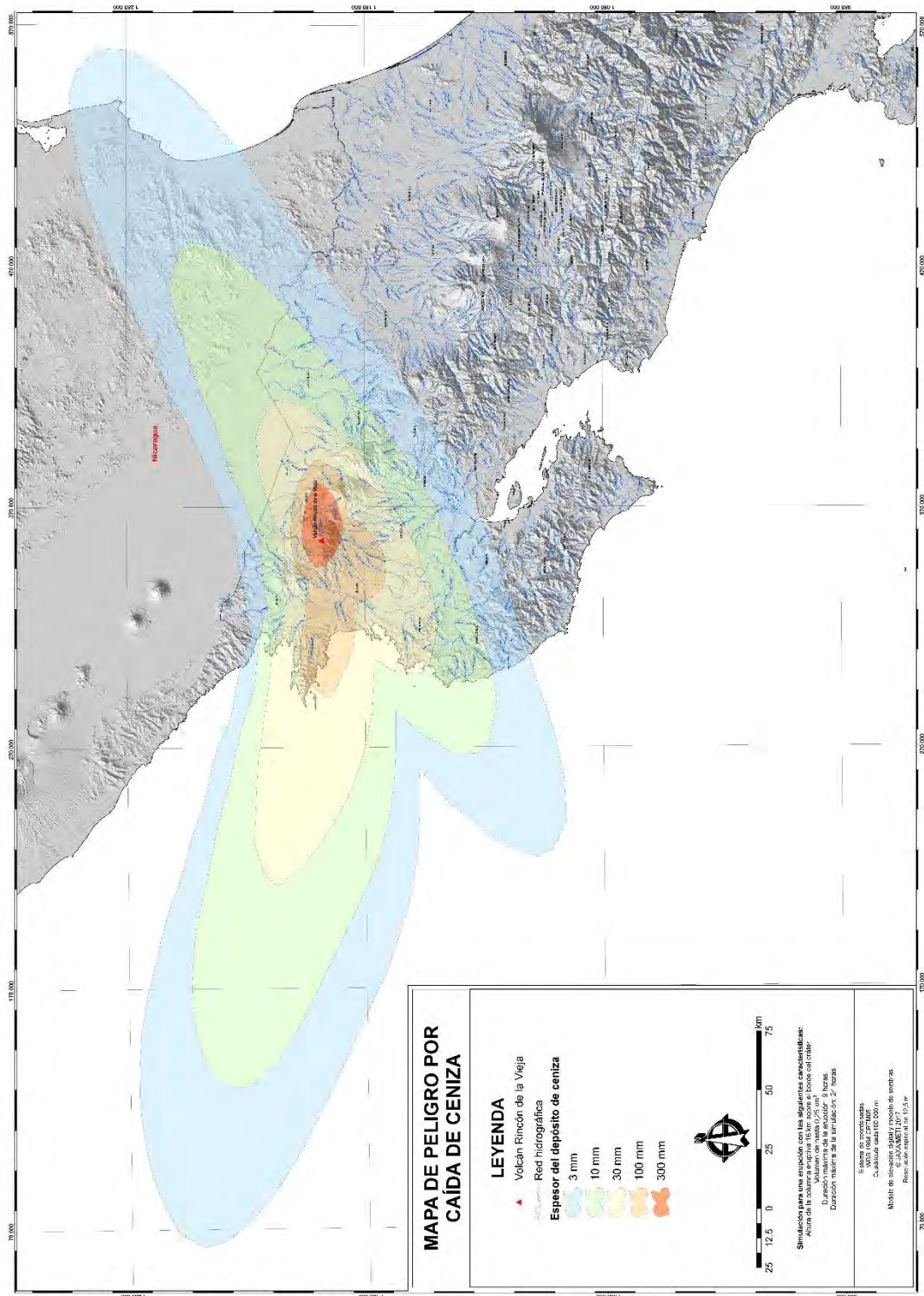


Figura 18: Mapa de peligro por caída de ceniza durante cualquier época del año, elaborado con base en el escenario eruptivo B. Ver en alta resolución en anexo 4.

3.2.4. Gases y lluvia ácida

Soto et al., (2003 b) y Soto y Martínez (2016) consideran la afectación por gases y lluvia ácida, delimitando sus efectos a zonas cercanas a la cima del volcán, distribuyéndose principalmente hacia el oeste-suroeste desde el cráter activo, en coincidencia con la dirección predominante de los vientos.

Para efectos de la elaboración del mapa preliminar de peligros, la zona de mayor afectación por gases y lluvia ácida, se ha definido utilizando imágenes satelitales de la plataforma Google Earth ® con fecha del 26/03/2015, y se consideran como parte de ella, aquellas áreas de “zona muerta” alrededor del cráter activo, en las cuales la vegetación es escasa o nula, y donde, además, durante el trabajo de campo, se comprobó la persistencia del olor a gases volcánicos. El resultado se muestra en la figura 19 y en el mapa preliminar de peligros volcánicos, y coincide en parte con los resultados mostrados en los trabajos de Soto et al. (2003), y Soto y Martínez (2016). El área afectada por gases y lluvia ácida delimitada en este trabajo, abarca al menos 37,2 km².

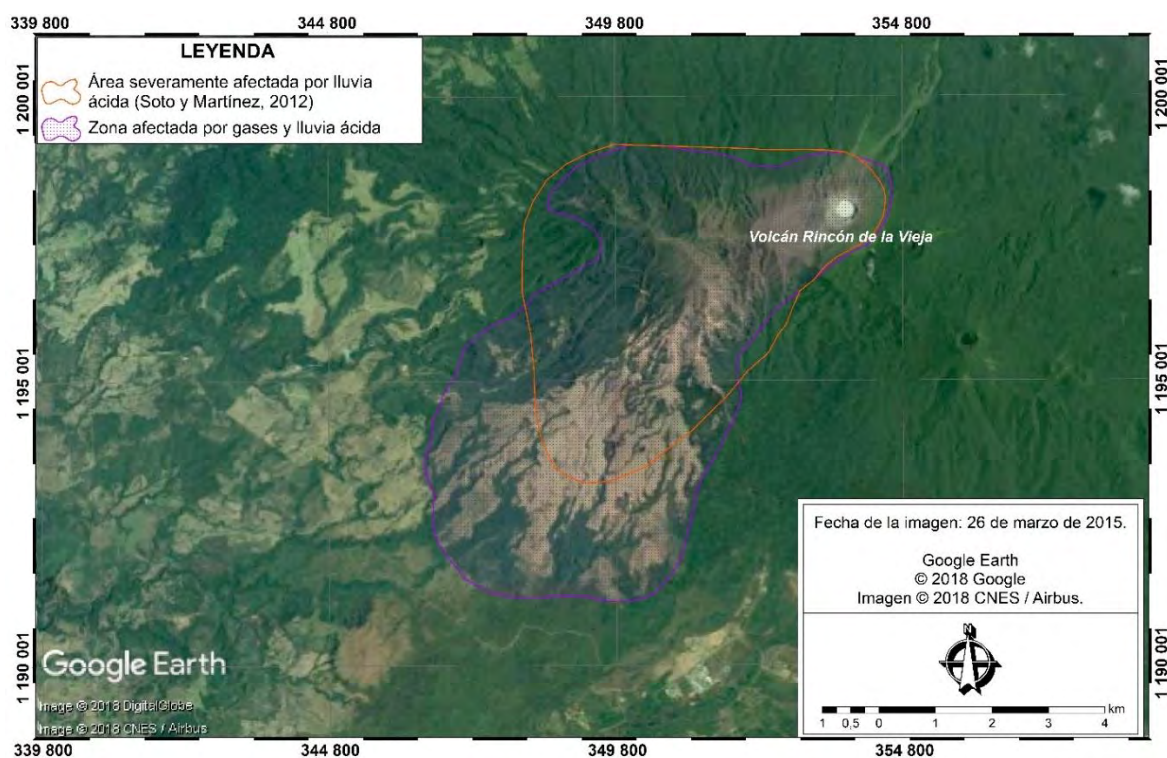


Figura 19: En color morado se muestra la zona de afectación por gases y lluvia ácida propuesta en este trabajo y en naranja, la delimitada por Soto y Martínez (2012).

3.2.5. Flujos de lava

La amenaza por flujos de lava únicamente ha sido contemplada en los trabajos de Soto et al. (2003b), y Soto y Martínez (2016). De acuerdo con Soto et al. (2003b), los flujos de lava más recientes, en apariencia tuvieron como foco de emisión al cráter Von Seebach, alcanzando entre 3 y 8,5 km de distancia, y su edad es superior a 3770 años. Estos autores delimitan la zona de peligro por flujos de lava, dentro de un área que abarca hasta 4 km al norte y 1,6 km al sur del cráter activo, debido a las barreras topográficas que impedirían un eventual avance hacia el sur de nuevas coladas de lava. La zona de amenaza proximal (figura 7 y cuadro 4), abarca el área que eventualmente sería más afectada por flujos de lava, de acuerdo con los autores consultados, las observaciones de campo y el análisis geomorfológico del área.

3.2.6. Caída de proyectiles balísticos

Soto et al. (2003b), indican que a distancias de hasta 1 km del cráter activo se han observado bloques de más de 1 m de diámetro, mientras que fragmentos de 5 cm han alcanzado hasta 8 km de distancia. Históricamente, se tiene registro de bombas y bloques que han caído hasta a 800 m del borde del cráter.

En el caso particular de este volcán, es común que ocurran erupciones freáticas o freatomagmáticas de forma esporádica y repentina, cuyo impacto se restringe a los alrededores del cráter activo. Ante estas erupciones, las comunidades más cercanas al volcán no se suelen ver afectadas, pero debido a las condiciones hostiles de la topografía en este sector, que la visibilidad en la cima en muchas ocasiones es nula por causa de los gases, y a la casi total ausencia de lugares para resguardarse, el peligro de sufrir daños por impacto de bloques o bombas para quienes se encuentren en la cima o sus alrededores es muy alto.

En los mapas de peligro volcánico existentes, se han delimitado zonas de alto y moderado peligro por proyectiles balísticos en radios de 2 y 5 km alrededor del cráter activo, respectivamente.

3.2.7. Colapso del edificio volcánico

Kempton & Rowe (2000) elaboraron un mapa cualitativo de peligros, en el cual se delimitaron zonas de alto y moderado peligro en caso de lahares y avalanchas. Ellos determinaron que, el mayor peligro en caso de que sucedan erupciones dirigidas, o que se dé el colapso de un sector del cráter activo, es para el sector norte.

Los colapsos de edificios volcánicos no son eventos muy frecuentes, pero cuando ocurren tienden a ser altamente destructivos. Pese a que el único caso histórico en Costa Rica se presentó sin consecuencias en el volcán Irazú el 8 de diciembre de 1994, existen registros de deslizamientos volcánicos prehistóricos que han afectado principalmente la ladera suroeste del volcán Rincón de la Vieja y algunos sectores de la cima (Soto et al., 2003).

Si bien la posibilidad de colapso de una parte del edificio volcánico no ha sido estudiada a fondo, autores como Paniagua et al. (1996), Kempton & Rowe (2000) y Soto et al. (2003b) señalan que, debido a las características geomorfológicas del cráter activo y la constante actividad eruptiva e hidrotermal, su flanco norte es, en apariencia, el más susceptible de colapsar. Un evento de este tipo posiblemente originaría fenómenos como flujos piroclásticos, *debris avalanche* y lahares de gran volumen.

3.2.8. Características de los depósitos

Durante el trabajo de campo se analizaron los depósitos de lahares tanto antiguos como recientes y flujos piroclásticos. A continuación, se describen los depósitos característicos de los ríos Azul y Pénjamo, cuyas ubicaciones se muestran en el mapa de la figura 20. En la localidad de Dos Ríos no se logró ubicar sitios donde afloraran estos materiales.

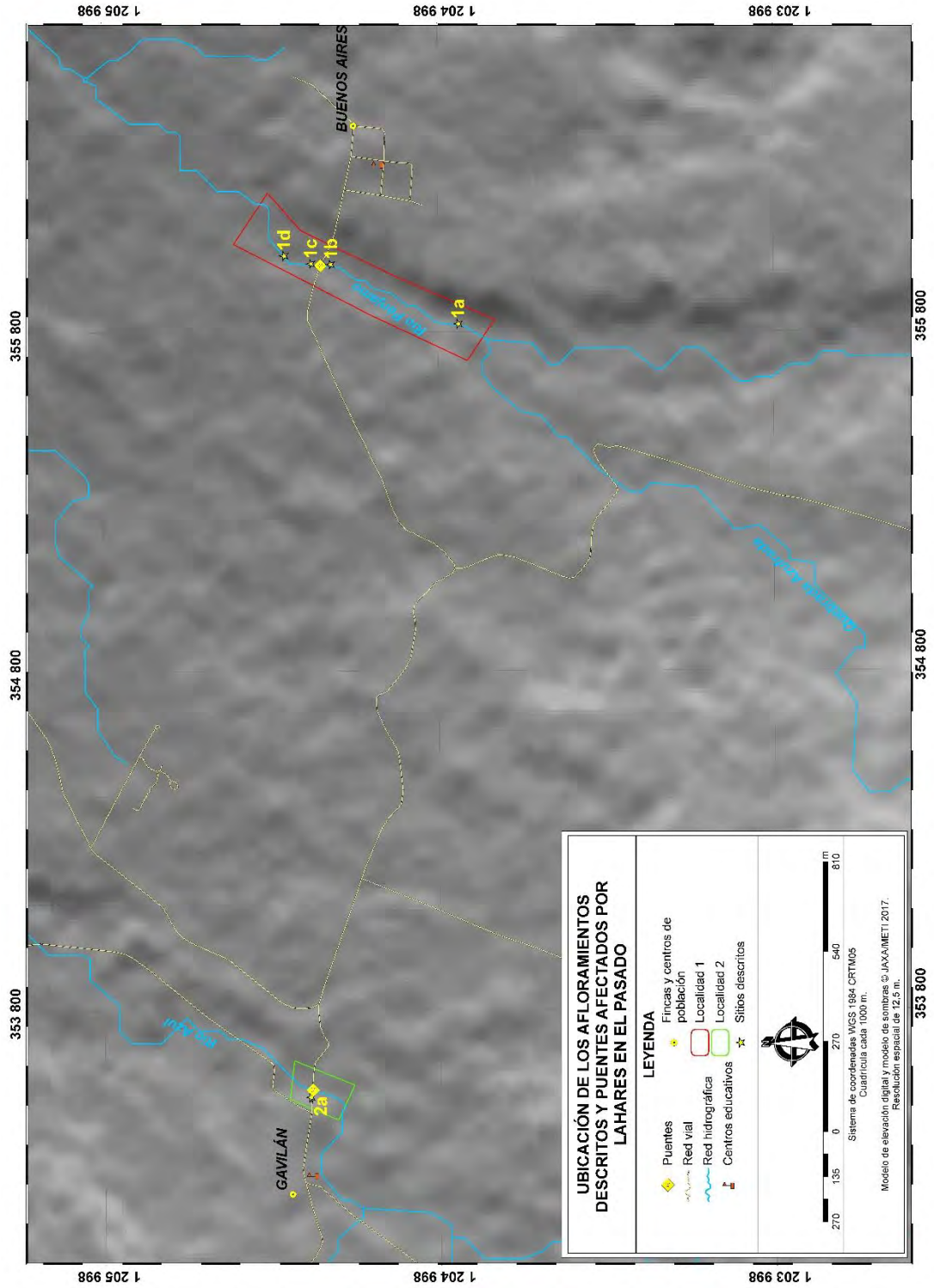


Figura 20: Ubicación de los afloramientos descritos y principales puentes.

Localidad 1, Buenos Aires: se ubicaron varios afloramientos a lo largo del cauce del río Pénjamo, de sur a norte. De estos se describirán dos. Como punto importante, se puede señalar que, a la altura del puente sobre el río Pénjamo, es posible identificar al menos tres niveles de terrazas, así como bloques que superan los 3 m de diámetro y troncos de hasta los 8 m de longitud, de los cuales se ha observado que se orientan preferencialmente de forma paralela al cauce del río, por lo que es posible afirmar que han sido depositados por lahares (figura 21).

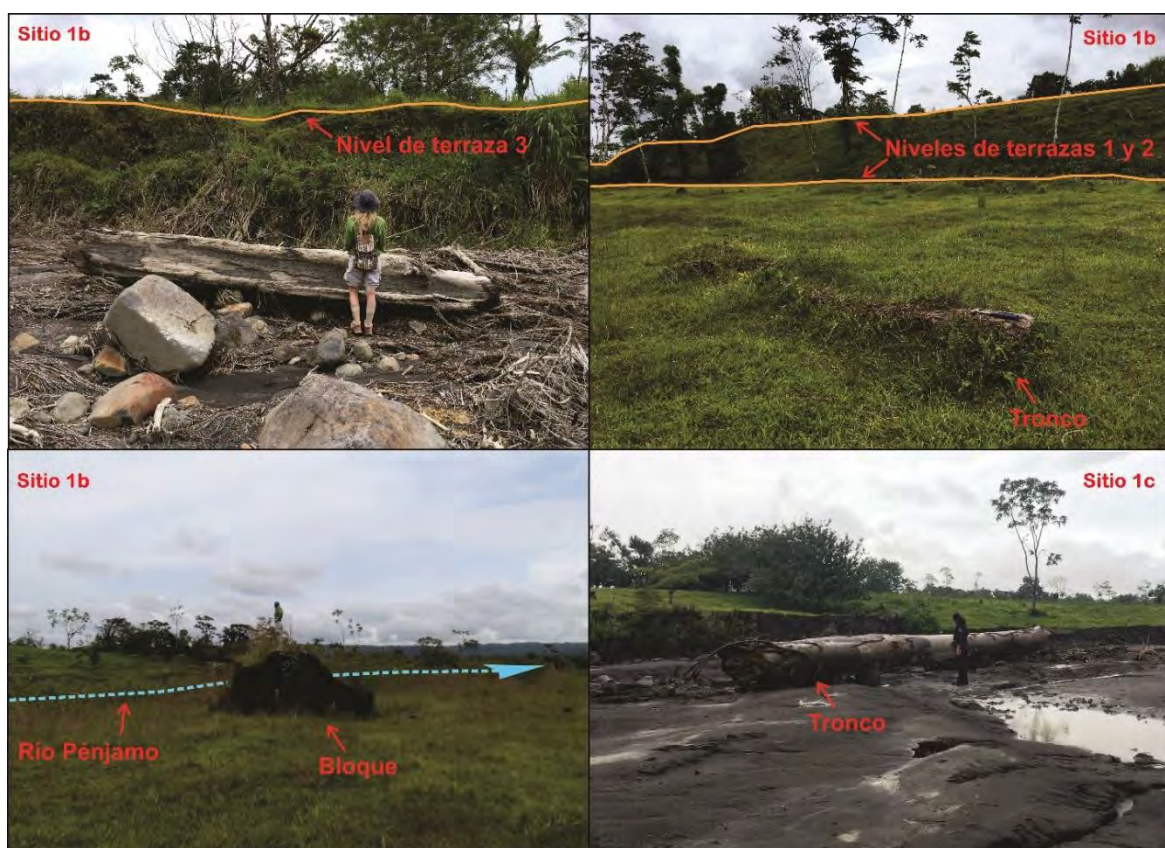


Figura 21: Algunos materiales depositados por lahares recientes y los niveles de terrazas mencionados. Sitios 1b y 1c de la figura 20.

El primer afloramiento se ubica 240 m al sur del puente, en la margen izquierda (figura 20). En este punto se observó el contacto entre dos lahares recientes y un depósito brechoso escoriáceo moderadamente soldado, cuyo origen se asocia con el flujo piroclástico de $484 \pm 80-110$, que también describen Soto et al. (2003b) (ver figura 22).

Tal y como se observa en la figura 22, en algunos puntos la unidad de lahares inferior está ausente. Como características principales del flujo piroclástico, se puede mencionar que presenta mala selección, pudiendo contener desde ceniza, hasta bloques métricos sub angulares a sub redondeados, con baja esfericidad. El depósito está soportado por una matriz de ceniza y se observaron estructuras características de los flujos piroclásticos, tales como estructuras en rompecabezas y chimeneas de desgasificación (figuras 22 y 23).

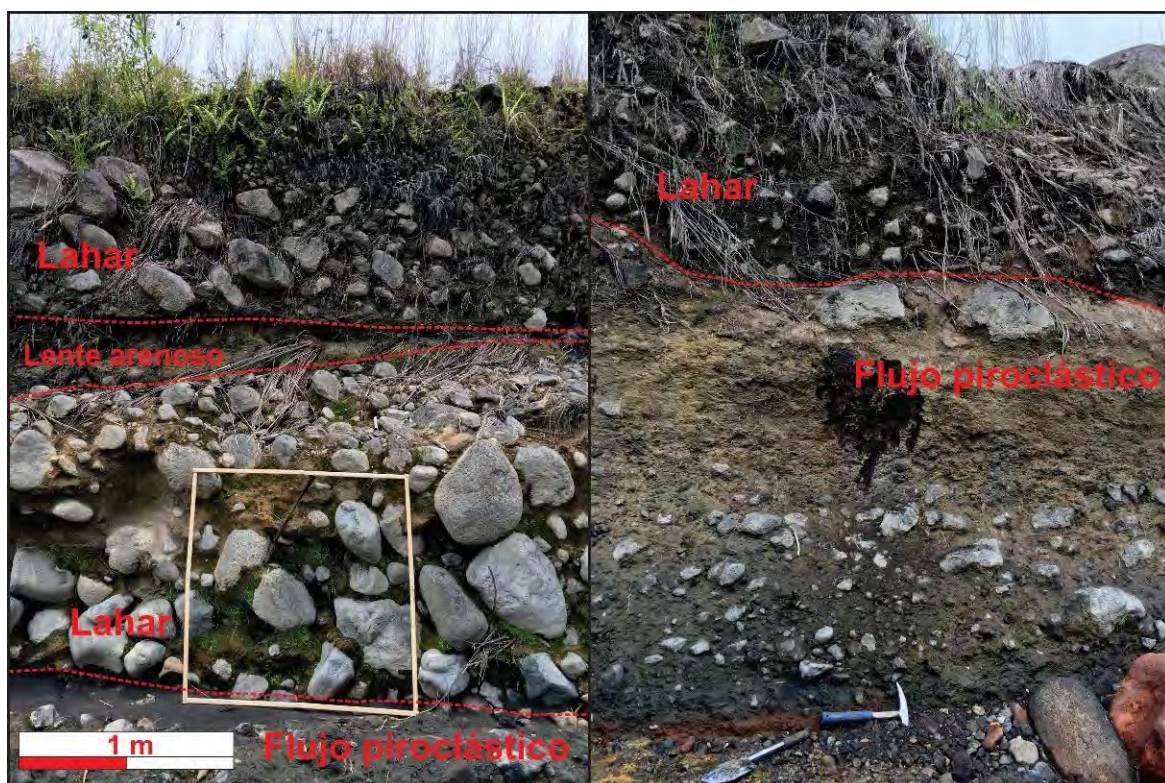


Figura 22: Afloramiento 1a (figura 20), donde los lahares sobreyacen a los depósitos de flujo piroclástico.



Figura 23: Estructuras típicas de flujos piroclásticos de bloques y cenizas en el afloramiento 1a (figura 20). Izquierda: Estructura en rompecabezas; derecha, chimenea de desgasificación.

Sobreyaciendo al flujo piroclástico, se observaron varios depósitos de lahares, caracterizados por la presencia de arcilla en la matriz, mala selección, gradación inversa y presencia de materia vegetal y burbujas en la matriz. Además, la ausencia de estructuras de depositación como laminaciones, indica que no se trata de flujos normales de corriente. En este sitio se identificaron los depósitos de al menos dos lahares recientes y al comparar con las descripciones de Soto et al., (2003), se interpreta que la unidad inferior corresponde a los lahares calientes de 1991, mientras que la unidad superior es más reciente.

150 m aguas abajo desde el puente sobre el río Pénjamo (figura 20), en un afloramiento descubierto recientemente por la erosión, se identificaron las mismas unidades descritas previamente: un flujo piroclástico sobreyacido por lahares. En este punto, además, se identificó lo que podría corresponder con un lahar más antiguo que el flujo piroclástico (figura 24-a), pero para confirmar esta posibilidad, es necesario realizar más trabajo de campo, pues de momento esta unidad únicamente se ha observado en un afloramiento.

En este punto se observó gran cantidad vegetación en la base de los depósitos de 1991 (figura 24-b), y remanentes de los depósitos de los lahares ocurridos durante los últimos dos años, con espesores de hasta 1 m (figura 24-c).



Figura 24: a) Vista general del afloramiento 1d (figura 20); b) Depósitos de los lahares de 1991 con vegetación en la base; c) depósitos de los lahares de los últimos dos años.

Localidad 2, Gavilán: En este sitio se describió un único afloramiento identificado como 2a (figura 20). Este sitio se localiza a la altura del puente sobre el río Azul, en la margen izquierda.

Corresponde con un depósito altamente meteorizado, que al menos en esta sección, es mono litológico. Está soportado por una matriz arcillosa y presenta mala selección, pudiendo contener desde arcilla, hasta bloques métricos angulares a sub redondeados. En algunas partes del afloramiento se identificó gradación inversa. Además, tanto hacia la base como hacia la parte superior del depósito, aumenta la cantidad de matriz arcillosa y los bloques se presentan de forma más aislada con contactos flotantes. Esta descripción correspondería según Vallance & Iverson (2015), con una sección típica de lahar en fase proximal.

3.3 Evaluación de peligrosidad del Rincón de la Vieja de acuerdo con la metodología de Yokoyama et al. (1984).

Yokoyama et al. (1984), propusieron una metodología para identificar volcanes que pueden ser considerados de alto riesgo, con base en las características de los materiales expulsados, historia eruptiva y exposición de la población. Estos autores indican que los volcanes que obtengan una calificación igual o superior a 10, pueden ser considerados como de “alto riesgo”, y presentan el resultado de la evaluación de los volcanes Arenal, Irazú y Poás, siendo que estos obtuvieron respectivamente calificaciones de 14, 12 y 10. Posteriormente, Soto (2012) aplicó la metodología al volcán Turrialba, mismo que obtuvo una calificación de 13. Ninguno de los autores consultados realizó esta evaluación para el volcán Rincón de la Vieja, por lo que se decidió implementarla en el presente trabajo. El resultado se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2: Peligrosidad del volcán Rincón de la Vieja según Yokoyama et al. (1984).

Grado de peligro	Puntaje
1. Alto contenido de sílice en los productos eruptivos (andesita, dacita, riolita)	1
2. Actividad explosiva de importancia en los últimos 500 años	1
3. Actividad explosiva de importancia en los últimos 5000 años	1
4. Flujos piroclásticos en los últimos 500 años	0
5. Flujos de lodo en los últimos 500 años	1
6. Tsunami destructivo en los últimos 500 años	0
7. Área afectada por destrucción en los últimos 5000 años es > 10 km ²	1
8. Área afectada por destrucción en los últimos 5000 años es > 100 km ²	0
9. Ocurrencia frecuente de enjambres sísmicos de origen volcánico	1
10. Deformación significativa del suelo durante los últimos 50 años	0
Grado de riesgo	Puntaje
11. Población bajo riesgo > 100	1
12. Población bajo riesgo > 1000	1
13. Población bajo riesgo > 10 000	1
14. Población bajo riesgo > 100 000	1
15. Población bajo riesgo > 1 000 000	0
16. Hubo víctimas en tiempos históricos	0
17. Se ha evacuado la zona debido a erupciones en tiempos históricos	1
Puntaje total	11

De acuerdo con la evaluación realizada, el volcán Rincón de la Vieja ostenta una calificación de 11, por lo que se considera como peligroso, difiriendo de los otros volcanes activos de Costa Rica, principalmente en la cantidad de población expuesta a la actividad eruptiva. En este caso se consideró la población total de los cantones de Liberia, Bagaces y Upala, que en conjunto supera los 126 000 habitantes.

CAPÍTULO 4: MAPAS DE PELIGRO VOLCÁNICO

Calder et al. (2015), realizaron una clasificación de los mapas de peligro volcánico, basada en el tipo de información y la forma en que ésta es desplegada en cada caso. De esta forma, definieron cinco tipos de mapas:

- Mapas basados en geología: Estos tienen el inconveniente de que podrían mostrar un registro incompleto. Este es el tipo de mapa más común.
- Mapas cualitativos integrados: toda la información de peligro disponible se combina y su fuente de información puede ser geología y / o modelado.
- Mapas de riesgo basados en modelos: Involucra la aplicación de herramientas de simulación a menudo para un solo tipo de peligro.
- Mapas de riesgo probabilístico: basados generalmente en el estudio de un único peligro mediante la aplicación estocástica de simulaciones por computadora.
- Mapas administrativos: combinan los niveles de riesgo con las necesidades administrativas y están diseñados para apoyar en la gestión de emergencias.

En todos los casos, los peligros de mayor preocupación suelen ser lahares, corrientes de densidad piroclásticas (PDC), caída de tefra, balísticos, flujos de lava y en menor medida, avalanchas de escombros y erupciones monogenéticas (Calder et al., 2015).

4.1 Análisis de los mapas de peligro volcánico existentes

En total se han encontrado seis trabajos sobre peligros volcánicos para el volcán Rincón de la Vieja. La mayoría de estos están basados principalmente en el registro geológico, por lo cual se puede afirmar que presentan la deficiencia mencionada por Calder et al. (2015), la cual consiste en que pueden no representar un catálogo de eventos completo al omitir aquellos de los cuales no existe registro geológico, ya sea por la acción erosiva o por ausencia de afloramientos accesibles. Un resumen con algunos detalles de los trabajos mencionados se presenta en el cuadro 3.

Cuadro 3: Mapas de amenaza existentes para el volcán Rincón de la Vieja.

TITULO	DETALLE DEL DOCUMENTO	AUTORES Y AÑO
Mapa de reconocimiento de los peligros volcánicos potenciales del volcán Rincón de la Vieja, Costa Rica.	Mala calidad de mapa, trazos realizados a mano alzada con marcador grueso, difícil de leer e interpretar. Su ilegibilidad impide que sea realmente útil para su implementación en la Gestión del Riesgo.	Paniagua et al., 1986
Mapa de amenaza volcánica para futuras erupciones en el volcán Rincón de la Vieja.	Incluye lahares, flujos piroclásticos, avalanchas. Alta y moderada amenaza durante erupciones plinianas, caída de piroclastos y ceniza. Sin referencia geográfica. Basado en registro geológico y semi cualitativo.	K. Kempter, 1996
Mapa de amenazas cualitativo mostrando zonas de moderado-alto riesgo para avalanchas de detritos y lahares originados desde el cráter activo.	Muestra amenaza moderada a alta por ocurrencia de avalanchas de detritos y lahares, enfatizando en el flanco norte. Sin referencia geográfica.	K. Kempter y G. Rowe, 2000
Mapa de amenazas naturales potenciales, Cantones Liberia y Upala	Mapas generales que contemplan la mayoría de amenazas volcánicas para el cantón de Liberia, pero no cuenta con texto explicativo, conflicto de escalas, no contemplan escenarios.	CNE, 2003a; 2003b.
Evaluación del peligro y riesgo volcánico que representa el volcán Rincón de la Vieja para el Proyecto Geotérmico Las Pailas, Cordillera de Guanacaste, Costa Rica.	Informe interno del Instituto Costarricense de Electricidad. A pesar de ser un documento completo e integral, es basado principalmente en el registro geológico y únicamente se pudo acceder al mismo mediante solicitud directa a uno de sus autores, es decir, no se encuentra disponible para el público en general.	Soto, G., Alvarado, G., Goold, S. y Climent, A., 2003b
Mapa de peligros volcánicos Rincón de la Vieja, publicado en <i>Volcano hazard zones of Rincón de la Vieja volcano</i> (Costa Rica).	Incluye proyectiles balísticos, flujos de lava, lahares, piroclastos y lluvia ácida. Versión más reciente del mapa presentada en el tercer taller internacional de Buenas Prácticas de Observatorios Volcánicos sobre evaluación de riesgos volcánicos a largo plazo (VOPB3).	Soto, G. y Martínez, M., 2016

La parte más valiosa del primer trabajo, publicado en 1996 por Paniagua et al., es el texto del documento, el cual presenta una descripción y análisis de las principales amenazas asociadas al volcán, así como una evaluación, en un contexto posterior a las importantes erupciones de 1995, a raíz de las cuales se generaron lahares que destruyeron dos puentes, dejando incomunicadas a las comunidades de Buenos Aires y Gavilán de Upala. El mapa de peligros asociado a este documento no tiene buena legibilidad y no se encontró disponible una copia de mejor calidad (Figura 25), por lo cual no será considerado en la elaboración del mapa preliminar de amenazas para no introducir un error innecesario en el producto final.

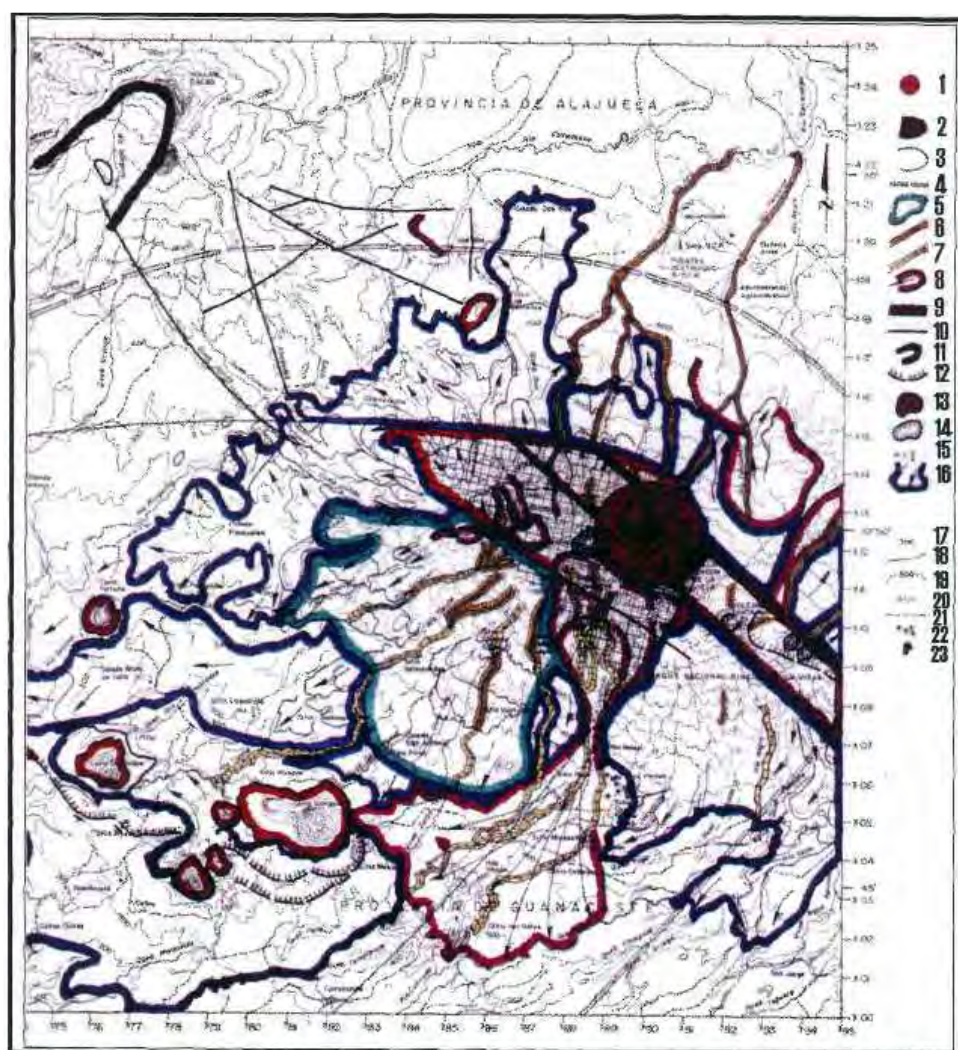


Figura 25: Mapa de peligros volcánicos potenciales de Paniagua et al., 1996.

Otros dos documentos consultados, corresponden al autor K. Kempter, y fueron publicados en 1996 y Kempter & Rowe en el año 2000 (Figura 26). Ambos constituyen un insumo importante para el presente trabajo, pues reúnen detalles del registro geológico correspondiente a las erupciones más importantes del macizo. El mapa publicado en 1996, según la clasificación de Calder et al., (2015), sería basado en el registro geológico y de tipo semi cualitativo, ya que contempla zonas de alta y moderada amenaza, pero lo hace únicamente para el escenario de las erupciones plinianas. Por su parte, el documento correspondiente al año 2000, corresponde con un mapa de tipo cualitativo, que presenta zonas con amenaza moderada a alta por ocurrencia de avalanchas de detritos y lahares, para el flanco norte del volcán. Los datos que sustentan el producto publicado por este autor, son también basados en el registro geológico.

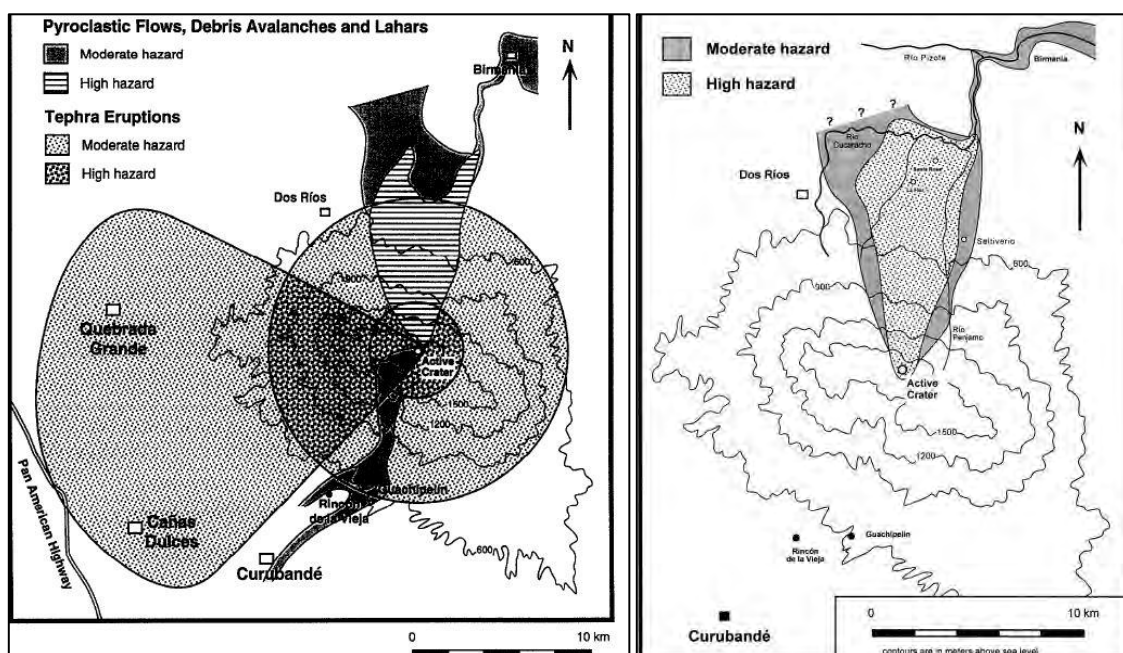


Figura 26: Mapas publicados por Kempter (1996), izquierda; Kempter & Rowe (2000), derecha.

En cuanto a los mapas publicados por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), se debe aclarar primero que estos no solo contemplan amenazas de tipo volcánico, y en general, por lo que se puede apreciar, han tomado como insumo la información existente al momento de su elaboración, es decir, los documentos mencionados supra. Por su origen y función, estos mapas deberían, idealmente, tener un

despliegue de información de tipo administrativo (ver Calder et al., 2015); sin embargo, no es el caso, tendiendo a ser más un documento basado en el registro geológico. Debido a su escala, no se agregan ilustraciones de estos mapas, pero los mismos pueden ser consultados directamente en la página web de la CNE ingresando al enlace <https://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/>.

Los últimos dos documentos, correspondientes con Soto et al. (2003b) y Soto y Martínez (2016), los cuales se muestran en las figuras 27 y 28, constituyen productos de buena calidad científica y se les puede señalar como única deficiencia el hecho de que, al igual que los anteriores, se basan únicamente en el registro geológico existente (exceptuando los flujos piroclásticos), por lo que podrían omitir los efectos de eventos mayores que, en el contexto actual, pueden representar peligros significativos, como erupciones freáticas que si bien pueden tener consecuencias evidentemente serias, no necesariamente dejan depósitos importantes.

Como aspecto logístico importante en cuanto a la necesidad de que la información para la Gestión del Riesgo sea oportuna, se debe señalar que el documento de Soto et al., (2003), al ser un informe interno del ICE, no se encontró disponible en las bibliotecas consultadas (Escuela Centroamericana de Geología, Biblioteca Nacional ni CNE), y aunque fue accesible mediante solicitud expresa a uno de los autores, es claro que no está disponible para la población de forma oportuna.

En cuanto al documento de Soto y Martínez (2016), se debe destacar que, pese a la única carencia señalada previamente, constituye un mapa sencillo e integral, el cual, según ha arrojado la investigación, es además el más conocido por la población en general.

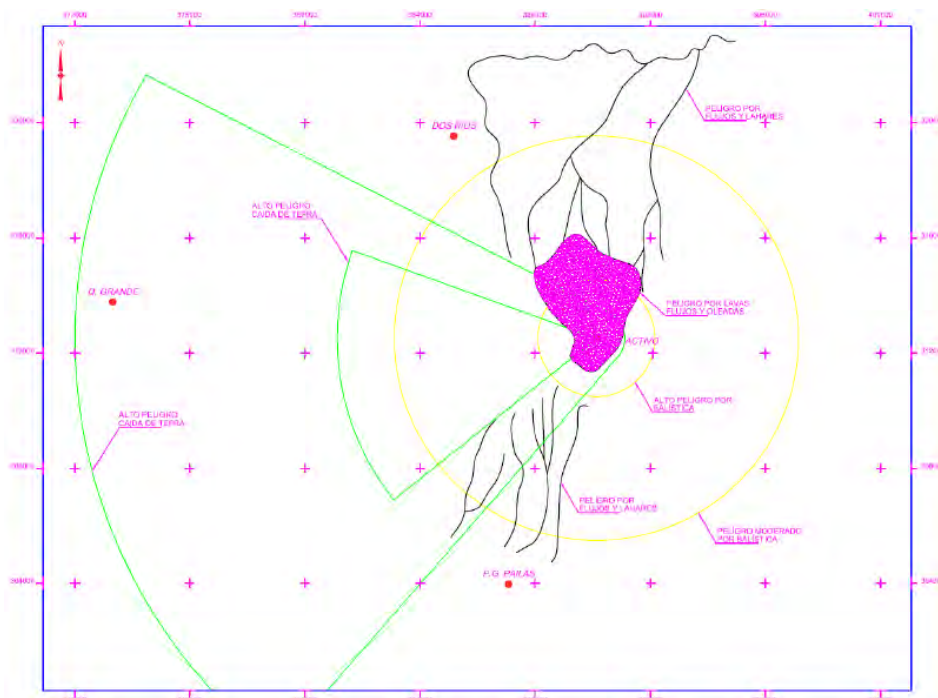


Figura 27: Mapa de peligros volcánicos publicado por Soto et al. (2003b).

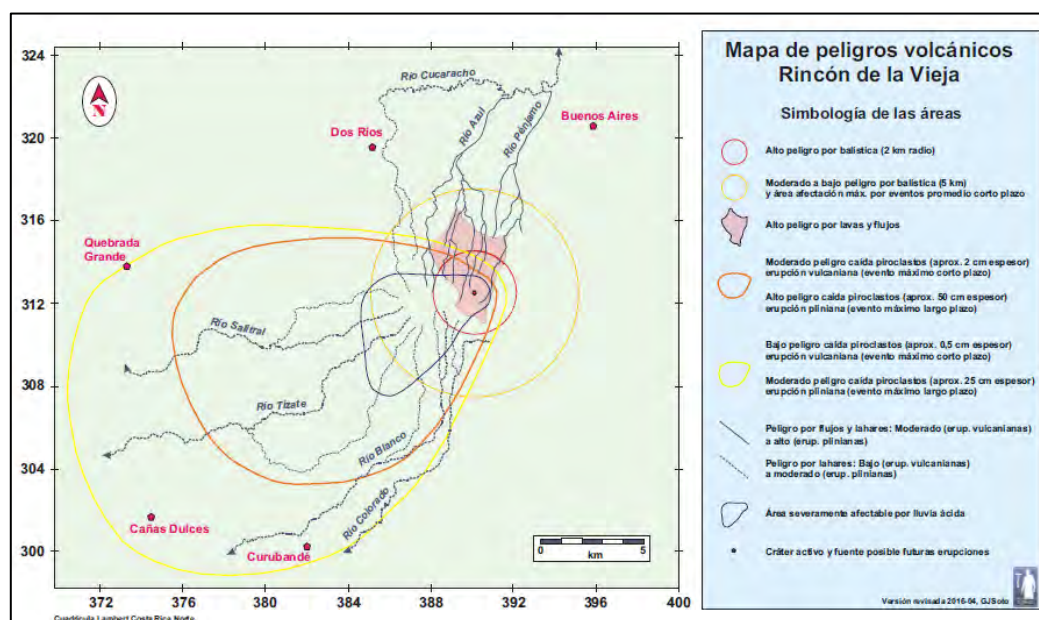


Figura 28: Mapa de peligros volcánicos publicado por Soto y Martínez, 2016.

De los seis documentos analizados, por las características de cada uno, únicamente cuatro (Kempter (1996), Kempter & Rowe (2000), Soto et al. (2003b) y Soto y Martínez (2016)) han sido utilizados como insumo en la elaboración del mapa correspondiente al presente documento.

4.2 Mapa preliminar de peligro volcánico

En el presente trabajo, se propone un mapa de peligrosidad volcánica que según la clasificación de Calder et al. (2015), sería de tipo cualitativo integrado, ya que el producto final está basado tanto en el registro geológico, como en modelado determinístico e información de peligros preexistente (figura 29). La información integrada en el mapa fue descrita ampliamente en el capítulo 3.

La escala final del mapa es 1:50 000 para todos los peligros, excepto la caída de ceniza, ya que esta última es desplegada en escala 1:800 000, debido al amplia área de distribución hipotética de la ceniza. En el cuadro 4, se presenta un resumen de la información desplegada en el mapa, su fuente y la escala aproximada en la que fue generada.

Cuadro 4: Resumen de los peligros volcánicos desplegados en el mapa preliminar.

Tipo de peligro	Fuente	Escala original aproximada
Gases y lluvia ácida	Datos de Campo y análisis de imágenes satelitales.	1:10 000
Flujos de lava	Observaciones de campo, modelos computacionales con base en la topografía y documentos de Soto et al. (2003b) y Soto y Martínez (2016).	1:10 000
Lahares	Modelos elaborados con Laharz, datos de campo y documentos de Kempter (1996) y Kempter & Rowe (2000).	1:10 000
Zona de amenaza proximal	Modelos elaborados con Laharz e información de campo.	1:10 000
Flujos piroclásticos	Modelo existente, tomado de Soto et al., 2003b, con el apoyo del documento de Kempter & Rowe (2000).	1:130 000
Caída de bloques o bombas	Soto et al. (2003b), y Soto y Martínez (2016).	1:100 000
Caída de ceniza	Modelos elaborados con Ash3D y datos de campo	1: 200 000

En el mapa presentado, se ha integrado tanto información sobre los peligros volcánicos que podrían afectar al área de estudio en corto y mediano plazo, como los que la afectan actualmente. No se consideró dentro del documento, un eventual colapso de la pared norte del cráter, debido a que no existen estudios concluyentes que indiquen que esta pueda ser una posibilidad a corto o mediano plazo.

Es importante tener en consideración que los límites establecidos en el mapa propuesto, si bien constituyen una guía, pueden variarse con el apoyo de estudios específicos.

Los límites de la zona de amenaza proximal, se han establecido por medio de la generación de un modelo determinístico y han sido validados comparándolos con los depósitos de las erupciones freáticas recientes. Esta zona, es propensa a ser afectada, incluso por erupciones cuyas columnas eruptivas no superen algunos cientos de metros sobre el borde del cráter.

La zona de amenaza proximal (figuras 6, 7 y 29) se considera como de muy alto peligro (figura 30 y cuadro 5). Es un área que se ve intensamente afectada, tanto por erupciones freáticas pequeñas como durante eventos mayores, pues su posición con respecto al cráter activo, y sus condiciones topográficas permiten que esta área se vea impactada más fácilmente por flujos piroclásticos, gases tóxicos en altas concentraciones, caída de bloques, bombas, ceniza o lodo. Estas mismas características, facilitan que dentro de sus límites sea donde más probablemente se generen lahares. Por otra parte, las pendientes pronunciadas que predominan en este sector, propician la ocurrencia de deslizamientos con o sin actividad eruptiva, ya sean disparados por gravedad, actividad sísmica, deformación o saturación del suelo.

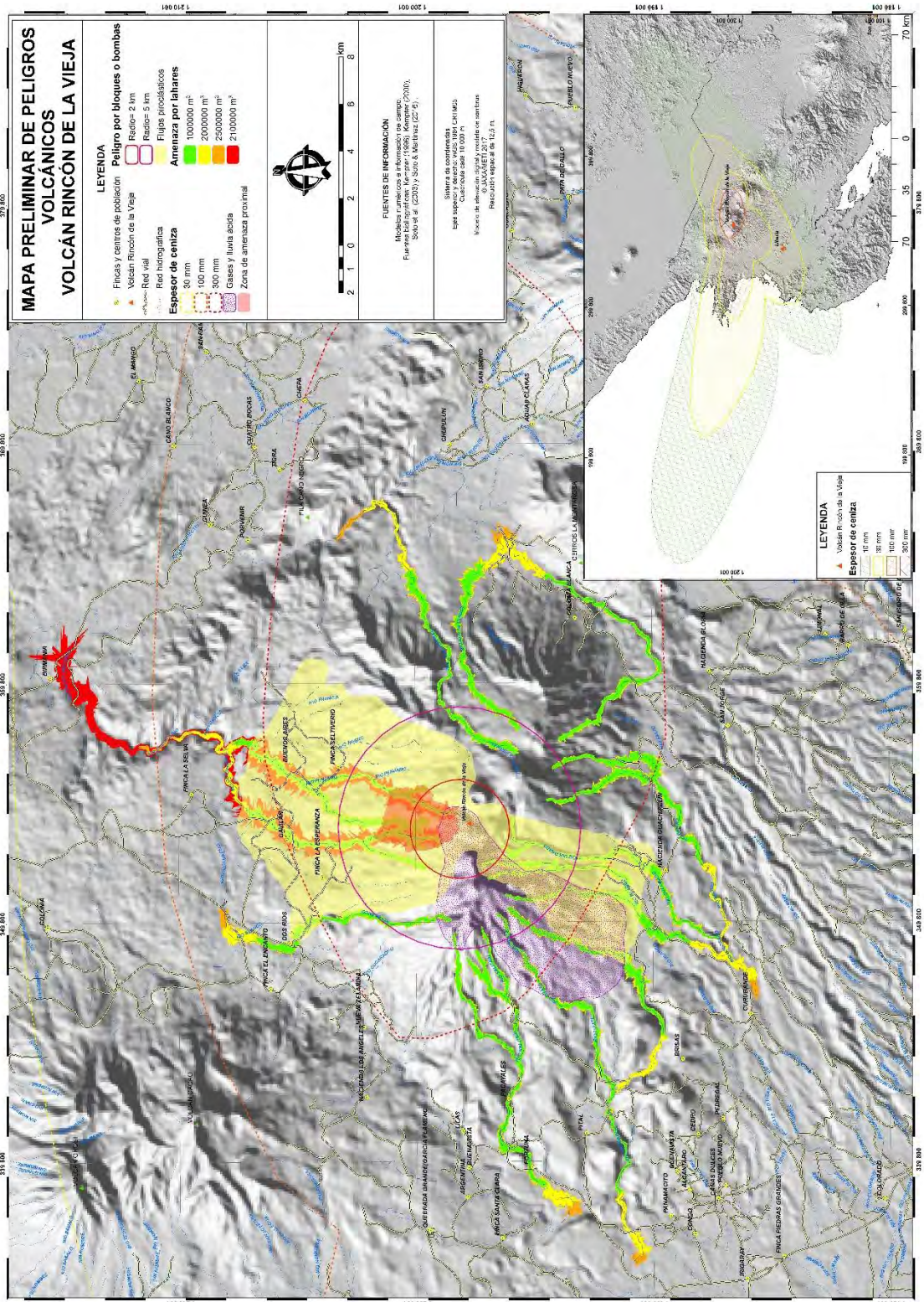


Figura 29: Mapa preliminar de peligros volcánicos para el volcán Rincón de la Vieja. Ver mapa en alta resolución en anexo 4.

CAPÍTULO 5: RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA TIERRA Y VULNERABILIDAD FÍSICA EN EL SECTOR NORTE DEL VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA

El presente capítulo tiene como objetivos, con base en el mapa preliminar de peligros volcánicos que se propone, emitir recomendaciones respecto al uso de la tierra en la zona, considerando su potencial turístico, agrícola y energético, así como describir las principales vulnerabilidades físicas identificadas en el sector norte del volcán Rincón de la Vieja.

5.1 Recomendaciones para el uso de la tierra

Con base en el mapa preliminar de peligros volcánicos propuesto, se han establecido tres áreas funcionales que faciliten la emisión de recomendaciones para el uso de la tierra en la zona de estudio. De esta forma, considerando las amenazas de lahares, impacto por proyectiles balísticos y caída de ceniza características del periodo eruptivo actual y una zona de impacto proximal ante erupciones freáticas o freatomagmáticas, como las que se han presentado durante las últimas cuatro décadas (Capítulo 3), se definieron las áreas de muy alto, alto y moderado - bajo peligro. En el mapa de la figura 30 se muestra la distribución espacial de las áreas de peligro y el cuadro 5 corresponde a un resumen de la propuesta planteada y las respectivas recomendaciones para cada área.

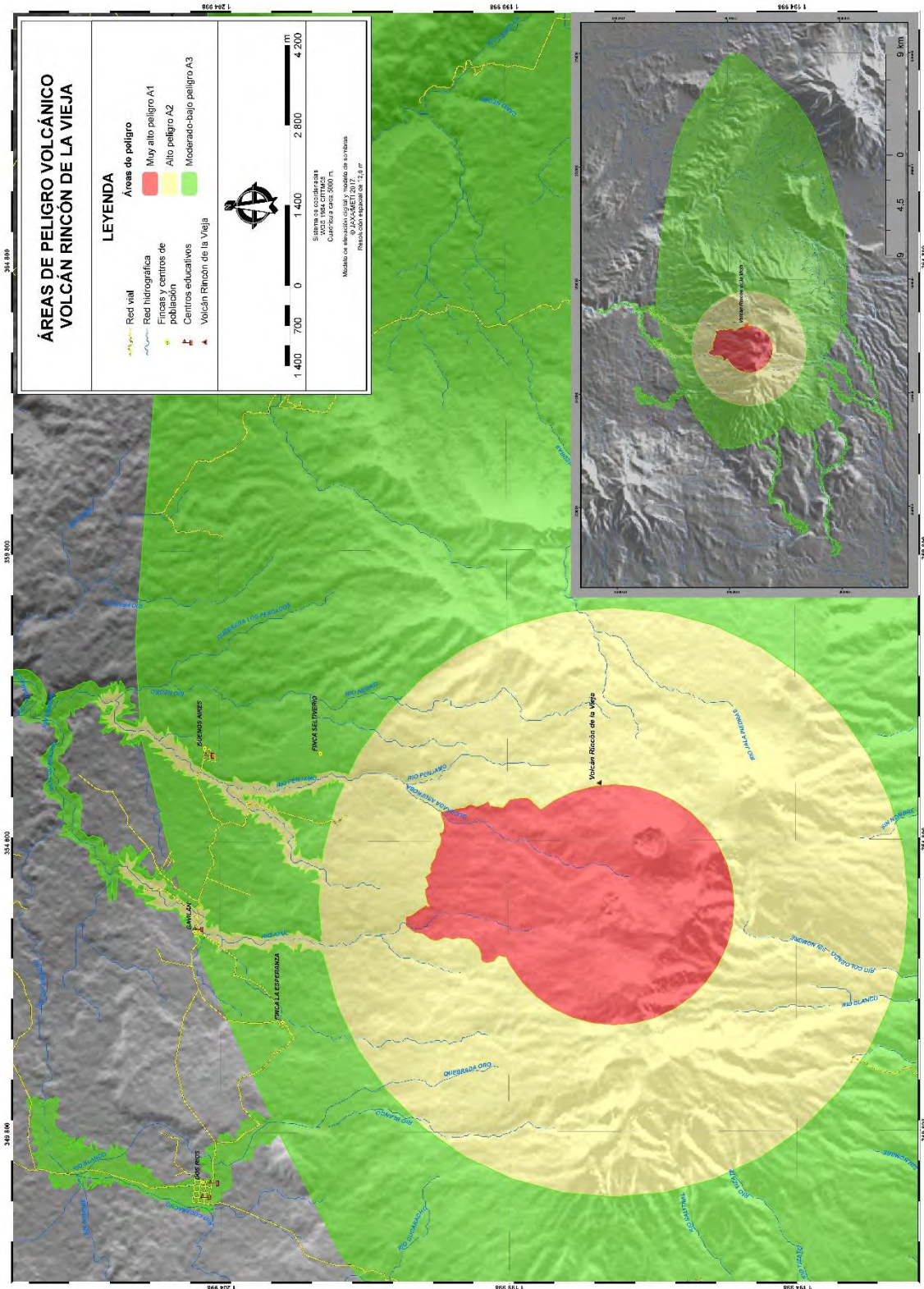


Figura 30: Mapa de áreas de peligro volcánico definidas. Mapa en alta calidad en anexo 4.

Cuadro 5: Resumen de Áreas de peligro y recomendaciones para uso del territorio.

Áreas funcionales	Criterios de definición	Recomendaciones para uso del territorio
Muy alto peligro A1	Zona de peligro proximal, zona afectada por gases y lluvia ácida en la cima y radio de 2 km alrededor del cráter.	<ul style="list-style-type: none"> • Restringir todo tipo de actividad humana, permitiendo únicamente el acceso a personal de investigación y equipos de socorro. • Evitar la promoción de turismo clandestino.
Alto peligro A2	Radio de 5 km alrededor del cráter, parte de las zonas expuestas a los efectos de cenizas, gases y lluvia ácida y cauces de los ríos Pénjamo y Azul.	<ul style="list-style-type: none"> • Restringir actividades que requieran permanencia en el área por periodos superiores a ocho horas. • Implementar medidas de seguridad en las actividades turísticas que se desarrollen. • No permanecer cerca de ríos en periodos lluviosos o cuando no es visible la cima del volcán. • No construir infraestructura estratégica. • Evaluar la ubicación de la escuela IDA Gavilán, ubicada dentro de esta zona.
Moderado-bajo peligro A3	Posibles zonas de inundación por lahares con volúmenes de hasta $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$, áreas afectadas por gases, lluvia ácida y zonas donde podría haber caída de ceniza con espesores de entre 10 y 30 cm.	<ul style="list-style-type: none"> • Puede permitirse cualquier tipo de actividad a los pobladores. • Rotular la zona como área de influencia volcánica. • No construir nuevos complejos habitacionales. • No desarrollar actividades de agricultura ni ganadería a gran escala. • Capacitar a los pobladores para proteger sus bienes, cultivos y animales ante un escenario eruptivo.

5.1.1. Área de muy alto peligro A1

5.1.1.1. Criterios de definición

Se limita a la zona de peligro proximal, la zona afectada por gases y lluvia ácida en la cima y el radio de 2 km alrededor del cráter activo (alto peligro por impacto de bloques o bombas).

5.1.1.2. Recomendaciones para uso de la tierra

Se recomienda restringir todo tipo de actividad humana, permitiendo únicamente el acceso a equipos de socorro y personal de investigación que cuente con los permisos o

convenios respectivos y en condiciones controladas. A los pobladores se les recomienda evitar la promoción de cualquier tipo de turismo clandestino en esta zona que pueda comprometer la seguridad de guías y visitantes.

5.1.2. Área de alto peligro A2

5.1.2.1. Criterios de definición

Incluye el radio de 5 km (moderado peligro por impacto de bloques y bombas), parte de las zonas expuestas a los efectos de cenizas, gases y lluvia ácida y las zonas más propensas a ser afectadas por lahares en el sector norte del volcán, particularmente los cauces de los ríos Pénjamo y Azul.

5.1.2.2. Recomendaciones para uso de la tierra

Se recomienda restringir en esta zona cualquier tipo de actividad humana que implique la permanencia en el área por periodos superiores a ocho horas. El potencial turístico en el área puede ser aprovechado siempre que se implementen las medidas de seguridad necesarias y los encargados estén atentos a los reportes de actividad del volcán. Se recomienda no permanecer en o cerca de los cauces fluviales en periodos lluviosos, cuando la cima del volcán está nublada o durante la noche, ya que podrían ocurrir flujos inesperados.

Tampoco es recomendable que dentro de esta área se construya ningún tipo de infraestructura estratégica o de servicios, con excepción de la infraestructura vial. Se recomienda ampliamente evaluar la ubicación de la escuela IDA Gavilán, ubicada dentro de esta zona.

Es importante considerar que, tanto la zona A1, como parte de la zona A2, se encuentran dentro del área del parque nacional Rincón de la Vieja, por lo que además se deben acatar las directrices establecidas por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación.

5.1.3. Área de moderado-bajo peligro A3

5.1.3.1. Criterios de definición

Incluye las posibles zonas de inundación por lahares con volúmenes de hasta $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$, áreas afectadas por gases y lluvia ácida y zonas donde podría haber caída de ceniza

con espesores de entre 10 y 30 cm. En estas zonas el principal peligro a corto plazo consiste en la caída de ceniza y el peligro de aislamiento por destrucción de puentes.

5.1.3.2. Recomendaciones para uso de la tierra

Puede permitirse cualquier tipo de actividad a los pobladores; sin embargo, la zona debe estar debidamente rotulada como área de influencia volcánica, y se deberá considerar que en caso de que se dé un cambio importante en el escenario eruptivo, se puede requerir evacuación.

En cuanto al tema de vivienda, no se recomienda construir nuevos asentamientos o complejos habitacionales.

Con el objetivo de evitar pérdidas debidas a las consecuencias de las cenizas sobre cultivos, pastos y el ganado mismo, no se recomienda desarrollar en esta zona actividades de agricultura ni ganadería a gran escala, sino más bien limitar estas actividades a la subsistencia de los pobladores y pequeños productores, quienes además deberán estar debidamente capacitados para proteger sus bienes, cultivos y animales ante un escenario eruptivo.

5.1.4. Recomendaciones finales

Debido a que gran parte del área de estudio se encuentra habitada, y considerando el hecho de que los pobladores han desarrollado su estilo de vida y medios de subsistencia en la zona, se considera que, más allá de simplemente restringir las actividades a los locales, se debe fomentar un modelo de convivencia con el volcán, enfocado en la prevención, y con la coordinación de los gobiernos locales, teniendo en consideración que es más probable que los habitantes se adapten a que abandonen sus terrenos y actividades de subsistencia.

Un modelo de “convivencia con el volcán”, puede ser exitoso, siempre y cuando se cumpla al menos con los siguientes requisitos:

1. Comunicación fluida entre las autoridades de emergencias (CNE y CME), científicos y líderes comunales.
2. Un sistema de monitoreo volcánico y transmisión de información eficiente y oportuno.
3. Participación activa y responsable de los ciudadanos.

4. Capacitación adecuada y oportuna a los pobladores sobre peligros volcánicos, prevención y respuesta ante emergencias por actividad eruptiva.

Teniendo en cuenta que una sección importante de la zona de estudio ha sido catalogada como de alto o moderado peligro, sí es recomendable evitar la expansión de los poblados por medio de construcción de urbanizaciones y el desarrollo de complejos hoteleros de gran tamaño. Asimismo, se recomienda habilitar y dar mantenimiento a todas las posibles vías de evacuación existentes en la zona, algunas de las cuales se señalan en la figura 34.

5.2 Principales vulnerabilidades físicas identificadas

Debido a que el tema de la vulnerabilidad física por sí solo es amplio, en este apartado se analizará de forma breve, únicamente lo concerniente a vulnerabilidad por exposición de la infraestructura vial y edificaciones (viviendas, centros educativos, salones comunales como eventuales albergues).

5.2.1. Infraestructura vial

La principal carretera que atraviesa el área de estudio corresponde con una ruta cantonal, que comunica a los poblados de Buenos Aires y Gavilán con Dos Ríos, donde se comunica con la ruta nacional terciaria N° 917.

El camino cantonal mencionado posee una superficie de rodamiento de lastre, y se encuentra rodeada por gran cantidad de vegetación, principalmente árboles que durante periodos de fuertes vientos han caído ocasionando el bloqueo total o parcial del camino, siendo los vecinos de la zona, quienes en la mayoría de las ocasiones se encargan de despejar la vía.

Asimismo, durante la época lluviosa y en ausencia de mantenimiento, este camino se torna lodoso y la circulación de vehículos se complica. La ruta es atravesada por varios ríos y quebradas, los cuales, durante periodos de fuertes lluvias, la bloquean con vegetación o rocas arrastradas por la corriente. Los ríos más importantes para efectos del presente estudio, son el Pénjamo y el Azul, estos atraviesan la principal vía que comunica a los poblados de Buenos Aires y Gavilán con Dos Ríos, y con la ruta nacional más cercana.

Los puentes que atraviesan los ríos Pénjamo y Azul, han sido afectados en el pasado por lahares, siendo totalmente destruidos durante la década de los 90 (figura 31), posterior a lo cual fueron reconstruidos. Sin embargo, ambos se ciernen sobre los cimientos antiguos.

En el caso del río Pénjamo, hasta el año 2016 existía un puente artesanal construido con troncos (figura 32-arriba), mismo que fue reemplazado por un puente de tipo *Bailey* de un carril, que permanece ahí hasta marzo de 2018 (figura 32-abajo). Este puente es la única vía de comunicación terrestre entre las localidades de Buenos Aires y Gavilán, por lo que en caso de que fuera destruido nuevamente, la comunidad de Buenos Aires quedaría aislada.

Los poblados de Gavilán y Buenos Aires se comunican por tierra con Dos Ríos y la ruta nacional N° 917 a través del puente sobre el río Azul, el cual también fue destruido en 1991 (figura 31-abajo). Actualmente, en su lugar también se encuentra un puente *Bailey* mono carril (figura 33) cuya antigüedad se desconoce, pero su estado refleja que tiene varios años de uso. Este puente, al igual que el del río Pénjamo, se asienta sobre los cimientos del anterior, por lo que también corre el riesgo de ser destruido por lahares.



Figura 31: Puentes sobre los ríos Pénjamo (arriba), y Azul (abajo), destruidos durante la actividad eruptiva de 1991. Imágenes de Soto et al., 2003. Ver ubicación en la figura 20.



Figura 32: Puente sobre el río Pénjamo. Arriba: Puente de troncos existente hasta 2016; abajo: Puente Bailey instalado para reemplazar el anterior.



Figura 33: Puente Bailey instalado sobre el cauce del río Azul.

5.2.2. Ubicación de edificaciones

Con base en observaciones de campo y con el apoyo de imágenes de Google Earth®, se realizó un breve análisis sobre la vulnerabilidad por exposición ante la ocurrencia de lahares y caída de ceniza, de las edificaciones existentes en el área de estudio. Se consideraron las viviendas y centros educativos.

Como es común alrededor del mundo, la expansión de los asentamientos humanos se da en las cercanías de los ríos, motivada por el acceso al agua y el hecho de que en estas zonas el terreno generalmente es llano y fértil. El área de estudio no es la excepción y es preocupante que varias viviendas se ubican en los márgenes de ríos como el Azul, por cuyo cauce han descendido lahares de volumen considerable durante las últimas décadas.

En cuanto a centros educativos, los niños y jóvenes del área de estudio, tienen a su disposición tres escuelas y un colegio: las escuelas Buenos Aires, IDA Gavilán, Dos Ríos y el Liceo de Dos Ríos.

Con respecto al riesgo por caída de ceniza, es posible afirmar que, ante un escenario eruptivo como el “escenario B”, descrito en el capítulo 3, las tres comunidades se encontrarían expuestas a la caída de ceniza, con espesores de entre 3 y 30 cm, que se distribuirían de acuerdo con la dirección predominante de los vientos.

5.2.2.1. Dos Ríos

Tras analizar la ubicación de estos centros educativos con respecto a las zonas que eventualmente se podrían ver afectadas por lahares de al menos $1 \times 10^6 \text{ m}^3$, que descendieran por los cauces de los ríos Blanco y/o Cucaracho, se determinó que ambos centros educativos se encuentran dentro de la zona de mayor afectación por lahares. No obstante, considerando la actividad eruptiva histórica del volcán Rincón de la Vieja y el hecho de que los nacimientos de ambos cauces se localizan a más de 3 km de distancia del foco eruptivo, la probabilidad de que ocurran lahares de gran volumen que afecten a la comunidad de Dos Ríos, es baja, mas no nula.

Los escenarios ante los cuales pueden formarse lahares que afecten directamente la comunidad de Dos Ríos, son: 1. un periodo eruptivo con caída de ceniza constante hacia el oeste del cráter activo acompañado de precipitaciones sostenidas y; 2. el colapso de la pared norte del cráter activo.

5.2.2.2. *Gavilán*

En el asentamiento Gavilán, tal y como se puede observar en los mapas de peligro volcánico, gran parte de las edificaciones, incluyendo la escuela primaria y el salón comunal, se encuentran dentro de la zona que podría verse afectada por lahares. Debe considerarse que, en esta zona la topografía presenta cambios de pendiente considerables, y que existen varios drenajes de pequeño tamaño que forman parte de la cuenca del río Azul, y que eventualmente podrían servir para canalizar lahares. La escuela IDA Gavilán se localiza a pocos metros de uno de estos drenajes y dentro de la zona que eventualmente se vería afectada por lahares que alcancen 1 000 000 m³.

5.2.2.3. *Buenos Aires*

La comunidad de Buenos Aires, si bien se localiza cerca del río Pénjamo, presenta una ubicación topográficamente elevada con respecto a este cauce, gracias a lo cual, es poco probable que se vaya a ver afectada por la inundación que ocasionaría un lahar. No obstante, se debe exceptuar de esta consideración, aquellas viviendas y edificaciones que se ubiquen en las márgenes del río o en zonas bajas cercanas al cauce, como sucedió durante 1991 cuando el puente fue destruido por un flujo.

CAPÍTULO 6: PERCEPCIÓN DEL RIESGO

En este capítulo se realiza una recopilación de información sobre percepción del riesgo volcánico de una parte de la población que reside en el sector norte del volcán. El trabajo se realizó en tres poblados del cantón de Upala. En el distrito de Dos Ríos se contó con la participación de las comunidades de Dos Ríos y Gavilán, mientras que, en el distrito de Aguas Claras, se eligió a la comunidad de Buenos Aires. El principal criterio considerado para la elección de las comunidades, es que estas son las que se han visto más afectadas por las erupciones del volcán Rincón de la Vieja, debido a su posición geográfica con respecto a los principales ríos que drenan desde la cima del volcán.

La información recopilada sirvió como insumo en la elaboración de material informativo de apoyo, que permita fortalecer la gestión comunitaria del riesgo, no solo en las comunidades analizadas, sino en todas aquellas que se encuentran en el sector norte del volcán y por limitaciones de tiempo no han sido consideradas en la etapa de recolección de información.

6.1 Aplicación de la metodología

En cuanto a la población, se trabajó con entrevistas guiadas dirigidas a dos grupos poblacionales, adultos con al menos 15 años de residir en la zona, o bien, que sean líderes comunales. Este criterio se estableció para considerar pobladores con suficiente tiempo de residir en la zona, como para recordar los últimos años de actividad del volcán. El grupo poblacional correspondiente a los niños y niñas de segundo ciclo, se eligió para evaluar la percepción del riesgo en una nueva generación de personas, quienes en su mayoría han nacido en la zona.

En total se realizaron cinco talleres de recolección de información (tres en escuelas y dos con la comunidad) y se utilizaron los instrumentos de entrevista guiada que se presentan en el anexo 2. A través de estos formularios se recopila tanto información personal básica del entrevistado, como datos referentes a su percepción del riesgo volcánico e información que haya recibido previamente acerca del volcán.

6.2 Análisis de resultados

En total se realizaron 48 entrevistas a adultos y 78 a escolares; sin embargo, al aplicar los criterios de selección previamente indicados, únicamente se procesaron los datos de 28 de las entrevistas aplicadas a adultos y 56 de las que fueron realizadas a niños. Como aspecto destacable, cabe mencionar que la población estudiantil de segundo ciclo correspondiente a las escuelas de Dos Ríos, Gavilán y Buenos Aires, fue entrevistada casi en su totalidad. En cuanto a la población adulta entrevistada, 20 personas (48%) del total, tenían entre 1 y 11 años de residir en la zona, por lo que sus entrevistas no fueron consideradas para el análisis.

Los cuestionarios están diseñados para recopilar tres tipos de información a través de una serie de preguntas (doce para los adultos y diez para los niños). La información recolectada consiste en: 1. datos personales básicos (edad, formación académica, sexo, ocupación, tiempo de residir en la zona y razones que le motivan, entre otros); 2. estado de los conocimientos que la persona posee actualmente sobre el volcán Rincón de la Vieja y; 3. percepción del riesgo volcánico y lo que representa el volcán para las personas.

6.2.1. Percepción del riesgo en adultos

Se realizó un total de 48 entrevistas a adultos; sin embargo, 20 tuvieron que ser descartadas debido a que estas personas tenían menos de 15 años de vivir en la zona.

6.2.1.1. Datos personales básicos

De los 28 entrevistados que cumplían los criterios de selección, 4 fueron hombres y 24 mujeres, de estos la totalidad tienen uno o más hijos. En cuanto a la escolaridad, destaca que 19 (68%) de las personas entrevistadas poseen únicamente educación primaria, 5 (18%) completaron la secundaria, 3 (11%) tienen estudios universitarios y una persona no completó la primaria. Cuando se les preguntó si nacieron en la zona, tal y como se indica en el cuadro 6, 13 personas (46 %) respondieron que sí, mientras que los 15 restantes indicaron haber llegado a la zona procedentes de otra región de Costa Rica, e incluso desde Nicaragua.

Cuadro 6: Número de personas que nacieron en la zona de estudio.

	Sí	No
¿Usted nació en la zona?	13 (46 %)	15 (54%)

En cuanto a la motivación que tienen las personas para vivir en la zona, el 46% respondió que es solo por motivos familiares y el 36 % señaló trabajo y familia como motivaciones (cuadro 7). De las 13 personas que dicen haber nacido en el área, 12 indicaron que permanecen en esta por razones familiares, lo cual sugiere un arraigo importante. Destaca como el 82% de los entrevistados, tanto nacidos como no nacidos en la zona, señala a la familia como motivación total o parcial para vivir ahí.

En cuanto al trabajo como justificación para permanecer viviendo en el sector, 11 % indicó que es su única motivación, mientras que el 36% lo señaló como razón parcial (junto con la familia); es decir que, 47% de los entrevistados consideran que el factor laboral es un justificante importante para habitar en el área.

Cuadro 7: Motivación para vivir en la zona de estudio.

¿Qué es lo que le motiva a vivir en la zona?	Trabajo	Familia	Ambos	Otros
	3 (11 %)	13 (46 %)	10 (36 %)	2 (7 %)

6.2.1.2. Conocimientos actuales sobre el volcán y la gestión local del riesgo

Se realizaron cinco preguntas para obtener información sobre el estado de conocimiento que las personas tienen sobre el volcán y tres para dar cuenta del conocimiento de los pobladores sobre la gestión comunitaria del riesgo.

En primer lugar, se planteó la pregunta: ¿sabe qué es un volcán?, ante la cual 24 personas (86 %) respondieron que sí, mientras que 4 (14 %) dijeron no saber o no respondieron. Independientemente de que la definición de volcán que estos pobladores manejan sea correcta o incorrecta, la respuesta es significativa porque da cuenta de la consciencia sobre la existencia del volcán, su actividad y de cómo este es un elemento tan importante en su entorno, como para que se tenga una caracterización del mismo. En la misma línea, al preguntar a los entrevistados si conocen de alguna leyenda o historia relacionada con el volcán, el 57 % (16 personas) respondió que sí.

Se realizaron además dos preguntas sobre la actividad eruptiva reciente y sobre la posibilidad de actividad en un futuro próximo (cuadro 8). En ambos casos las respuestas fueron similares, pues la mayoría de los pobladores consultados dijo recordar la última

erupción del volcán, al mismo tiempo que considera que este hará erupción en algún momento del futuro cercano.

Cuadro 8: Respuestas a cuestionamientos sobre la actividad eruptiva.

	Sí	No	No respondió
¿Recuerda la última erupción del volcán Rincón de la Vieja?	25 (89 %)	3 (11 %)	0 (0 %)
¿Cree usted que el volcán hará erupción en algún momento?	26 (93 %)	1 (3,5 %)	1 (3,5 %)

En lo relativo a la gestión local del riesgo, 79 % de los entrevistados (22 personas), dijo conocer sobre la existencia del comité local de emergencias y haber recibido información sobre el volcán; mientras que el 82 % (23 entrevistados), afirmaron saber cómo actuar ante una eventual erupción volcánica. En el cuadro 9 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para las preguntas mencionadas.

Cuadro 9: Conocimientos sobre gestión local del riesgo volcánico y acciones de respuesta.

	Sí	No	No respondió
¿Sabe si existe un comité de emergencias en su comunidad?	22 (79 %)	6 (21 %)	0 (0 %)
¿Ha recibido algún tipo de información respecto al volcán?	22 (79 %)	6 (21 %)	0 (0 %)
¿Sabría qué hacer en caso de una erupción volcánica?	23 (82 %)	3 (11 %)	2 (7 %)

6.2.1.3. Significado del volcán para la comunidad y percepción del riesgo volcánico

Está claro que, al igual que sucede en la mayoría de las zonas volcánicas alrededor del mundo, el volcán constituye un elemento importante para el desarrollo turístico, agrícola y energético, pese a los peligros potenciales que representa. A este respecto, se realizó la consulta a los pobladores, sobre qué representa el volcán para la comunidad (algo positivo, negativo o ambos) obteniéndose los resultados del cuadro 10.

Cuadro 10: Significado del volcán para la comunidad.

¿Qué representa el volcán para su comunidad?	Algo positivo	Algo negativo (Peligro)	Ambos	No respondió
	12 (43 %)	7 (25 %)	3 (11 %)	6 (21 %)

En este caso, cuando las respuestas fueron “belleza”, “turismo” o “trabajo”, por citar algunos ejemplos, se clasificaron como “Algo positivo” y destacó, como para el 25 % de los entrevistados, el volcán representa específica y únicamente “peligro”, lo cual se calificó como negativo en el cuadro 9. Únicamente 3 (11 %) de las personas consultadas consideran al volcán tanto algo positivo, como una eventual fuente de peligro. De esta forma, sale a la luz como es necesario reforzar, tanto la consciencia de prevención de emergencias ante el peligro volcánico potencial, como la imagen positiva del volcán como fuente de recursos.

Por medio de conversaciones sostenidas durante los talleres, queda muy claro que para los pobladores, el principal peligro volcánico que les amenaza son los lahares (llamados “lava” por los habitantes de la zona), y es común que realicen una asociación directa de la actividad del volcán con eventos como crecidas, cambios de color del agua, olor a azufre y mortandad de peces. Posiblemente esta creencia se sustenta en el hecho de que en la década de los 90, varios de estos eventos afectaron seriamente el área de estudio (ver capítulo 3).

Los pobladores también manifiestan, con gran preocupación, el temor a que el flanco norte del cráter activo colapse. Si bien el colapso de flancos es un evento relativamente normal en los estratovolcanes, como ya se mencionó en el capítulo 3, no existen estudios que permitan confirmar o negar esta posibilidad para un corto o mediano plazo, de ahí la importancia de la prevención.

6.2.2. Percepción del riesgo en escolares

De acuerdo con el personal docente de las escuelas de Buenos Aires, IDA el Gavilán y Dos Ríos, la totalidad de la población estudiantil de segundo ciclo participó en los talleres. Esto permitió obtener un total de 56 entrevistas, así como conversar ampliamente con los estudiantes. Debido a la poca población estudiantil actual de los centros educativos de Buenos Aires y Dos Ríos, y a solicitud de sus respectivas directoras, en estas escuelas se aplicaron 22 cuestionarios a los estudiantes de primer ciclo, pero estos no serán considerados en los resultados que aquí se muestran, debido a que el diseño de los formularios fue pensado para estudiantes de segundo ciclo.

El análisis de la información recopilada se realizó de una forma similar a la que se utilizó con los datos suministrados por las personas adultas. Primero los datos personales

básicos, en este caso, por tratarse de un grupo poblacional específico, únicamente destacan el género y el centro educativo al que asisten los entrevistados; posteriormente se sintetiza y analiza la información relativa al conocimiento que tienen los estudiantes sobre el volcán, la existencia del comité local de emergencias, y las medidas de respuesta ante una eventual emergencia por actividad volcánica, tanto dentro como fuera del centro educativo. Finalmente, se analizará la percepción que tienen los escolares del volcán (como elemento positivo, fuente de peligros para la comunidad o ambos).

6.2.2.1. Datos personales básicos

En los talleres se contó con la participación de 26 niñas y 30 niños de entre 10 y 12 años, la mayoría nacidos en la zona. La distribución por centros educativos fue: 22 estudiantes de la escuela Dos Ríos, 29 del centro educativo IDA el Gavilán y 5 de la escuela unidocente de Buenos Aires.

6.2.2.2. Conocimientos actuales sobre el volcán y la gestión local del riesgo

Para verificar el nivel de conocimientos que los estudiantes poseen actualmente sobre el volcán, su actividad y las acciones de respuesta ante una eventual erupción, se formularon seis preguntas.

En primer lugar, se preguntó a los estudiantes si saben lo que es un volcán, ante lo cual 50 respondieron que sí, mientras que 6 dijeron no saber. Al igual que como sucede con las personas adultas, esto indica que los escolares son conscientes de que el volcán es un elemento importante en su entorno. Al preguntarse a los entrevistados ¿Por qué creen que hacen erupción los volcanes?, las respuestas más comunes fueron: 1. Porque se llena de lava o agua y; 2. Para liberar presión.

Estas respuestas sugieren que los estudiantes han recibido previamente algún tipo de información, y que se debe reforzar el tema, pues existen creencias en la zona, tanto entre niños como adultos, de que las lluvias fuertes producen erupciones porque el volcán se llena de agua.

Posteriormente, se consultó a los alumnos si tenían algún conocimiento específicamente sobre el volcán Rincón de la Vieja, ante lo cual, la respuesta de 37 de ellos

(66 %) fue, que es un volcán activo. El 44 % restante (17 estudiantes), dijeron o saber nada, o bien, que es peligroso.

Si bien, por su edad es poco probable que los escolares recuerden la última actividad eruptiva importante del volcán, el 64 % (36 alumnos), dijo haber escuchado historias sobre las erupciones pasadas. Asimismo, los 38 estudiantes (68 %) que indicaron que en sus hogares se habla sobre el volcán, son parte de quienes manifiestan preocupación por una eventual erupción; esto sugiere que este sentimiento se extiende hasta sus hogares.

En cuanto al conocimiento sobre acciones de respuesta ante una eventual erupción volcánica, el 66 % de los escolares entrevistados dijeron saber lo que deben hacer, mientras que el 34 % no sabe o no respondió (cuadro 11). Esto evidencia que los escolares requieren un refuerzo importante en el tema de respuesta, que eventualmente se puede incluso canalizar hasta sus hogares.

Cuadro 11: Acciones de respuesta ante una erupción volcánica.

	Sí	No	No respondió
¿Sabrías qué hacer en caso de una erupción volcánica?	37 (66 %)	17 (30 %)	2 (4 %)

6.2.2.3. Significado del volcán para los escolares y percepción del riesgo volcánico

Se plantearon dos preguntas relacionadas con la percepción del riesgo volcánico, una sobre la posibilidad de que se dé una erupción en un futuro cercano, y la otra, sobre la preocupación que esta posibilidad genera (cuadro 12).

Cuadro 12: Preocupación de los escolares por la actividad volcánica.

	Sí	No	Porqué sí (respuestas más comunes)
¿Crees que el volcán hará erupción pronto? ¿Por qué?	49 (87 %)	7 (13 %)	1- Porque está muy activo. 2- Por el choque de placas. 3- Porque está lleno de lava o agua. 4- Por presión, calor y gases.
¿Te preocupa que el volcán haga erupción? ¿Por qué?	49 (87 %)	7 (13 %)	1- Porque puede lastimar o matar. 2- Porque vivo junto al río. 3- Puede dañar puentes, casas o comunidad.

Como se indica en el cuadro 11, pese a que ninguno de los niños entrevistados ha vivido una crisis eruptiva, existe en ellos una preocupación generalizada por la posibilidad de que ocurra una erupción, y si bien algunos manifiestan que es porque le temen al volcán, la mayoría justifica su preocupación con razones concretas, como una eventual afectación a la vida, la salud y la propiedad, o bien la posibilidad de que las comunidades queden aisladas. De forma positiva, aunque requiere un importante refuerzo, parte del 13% de los estudiantes que declaró no estar preocupados por una eventual erupción, manifestó que es porque sabría cómo actuar durante esa situación porque ha participado en simulacros.

Al plantear la pregunta: ¿Qué representa el volcán para ti?, 16 (29 %) respondieron que es un elemento positivo, mientras que 29 (52 %) de los entrevistados indicaron que el volcán representa peligro y 11 niños no respondieron.

Tanto las respuestas a las entrevistas, como las conversaciones sostenidas con los niños y niñas, dejaron claro que la mayor parte de la población estudiantil analizada tiene una consciencia clara del peligro volcánico al que está expuesta la zona. Esto pone en evidencia la necesidad reforzar el conocimiento acerca de los peligros potenciales que podrían afectar las comunidades y las acciones de preparación y respuesta que se pueden llevar a cabo tanto en el ámbito escolar como familiar.

Es igualmente importante, inculcar en los menores el sentido de convivencia con el volcán, y contribuir a que sean conscientes de los beneficios de vivir en una zona volcánica. Esto podría incluso, evitar que a futuro parte de esta generación abandone la zona motivada por el temor a la actividad volcánica.

Finalmente, se preguntó a los estudiantes si las personas de su comunidad visitan el volcán, ante lo cual el 71 % de los escolares (40 menores) respondió que sí, e incluso mencionaron nombres concretos. Si bien está claro que servir como guías turísticos hasta la cima del volcán, constituye una fuente de ingreso importante para algunos pobladores, esto genera preocupación por dos razones:

1. El peligro inmediato al que se exponen locales y turistas, ya que incluso pequeñas erupciones freáticas, las cuales suceden con frecuencia, son capaces de arrojar bloques a varios cientos de metros de distancia, y en el caso del Rincón de la Vieja, los productos

eruptivos se depositan en su mayoría en el sector norte del cráter (área de peligro proximal), que es por donde acceden los locales al sector del cráter activo y;

2. Los niños crecen, percibiendo la práctica de acceder al cráter activo de forma recreativa y/o lucrativa como algo normal, y algunos de los mayores, manifestaron incluso haberlo visitado, lo cual además de ilegal, es altamente peligroso por las razones previamente expresadas.

6.3 Insumos para la gestión local del riesgo volcánico

A partir de la información recopilada, se elaboró una lista de los temas que se deben reforzar; estos son:

1. ¿Por qué hacen erupción los volcanes?
2. El volcán Rincón de la Vieja y su actividad.
3. Los beneficios de vivir cerca de un volcán.
4. Qué hacer antes, durante y después de una erupción.
5. ¿Cuáles son las zonas seguras en caso de una erupción?

De igual forma, se consideró importante elaborar una ficha familiar, la cual sería útil tanto ante una eventual actividad volcánica, como en cualquier otra situación de emergencia.

6.3.1. Ficha familiar

Como herramienta fundamental en el tema de preparación ante eventuales situaciones de emergencia, se ha elaborado la ficha familiar del anexo 5, en la cual las familias consignarán la información más importante que deberán conocer tanto los miembros del grupo familiar, como los miembros de equipos de primera respuesta que eventualmente puedan necesitarlo.

Entre los datos que se deberán anotar en la ficha se encuentran:

1. Apellidos del grupo familiar y nombre del jefe o jefa de hogar.
2. Datos básicos de todos los miembros de la familia: nombre, edad, condición física, grupo sanguíneo y si toma algún medicamento.
3. Datos de las mascotas (en caso de que la familia las tenga).
4. Información general sobre la vivienda y su ubicación.
5. Zonas de seguridad dentro y fuera de la vivienda.

6. Zonas de seguridad en la comunidad y puntos de encuentro de la familia en caso de emergencia.
7. Información sobre la preparación y ubicación del kit familiar de emergencia.
8. Contactos ajenos al grupo familiar en caso de emergencia.
9. Nombre y contacto de un miembro del comité local de emergencias.
10. Número de emergencias (9-1-1) en el caso de Costa Rica.

Estas fichas deberán ser impresas en papel de calidad, y colocadas de preferencia en un lugar de fácil acceso y que sea conocido por todos los miembros del grupo familiar, por ejemplo, detrás de la puerta principal de cada vivienda.

La ficha familiar contará con el material de apoyo que se describe en los puntos 6.3.2 al 6.3.4: panfletos informativos sobre el volcán, su actividad, las medidas a tomar antes, durante y después de una erupción y mapas simplificados en los cuales se indican las zonas seguras en cada comunidad en caso de que ocurra un lahar.

6.3.2. Panfletos y afiches informativos

Consisten en documentos informativos dirigidos a todos los miembros de la comunidad; estos se redactaron de forma clara, concisa y sencilla, y su objetivo es contribuir a la gestión comunitaria del riesgo volcánico, transmitiendo a la comunidad datos relevantes sobre el volcán Rincón de la Vieja, peligro volcánico y medidas de preparación, respuesta y recuperación, haciendo énfasis en los vacíos de información detectados mediante las entrevistas.

Se diseñaron tres panfletos con su respectiva versión en afiche o poster. Para su máximo aprovechamiento, los panfletos deberán ser impresos a color en papel de buena calidad, de modo que sirvan de referencia en el caso de que una persona desee guardarlos o colocarlos en un lugar visible dentro de su vivienda. Los posters deberán ser también a color, impresos en papel grueso o lona, de modo que puedan ser colocados en lugares abiertos como corredores o lugares comunales sin sufrir un deterioro acelerado. Los títulos de los materiales, disponibles en alta resolución en el anexo 6, son los siguientes:

- *Los Beneficios de vivir en una zona volcánica.*
- *Conozca al volcán Rincón de la Vieja.*
- *Efectos de los productos volcánicos en la salud humana.*
- *Qué hacer antes, durante y después de una erupción.*

6.3.3. Mapa de peligro simplificado para el sector norte del volcán

A partir del mapa de zonas de peligro, se elaboró un mapa de peligros más sencillo y de fácil lectura dirigido a los pobladores de la zona. En este documento se muestra la ubicación de las principales vías de evacuación, viviendas, centros educativos, zonas de peligro y zonas seguras en caso de lahares.

Este mapa está desplegado en escala 1:10 000 (figura 34), y se espera sirva como insumo para la gestión comunitaria del riesgo al comité local de emergencias y a la población en general.

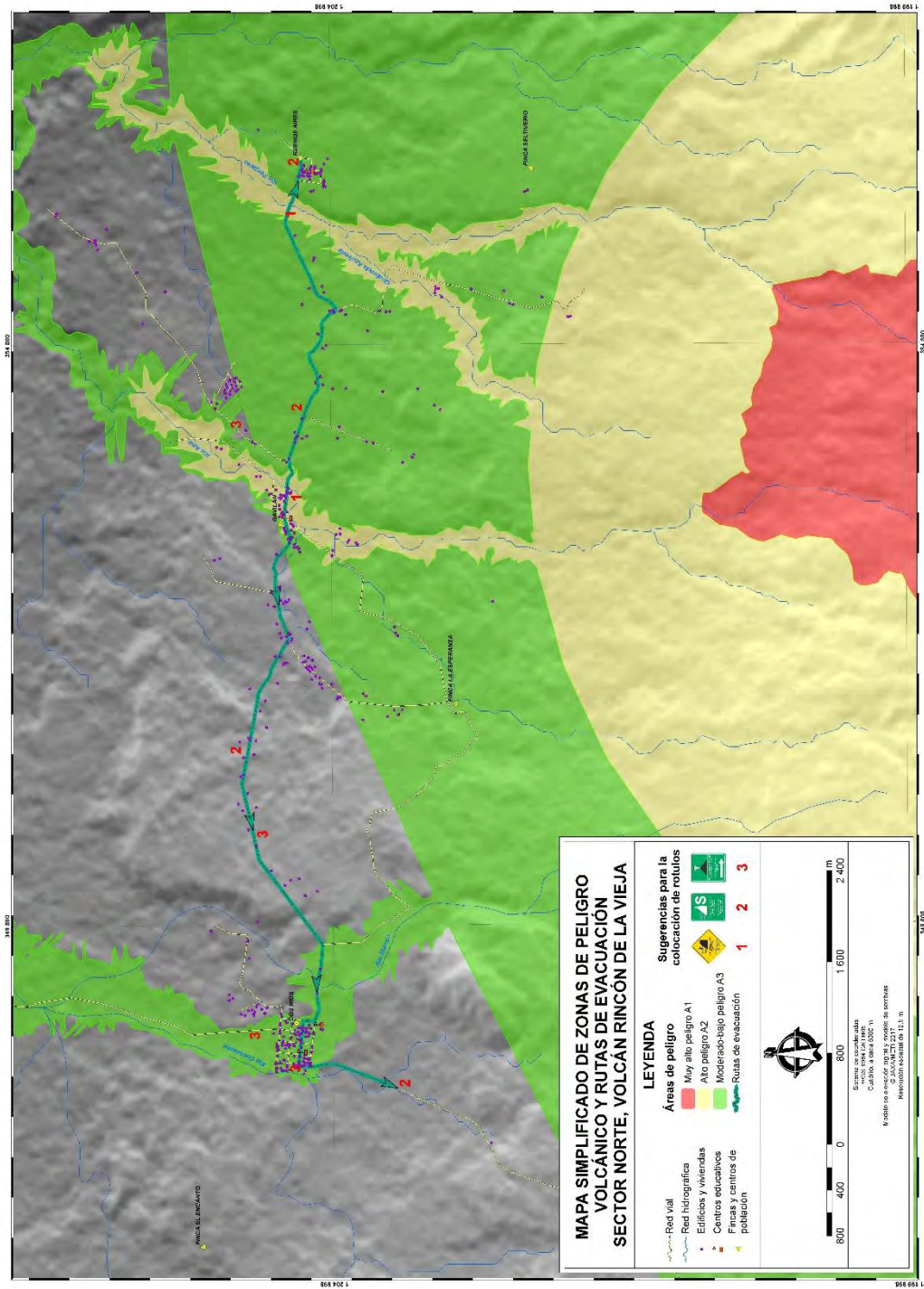


Figura 34: Mapa de peligros simplificado y rutas de evacuación. Ver mapa en alta calidad en anexo 4.

6.3.4. Rótulos de zona segura y ruta de evacuación

Como apoyo a la gestión del riesgo comunitaria, en concordancia con los lineamientos por los que se rige el formato de las señales de tránsito de prevención e información en Costa Rica, y considerando que la zona es turística, se han elaborado tres señales bilingües (español e inglés) para ser colocadas en los sitios que previamente se establecieron con base en el mapa de peligros simplificado.

Como se observa en la figura 35, dos de las señales son informativas, por lo que su fondo es verde, la primera señala la ruta de evacuación en caso de actividad volcánica y la segunda fue pensada para ser colocada en zonas consideradas como seguras después del análisis de la información existente y la elaboración del mapa de peligros. La tercera señal es preventiva, por lo que es amarilla con forma de rombo, y señalaría aquel sitio en donde se coloque, como zona de peligro ante la ocurrencia de lahares. En el anexo 7 se presentan las señales en tamaño carta. Las dimensiones que tendrían al momento de su instalación serán definidas de acuerdo con la legislación vigente.



Figura 35: Señales diseñadas para ser colocadas en sitios definidos dentro del área de estudio.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante los últimos 3800 años el volcán ha tenido al menos tres períodos de actividad eruptiva bien marcados: una erupción subpliniana caracterizada por depósitos de pómez dacítica; una erupción con generación de flujos piroclásticos de escoria canalizada hacia el flanco norte del volcán que alcanzaron hasta 10 km de distancia desde el foco eruptivo y; el período eruptivo histórico, dentro del cual ocurrió y se documentó la actividad desde el siglo XIX. La actividad durante este período se ha caracterizado por erupciones freatomagmáticas, siendo la más importante del período, la erupción vulcaniana de 1967.

Se ha observado que las erupciones freatomagmáticas se producen separadas por intervalos de cuatro a cinco décadas de relativa calma, durante las cuales la actividad predominante es de erupciones freáticas y emanación de gases constante, cuya mayor consecuencia para el entorno proviene de la lluvia ácida.

Para aquellas erupciones de las cuales únicamente existe registro geológico en la cima del edificio volcánico, y que evidencian periodos de actividad eruptiva freática o freatomagmática, es recomendable realizar futuros estudios, que permitan enriquecer el catálogo de eventos existente y conocer mejor la historia y dinámica eruptiva del volcán.

El volcán Rincón de la Vieja obtuvo una calificación de 11 en la evaluación de volcanes peligrosos de Yokoyama et al. (1984), por lo que se cataloga como un volcán peligroso. Este resultado es un indicativo que la necesidad de adoptar medidas de prevención serias en torno al crecimiento demográfico en la zona expuesta al peligro volcánico.

El análisis de los mapas de peligro existentes para el volcán Rincón de la Vieja, se realizó con base en la clasificación de Calder et al., (2015), misma que se basa en el tipo de información y la forma en que esta es desplegada.

Se analizaron los seis trabajos sobre peligros volcánicos encontrados, siendo el más antiguo el documento publicado por Paniagua et al., (1996), y el más reciente un documento publicado por Soto y Martínez (2016). La mayoría de los trabajos se basaron principalmente en el registro geológico, por lo que pueden no representar un catálogo de eventos completo, omitiendo aquellos que han desaparecido gracias a la geodinámica externa. En todos los

casos, la escala de despliegue de los mapas eventualmente podría dar pie a interpretaciones incorrectas, si no se toma en cuenta al momento de utilizar cualquiera de ellos.

El mapa preliminar de peligros volcánicos generado en el presente trabajo, es de tipo cualitativo integrado, ya que el producto final está basado tanto en el registro geológico, como en modelación determinística e información de peligros preexistente de Kempter (1996), Kempter & Rowe (2000), Soto et al. (2003) y Soto & Martínez (2016). El resultado final, puede ser ampliado hasta la escala 1:20 000, según la necesidad, por lo que su utilización a nivel local es muy conveniente.

Los principales peligros volcánicos que amenazan el sector norte del edificio volcánico en el corto plazo son lahares, flujos piroclásticos, caída de cenizas, afectación por gases y lluvia ácida. Los flujos de lava y proyectiles balísticos estarían restringidos a unos pocos kilómetros de la fuente, y es poco probable que lleguen a las poblaciones más cercanas al volcán, teniendo en cuenta que las viviendas más próximas se ubican a cinco kilómetros del cráter activo.

En este documento, se integran tanto los peligros volcánicos que podrían afectar al área de estudio en corto y mediano plazo, como aquellos que afectan a la zona actualmente. No se consideró dentro del mapa preliminar de peligro volcánico, un eventual colapso de la pared norte del cráter activo, debido a que no existen estudios concluyentes que indiquen que esta pueda ser una posibilidad a corto o mediano plazo, e incluir un escenario de este tipo en un mapa de peligrosidad, sin tener el sustento científico necesario, puede ser más bien perjudicial para el desarrollo de la zona.

La zona afectada por gases y lluvia ácida se concentra en los alrededores del cráter activo, extendiéndose hacia el suroeste del mismo por cerca de 8 km, según la dirección predominante del viento.

En cuanto a los lahares, si bien estos fueron modelados en los principales cauces que descienden del macizo, debido a las condiciones geomorfológicas de la cima como la presencia de barreras naturales, es posible afirmar que el sector norte es el más propenso a ser afectado por estos flujos. Aunque no se debe descartar la posibilidad de ocurrencia de

lahares en los otros flancos ante el escenario de una erupción pliniana, subpliniana o incluso, vulcaniana.

La caída de ceniza con espesores milimétricos a centimétricos, es un peligro real para toda el área de estudio; sin embargo, con la adecuada preparación, los pobladores de la zona pueden aprender como minimizar sus efectos.

Las zonas delimitadas tanto en el mapa de peligros, como en los que dan origen a este, se basan en las características topográficas y climatológicas actuales, considerando escenarios eruptivos hipotéticos, por lo que no establecen límites definitivos. Estas áreas más bien constituyen guías, cuya interpretación se limita por sus respectivas escalas. A partir de estas guías es posible detallar en el campo, de ser necesario para zonas específicas. Así por ejemplo, en el caso de que un sitio de interés se encuentre en o cerca del límite demarcado para determinado peligro, la recomendación es elaborar un estudio de amenazas localizado que permita disminuir la incertidumbre.

Debido a la alta tasa de mortalidad de estos eventos, se recomienda realizar un trabajo detallado acerca del peligro específico de los flujos piroclásticos, preferiblemente, combinando modelos numéricos e información de campo.

Se realizó un breve análisis de vulnerabilidad por exposición ante lahares y caída de ceniza en las comunidades del área de estudio. El análisis se realizó sobre la infraestructura vial y edificaciones, principalmente viviendas y centros educativos.

A partir del análisis realizado es posible afirmar que, en caso de que descendan lahares por los cauces de los ríos Pénjamo o Azul, y considerando los acontecimientos pasados, es posible que los puentes sean destruidos o dañados. El riesgo se debe en primer lugar, a que las estructuras se asientan sobre los cimientos de los puentes preexistentes, por lo que su emplazamiento no cambió y ante un evento similar al ocurrido en mayo de 1991, las estructuras podrían ser dañadas, destruidas o desplazadas por la corriente, dejando incomunicadas a una o varias comunidades.

Ante un escenario de afectación por lahares, en la comunidad de Dos Ríos, la mayor parte de edificaciones, incluyendo ambos centros educativos, podrían verse afectados, ya que

se encuentran dentro de la zona que podría ser inundada por lahares. No obstante, si bien existe la posibilidad de que lahares de gran volumen afecten esta zona, esta es baja, pudiendo ocurrir en caso de que se dé un periodo eruptivo con caída de ceniza constante hacia el oeste del cráter activo acompañado de precipitaciones sostenidas o un colapso de la pared norte del cráter activo.

En el asentamiento Gavilán, gran parte de las edificaciones, incluyendo la escuela primaria y el salón comunal, se encuentran dentro de la zona que podría ser afectada por lahares. Para la comunidad de Buenos Aires, la principal amenaza a corto plazo es el aislamiento por interrupción de la vía terrestre, como sucedió durante 1991.

En cuanto a la descripción de las características sedimentológicas y reológicas de eventuales lahares que afecten al área de estudio, estas variarían según su mecanismo de disparo.

Si se trata de lahares no eruptivos, disparados por precipitaciones, estos arrastrarían materiales que han sido depositados previamente en las cuencas altas de los ríos y tendrían características de flujo diluido, conteniendo principalmente partículas finas. Son el tipo de lahar más común en la zona, y también el menos destructivo. Sus depósitos, cuando no son erosionados rápidamente, consisten en capas de material fino con espesores centimétricos a decimétricos, que pueden ser confundidos con los de un flujo normal de corriente. Esto normalmente sucede en los cauces de los ríos Azul y Pénjamo y sus afluentes.

Para lahares originados por actividad eruptiva freática, freatomagmática o magmática, tanto proporción agua/detrimento, como la fracción fina que permite determinar si el flujo es o no cohesivo, estarían determinadas por el tipo de erupción, su duración, volumen de material emitido y la cantidad de agua disponible (lluvia o lago cratérico). Sin embargo, en términos generales, teniendo erupciones constantes como mecanismo disparador, se puede esperar que los lahares descendan principalmente por los ríos Azul y Pénjamo, y que tengan características de flujo hiperconcentrado hasta flujo de escombros, cuyas zonas de inundación estarían determinadas por la topografía, y el volumen del flujo.

En el caso hipotético de que un lahar se genere por el colapso de la pared del cráter, y considerando la distancia desde la fuente, es posible que el flujo contenga una fracción importante de materiales angulares de granulometría gruesa incluyendo bloques métricos y vegetación, la cual estaría inmersa en una matriz arcillosa, debido a que se trataría de un evento explosivo con alta fragmentación. Esta mezcla originaría un flujo que podría variar de hiperconcentrado a flujo de escombros, según la proporción de agua.

Para emitir recomendaciones sobre el uso del territorio en el área de estudio, y facilitar a la población la lectura del mapa de peligros, se han establecido tres áreas funcionales a partir del mapa preliminar de peligros. Las áreas definidas fueron clasificadas como: muy alto peligro (A1), alto peligro (A2) y moderado - bajo peligro (A3).

Al igual que se señaló para los mapas de peligros, las zonas delimitadas como A1, A2 y A3, no establecen límites definitivos y en el caso de que un lugar de interés se encuentre dentro de una de estas zonas, o cerca de sus límites, se recomienda elaborar un estudio de amenazas localizado.

A1 incluye la zona de peligro proximal, parte del área afectada constantemente por gases y lluvia ácida en la cima y el radio de 2 km alrededor del cráter activo. Esta zona se ubica dentro del parque nacional Rincón de la Vieja, y dentro de ella se recomienda restringir todo tipo de actividad humana, permitiendo únicamente el acceso a personal de investigación en condiciones controladas.

A2 contempla un radio de 5 km alrededor del cráter activo, parte de las zonas expuestas a los efectos de cenizas, gases y lluvia ácida y los cauces de los ríos Pénjamo y Azul, que son los más propensos a ser afectados por lahares. En esta área es recomendable limitar las actividades humanas que demanden permanecer por periodos superiores a ocho horas, pero se puede aprovechar el potencial turístico siempre que se implementen las medidas de seguridad necesarias y se respeten las directrices del SINAC, en aquellos sectores donde A2 se traslapa con el área del parque nacional. Se recomienda no permanecer en o cerca de los cauces fluviales en periodos lluviosos, cuando la cima del volcán está nublada o durante la noche.

El área de moderado-bajo peligro, llamada A3, incluye las posibles zonas de inundación por lahares de gran volumen, áreas afectadas por gases y lluvia ácida y zonas donde podría entre 10 y 30 cm de caída de ceniza.

En A3 puede permitirse cualquier tipo de actividad a los pobladores, pero se recomienda rotular el área como zona de influencia volcánica y tener presente que en caso de erupción, podría ser necesario tomar las medidas de seguridad que el caso demande. No se recomienda que en esta área se inicie la construcción de nuevos asentamientos o complejos habitacionales. Tampoco es recomendable desarrollar actividades de agricultura ni ganadería a gran escala.

A nivel local, para las comunidades más cercanas al volcán, y todas aquellas que de alguna forma se puedan ver afectadas por su actividad, o beneficiadas por el mismo, es importante fomentar un modelo de convivencia con el volcán con enfoque preventivo en coordinación con los gobiernos locales y comités de emergencias.

Finalmente, se recomienda habilitar y dar mantenimiento a todas las posibles vías de evacuación existentes en la zona, particularmente la ruta que comunica Buenos Aires con la Colonia Libertad, ya que podría ser una alternativa para los pobladores de Buenos Aires en caso de que el puente sea destruido por un lahar.

Entre los resultados más importantes del análisis de percepción del riesgo en adultos, destaca como el 82% de los entrevistados señaló a la familia como motivación total o parcial para vivir en la zona de estudio, mientras que solo el 11% indicó que el trabajo es su única justificación para vivir en el área.

La mayor parte de la población recuerda la última actividad eruptiva importante; esto contribuye a que el volcán y su actividad sean entendidos y aceptados como parte del entorno, destacándolo como un elemento más positivo, que les otorga belleza y fuentes de empleo.

Los habitantes son conscientes de la relación que existe entre la actividad del volcán, en ocasiones las precipitaciones y los lahares, principal peligro volcánico en la zona. Al saber esto, es factible suponer que la población, al ser consciente de las características de su entorno, no es indiferente a la necesidad de saber cómo reaccionar ante la actividad eruptiva.

Esta afirmación se sustenta también en el hecho de que el 82 % de los adultos, y el 66% de los niños afirmaron saber cómo actuar ante una erupción. Esto más allá de que lo que saben sea correcto, indica preocupación por el tema.

En la zona de estudio se utiliza el término “lava”, como modismo local para referirse a los lahares, sean fríos o calientes. Es posible que esto se deba a que la predominancia de lahares calientes induce a las personas a pensar, que efectivamente la temperatura del agua se debe al efecto de transmisión térmica de la lava.

Llama la atención, que en la zona se asocie la ocurrencia de lahares con la amenaza inminente de otros tipos de peligros (no geológicos), por ejemplo, es común que enjambres de avispas o abejas sean molestadas por el ruido de los flujos, lo que en muchas ocasiones causa que se desplacen, pudiendo afectar a quienes permanezcan en exteriores.

Los habitantes del sector norte del volcán expresaron una gran preocupación ante la posibilidad de colapso de la pared norte del cráter activo; sin embargo, aunque el colapso de flancos es un evento relativamente normal en los estratovolcanes, no existen estudios que confirmen o nieguen esta posibilidad a corto o mediano plazo.

En cuanto a percepción del riesgo, la mayoría de la población estudiantil analizada tiene una clara conciencia del peligro volcánico al que está expuesta la zona. Esto resalta la necesidad de reforzar el conocimiento sobre los peligros potenciales que podrían afectar a las comunidades y las acciones de preparación y respuesta que pueden llevarse a cabo tanto en la escuela como en el entorno familiar. Es igualmente importante inculcar en los niños el sentido de la convivencia con el volcán y contribuir a que sean conscientes de los beneficios de vivir en una zona volcánica. Esto podría incluso evitar que, en el futuro, esta generación abandone el área motivada por el temor a la actividad volcánica.

Algunas personas locales trabajan como guías turísticos, llevando a visitantes nacionales y extranjeros al cráter activo y otras zonas peligrosas. Está claro que esta actividad es una importante fuente de ingresos para algunos residentes; sin embargo, la práctica causa preocupación debido al peligro inmediato al que los lugareños y turistas están expuestos, ya que incluso pequeñas erupciones freáticas son capaces de arrojar bloques a varios cientos de

metros de distancia, y en el caso de Rincón de la Vieja, los productos eruptivos se depositan principalmente en el sector norte del cráter, que es por donde las personas acceden al borde del cráter activo. En este sentido, es necesario cambiar la percepción que los niños tienen sobre la práctica de acceder al cráter activo, ya que lo perciben como algo cotidiano y seguro cuando no lo es.

Los principales temas que se deben reforzar en la población son los siguientes: 1. ¿Por qué hacen erupción los volcanes? 2. El volcán Rincón de la Vieja y su actividad; 3. Los beneficios de vivir cerca de un volcán; 4. ¿Qué hacer antes, durante y después de una erupción? y; 5. ¿Cuáles son las áreas seguras en caso de erupción? Para apoyar a la comunidad en este sentido, se pondrá a su disposición, presentando a las comunidades, y explicándoles correctamente el material complementario descrito en el capítulo 6.

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, I., & Alvarado, G. (2014). Pérdidas humanas y económicas causadas por el vulcanismo en Costa Rica entre 1953 y 2005. *Revista Geológica de América Central*, 51. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v51i1.16549>
- Alpizar, Y., Mora-Amador, R., González, G., Ramírez, C., Mora, M., & Taylor, W. (2014). Resumen del estado de los volcanes activos de Costa Rica durante el periodo 2012-2013. *Revista Geológica de América Central*, 51. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v51i1.16910>
- Alpizar, Y., González-Ilama, G., Mora, M., Mora-Amador, R., y Ramírez, C. (2014b). Informe sobre la actividad de los volcanes activos de Costa Rica, octubre 2014. Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Recuperado de: http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Boletines_Mensuales_Volcanes/Informe_volcanes_octubre_2014.pdf
- Alvarado, G. E. (1993). *Vulcanología y Petrología del Volcán Irazú, Costa Rica*. (Tesis doctoral). Universidad de Kiel, Alemania.
- Alvarado, G. E. (2011). *Los volcanes de Costa Rica: Geología, historia, riqueza natural y su gente*. San José, Costa Rica: EUNED (Editorial Universidad Estatal a Distancia).
- Arguedas, C. (10 de abril de 2016). Nivel del lago del volcán Rincón de la Vieja bajó tres metros. *La Nación*. Recuperado de http://www.nacion.com/sucesos/desastres/Nivel-lago-Rincon-Vieja-metros_0_1553844650.html
- Alaska Satellite Facility DAAC. (2015). ALOS PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_low_res; Includes Material © JAXA/METI 2007. Descargado el 11 de agosto de 2017. DOI: 10.5067/JBYK3J6HFSVF
- Auker, M. R., Sparks, R. S. J. y Siebert, L. (2013). A statistical analysis of the global historical volcanic fatalities record. *Journal of Applied Volcanology*, 2, 1-24

- Bakkar, H. y Taylor, W. (2016). Resumen preliminar de la actividad reciente en el Rincón de la Vieja de enero- marzo del 2016.
- Bakkar, H., Mora, M. y Taylor, W. (2016). Resumen de la actividad sísmica y eruptiva, Volcán Rincón de la Vieja marzo del 2016. Red Sismológica Nacional (RSN (UCR-ICE), Universidad de Costa Rica. Informe interno.
- Bakkar, H. (2017). *Estudios de los procesos sísmicos y volcánicos en el Rincón de la Vieja (Costa Rica)*. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Costa Rica.
- Barquero, J. y Segura, J. (1983). La actividad del volcán Rincón de la Vieja. *Boletín de Vulcanología*, UNA, Heredia, 6(13), 5-10.
- Barquero, J. y Fernandez, E. (1987). Estado de los volcanes en Costa Rica. *Boletín de Vulcanología*, 18, 56.
- Benner, S. W. (1987). Stratigraphy and volcanic hazard of Volcano Rincón de la Vieja, a preliminary report. *ACM Tropical Field Studies*, Costa Rica
- Blunda, Y. (2009). Percepción del riesgo volcánico y conocimiento de los planes de emergencia en los alrededores del volcán Poás, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 43. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v0i43.3465>
- Boudon, G., Rançon, J. P., Kieffer, G., Soto, G. J., Traineau, H., y Rossignol, J. C. (1996). Les éruptions de 1966-1970 et 1991-1992 du volcán Rincón de la Vieja, Costa Rica: exemple d'activité récurrente d'un système hydromagmatique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Sciences de la terre et des planètes*, 322(2), 101-108.
- Bullard, F. M. (1956). Volcanic activity in Costa Rica and Nicaragua in 1954. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 37(1), 75-82.
- Calder, E., Wagner, K., y Ogburn, S. (2015). Volcanic hazard maps. En S. Loughlin, S. Sparks, S. Brown, S. Jenkins, y C. Vye-Brown (Eds.), *Global Volcanic Hazards and*

Risk (pp. 335-342). Cambridge: Cambridge University Press.
doi:10.1017/CBO9781316276273.022

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). (2003a). Mapa de Amenazas Naturales Potenciales Cantón Liberia. –Escala 1:50 000.

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). (2003b). Mapa de Amenazas Naturales Potenciales Cantón Upala. –Escala 1:50 000.

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). 2012. Plan de Contingencia, Parque Nacional Volcán Rincón de la Vieja. Disponible en <http://investigadoresacg.org/blog/wp-content/uploads/2013/07/PLAN-DE-CONTINGENCIA-VOLCAN-RINCON-DE-LA-VIEJA-26-11-2012.pdf>.

Crandell, D. R., Booth, B., Kasumadinata, K., Shimosuru, D., Walker, G. P. L., y Westercamp, D. (1984). Source-book for volcanic-hazards zonation (No. 4). UNESCO.

Diario Oficial la Gaceta (11 de enero de 2006). Ley Nacional de Emergencias y Prevención de Riesgos N° 8488, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.cne.go.cr/Documentos/legal/LEY%20NACIONAL%20DE%20EMERGENCIA%208488.pdf>.

Esquivel, L. (2011). Restricción del uso de la tierra en áreas bajo amenaza volcánica: el caso del Arenal. *Revista Geológica de América Central*, 30. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v0i30.7289>

Fernández, E., Brenes, J y Barboza, V. (1991). La actividad del volcán Rincón de la Vieja durante los días 6, 7 y 8 de mayo de 1991. *Boletín de vulcanología*.

Global Volcanism Program (1991a). Report on Rincón de la Vieja (Costa Rica). En: McClelland, L (ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 16, 4. Smithsonian Institution. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN199104-345020>

- Global Volcanism Program (1991b). Report on Rincón de la Vieja (Costa Rica). En: McClelland, L (ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 16, 5. Smithsonian Institution. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN199105-345020>
- Global Volcanism Program (1991c). Report on Pinatubo (Philippines). En: McClelland, L (ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 16, 9. Smithsonian Institution. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN199109-273083>
- Gómez, F. (1996). Desarrollo de una metodología para el análisis del riesgo volcánico en el marco de un sistema de información geográfica. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España.
- González-Ilama, G., Mora, M., Alpízar, Y., Mora-Amador, R., Taylor, W. y Ramírez, C. (2013a). Informe sobre la actividad de los volcanes activos de Costa Rica, julio 2013. Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <http://rsn.ucr.ac.cr/actividad-volcanica/reportes-volcanicos/626-03-07-13-informe-sobre-la-actividad-de-los-volcanes-activos-de-costa-rica-en-junio-del-2013>
- González-Ilama, G., Alpízar, Y., Mora-Amador, R., Ramírez, C., Mora, M., y Taylor, W. (2013b). Informe sobre la actividad de los volcanes activos de Costa Rica, noviembre 2013. Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Recuperado de: http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Boletines_Mensuales_Volcanes/Informe_volcanes_noviembre_2013.pdf
- González-Ilama, G., Mora-Amador, R., Alpízar, Y., Mora, M., y Ramírez, C. (2014a). Informe sobre la actividad de los volcanes activos de Costa Rica, agosto 2014. Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Recuperado de: http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Boletines_Mensuales_Volcanes/Informe_volcanes_agosto_2014.pdf
- González-Ilama, G., Mora-Amador, R., Mora, M., Alpízar, Y., y Taylor, W. (2014b). Informe sobre la actividad de los volcanes activos de Costa Rica, septiembre 2014. Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Recuperado de:

http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Boletines_Mensuales_Volcanes/Informe_volcanes_septiembre_2014.pdf

- González-Ilama, G., Mora-Amador, R., Mora, M., Taylor, W. y Alpízar, Y. (2014c). Erupciones freáticas mayores en el volcán Rincón de la Vieja. Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <http://rsn.ucr.ac.cr/actividad-volcanica/reportes-volcanicos/5334-23-09-14-erupciones-freaticas-mayores-en-el-volcan-rincon-de-la-vieja-2>
- Hansell, A., y Oppenheimer, C. (2004). Health hazards from volcanic gases: a systematic literature review. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 59(12). doi: 10.1080/00039890409602947
- Healy, J. (1969). Notes on the volcanoes of the Guanacaste volcanic range, Costa Rica. New Zealand Geological Survey.
- Kempton, K. A., 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. *Journal of volcanology and geothermal research*, 71(2). doi: [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(95\)00072-0](https://doi.org/10.1016/0377-0273(95)00072-0)
- Kempton, K. (1997). *Geologic evolution of the Rincón de la Vieja Volcanic Complex, NW Costa Rica*. (Tesis doctoral). Universidad de Texas en Austin.
- Kempton, K. A., y Rowe, G. L. (2000). Leakage of Active Crater lake brine through the north flank at Rincón de la Vieja volcano, northwest Costa Rica, and implications for crater collapse. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 97(1-4). doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(99\)00181-X](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(99)00181-X)
- Limón, C. (2005). *Análisis de la percepción del riesgo en los volcanes Chichón y Tacaná, Chiapas*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

- Mastin, L. G., Randall, M. J., Schwaiger, H. F., y Denlinger, R. P. (2013). *User's guide and reference to Ash3d: a three-dimensional model for Eulerian atmospheric tephra transport and deposition*. 2013-1122. US Geological Survey.
- Mora-Amador, R. A. (2010). *Peligrosidad Volcánica del Poas (Costa Rica) basado en las principales erupciones históricas de 1834, 1910 y 1953-1955*. (Tesis de Maestría). Universidad de Costa Rica.
- Mora-Amador, R., González-Ilama, G., Alpízar, Y. y Ramírez, C. (2015a). Erupciones freáticas del volcán Rincón de la Vieja del 4 y 11 de noviembre del 2015. Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <http://rsn.ucr.ac.cr/actividad-volcanica/reportes-volcanicos/5391-informe-de-campo-volcan-rincon-de-la-vieja-del-4-al-11-de-noviembre-2015>
- Mora-Amador, R., Ramírez, C., González-Ilama, G. y Alpízar, Y. (2015b). Informe sobre la actividad de los volcanes activos de Costa Rica, mayo 2015. Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Recuperado de: http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Boletines_Mensuales_Volcanes/2015/Informe_volcanes_mayo_2015.pdf
- Mora-Amador, R. y Ramírez, C. (2016). Informe sobre la actividad de los volcanes activos de Costa Rica, marzo 2016. Red Sismológica Nacional, Universidad de Costa Rica. Recuperado de: http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Boletines_Mensuales_Sismos/2016/informe_volcanes_MARZO_2016.pdf
- Municipalidad de Upala. (2012). Plan Regulador del Cantón de Upala, Reglamento de Zonificación.
- Nomade, S., Genty, D., Sasco, R., Scao, V., Féruglio, V., Baffier, D., y Debard, E. (2016). A 36,000-Year-Old Volcanic Eruption Depicted in the Chauvet-Pont d'Arc Cave (Ardèche, France)? PLoS ONE 11(1): e0146621. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146621>

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (1987). *Manejo de emergencias volcánicas*, México.
- Ortíz, R. y Araña, V. (1996). *Daños que pueden producir las erupciones*. En Ortiz, R. (ed.).
- Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI). (1995). Reporte sobre la actividad del volcán Rincón de la Vieja. Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia.
- Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI). (2011a). Boletín de vulcanología, estado de los volcanes septiembre 2011. Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia. Recuperado de: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/vulcanologia/estado-de-los-volcanes/category/9-estado-de-los-volcanes-2011>
- Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI). (2011b). Boletín de vulcanología, estado de los volcanes octubre 2011. Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia. Recuperado de: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/vulcanologia/estado-de-los-volcanes/category/9-estado-de-los-volcanes-2011>
- Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI). (2012). Estado de los volcanes, resumen anual oficial 2012. Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia. Recuperado de: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/vulcanologia/estado-de-los-volcanes/category/8-estado-de-los-volcanes-2012>
- Paniagua, S., Salazar, L., Kussmaul, S., Monge, A., y Obando, L. (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, San José [Informe interno].
- Peraldo-Huertas, G. y Mora-Fernández, M. (2017). Experiencias desde la geología en percepción del riesgo de desastres en el contexto de la psicología comunitaria. En

Dobles, I., Maroto, A., Masís, M.J. y Rodríguez, A. (Eds.), *Miradas sentidas y situadas: experiencias con grupos y comunidades* (pp. 153-175). San José, Costa Rica: Editorial UCR.

Pinatubo Volcano Observatory Team. (1991). Lessons from a major eruption: Mt. Pinatubo, Philippines, *Eos Trans. AGU*, 72(49), 545–555, doi: 10.1029/90EO00386.

Red Sismológica Nacional de Costa Rica (RSN). (1995). La erupción del volcán Rincón de la vieja, noviembre de 1995. Informe preliminar. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, San José.

Red Sismológica Nacional de Costa Rica (RSN). (2011). Reporte sismos sentidos septiembre 2011. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, San José. Recuperado de: http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Boletines_Mensuales_Sismos/2011/Boletin_2011_09.pdf

Red Sismológica Nacional de Costa Rica (RSN). (2012a). Reporte sismos sentidos febrero 2012. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, San José. Recuperado de: http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Boletines_Mensuales_Sismos/2012/Boletin_2012_02.pdf

Red Sismológica Nacional de Costa Rica (RSN). (2012b). Reporte sismos sentidos abril 2012. Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica, San José. Recuperado de: http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Publicaciones_Periodicas/Boletines_Mensuales_Sismos/2012/Boletin_2012_04.pdf

Renda, E., Rozas, M., Moscardini, O. y Torchia, N. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. -72 págs. Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Seguridad de la Nación, Argentina. 1º ed ilustrada.

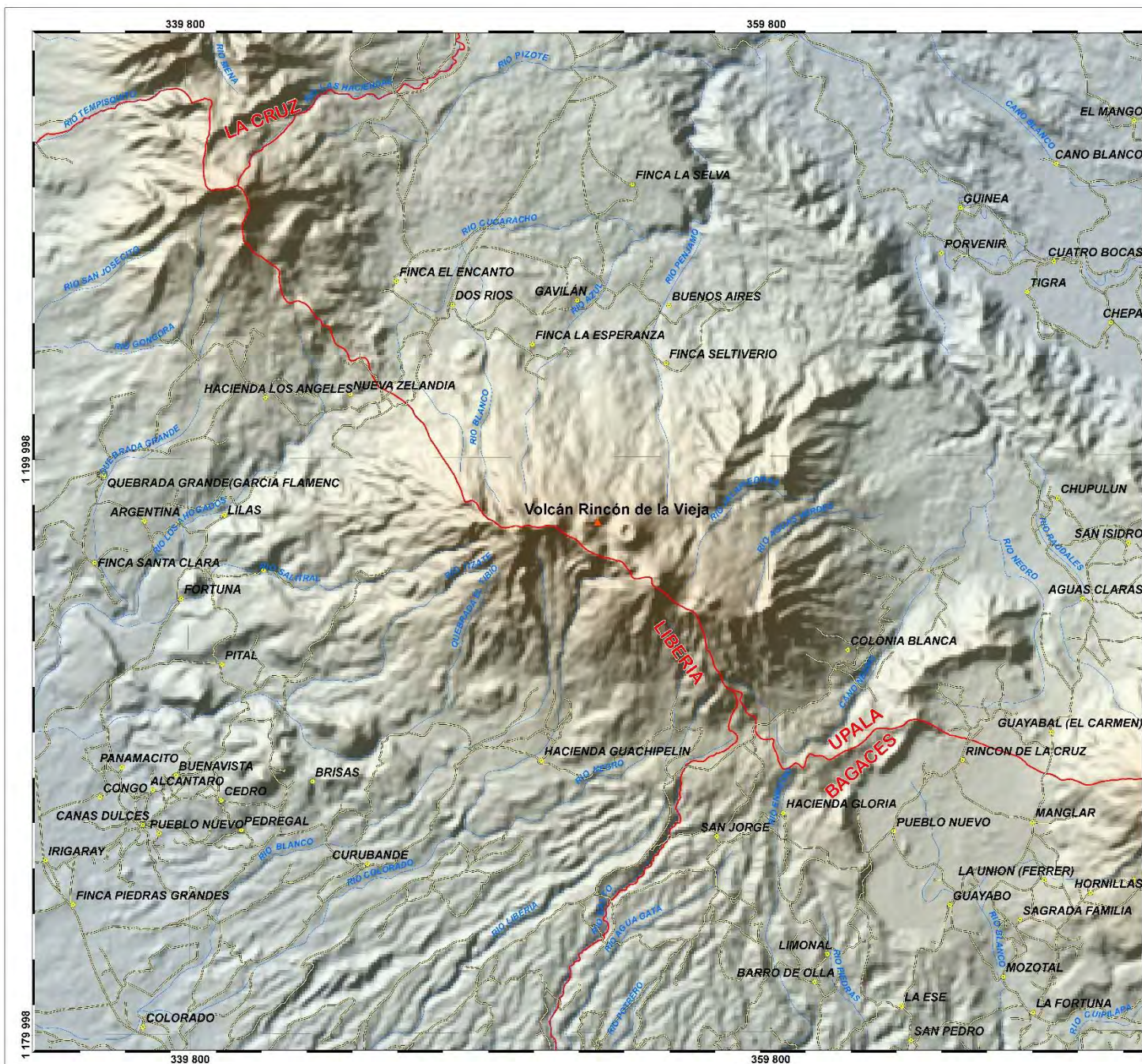
- Rodolfo, K. S. (2000). The hazard from lahars and Jokulhlaups. *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, 973- 995.
- Sandman, P. (2003). Four kinds of risk communication. *The Synergist*, 8, 26-27.
- Scandone, R. (1983). Problems related with the evaluation of volcanic risk. En Tazieff, H., Sabroux, J.C. (Eds.), *Forecasting Ž. Volcanic Events, Developments in Volcanology*, 1. Elsevier, Amsterdam, 57- 69.
- Scandone, R., Giacomelli, L., y Gasparini, P. (1993). Mt. Vesuvius: 2000 years of volcanological observations. *Journal of volcanology and geothermal research* 58, 5–26
- Schilling, S. P. (1998). LAHARZ; *GIS programs for automated mapping of lahar-inundation hazard zones*. 98-638. US Geological Survey;
- Schmitt, A.K., Danišík, M., Aydar, E., Şen, E., Ulusoy, I., Lovera, O. M. (2014). Identifying the Volcanic Eruption Depicted in a Neolithic Painting at Çatalhöyük, Central Anatolia, Turkey. *PLoS ONE* 2014 9(1); e84711. doi: 10.1371/journal.pone.0084711. pmid:24416270
- Selva, J., Orsi, G., Di Vito, M., Marzocchi, W., Sandri, L. (2012). Probability hazard map for future vent opening at the Campi Flegrei caldera, Italy. *Bulletin of Volcanology* 74, 497-510. doi:10.1007/s00445-011-0528-2
- Servicio Geológico de los Estados Unidos. (2000). ¿Cuáles son las Amenazas o Peligros Volcánicos? *USGS Fact Sheet 002-97*. Recuperado de: <http://pubs.usgs.gov/fs/fs144-00/fs144-00.pdf>
- Smets, B., Tedesco, D., Kervyn, F., Kies, A., Vaselli, O., y Yalire, M. M. (2010). Dry gas vents (“mazuku”) in Goma region (North-Kivu, Democratic Republic of Congo): Formation and risk assessment. *Journal of African Earth Sciences*, 58(5), 787-798.
- Soto, G. J. (2004). La erupción del Rincón de la Vieja del 8 de mayo de 1991, Serie: Hoy Hace..., Recuperado de: <http://www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/docs/1974/1974.pdf>.

- Soto, G. J. (2012). Preparación de mapas de peligros volcánicos y restricción de uso de la tierra en el volcán Turrialba. Mapa de peligros volcánicos del volcán Turrialba, informe final.
- Soto, G., Alvarado, G., & Goold, S. (2011). Erupciones < 3800 a.P. del Volcán Rincón de la Vieja, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 29. doi: <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v0i29.7776>
- Soto, G.J., Alvarado, G., Goold, S., Climent, A. (2003b). Evaluación del peligro y riesgo volcánico que representa el volcán Rincón de la Vieja para el Proyecto Geotérmico Las Pailas, Cordillera de Guanacaste, Costa Rica. Inf. Interno ICE, 78 p. p.
- Soto, G. J., 2004: LA ERUPCIÓN DEL RINCÓN DE LA VIEJA DEL 8 DE MAYO DE 1991, Serie: Hoy Hace..., Disponible en <http://www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/docs/1974/1974.pdf>.
- Soto, G. y Martínez, M. (2016). VOLCANO HAZARD ZONES OF RINCÓN DE LA VIEJA VOLCANO (COSTA RICA). Mapa presentado en el tercer taller internacional de Buenas Prácticas de Observatorios Volcánicos sobre evaluación de riesgos volcánicos a largo plazo (VOPB3). 15-18 de noviembre de 2016 Vancouver, Washington, EE. UU.
- Soto, G.J. 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.
- Tristán-Fernández, J. F. (1921). Apuntes sobre el Volcán Rincón de la Vieja. *Revista de Costa Rica*, 2(6), 161-168.
- Vallance, J. W., y Iverson, R. M. (2015). Lahars and their deposits. In *The Encyclopedia of Volcanoes (Second Edition)* (pp. 649-664).

Witham, C.S. (2005). Volcanic disasters and incidents: A new database. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 148(3-4), 191-233.
DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2005.04.017

Yokoyama, I., Tilling, R.I. y Scarpa, R. (1984). International Mobile Early-Warning System(s) for volcanic eruptions and related seismic activities. Unesco, FP/2106-82-01 (2286), 103 pp.

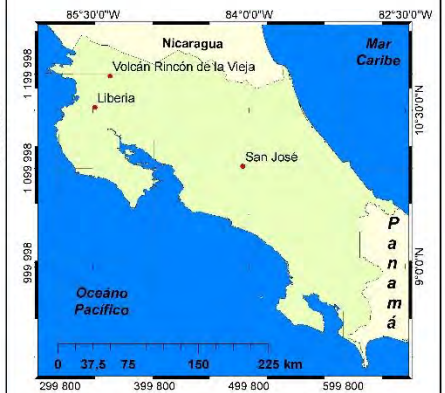
ANEXO 1: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.



VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA Y POBLADOS CERCANOS

LEYENDA

- Fincas y centros de población
- Red vial
- Red hidrográfica
- Límite Cantonal



Sistema de coordenadas
WGS 1984 CRTM05
Cuadrícula cada 20 000 m.
Modelo de elevación digital y modelo de sombras
© JAXA/METI 2017.
Resolución espacial de 12.5 m.

**ANEXO 2: CUESTIONARIOS APLICADOS A NIÑOS Y ADULTOS
DURANTE LOS TALLERES.**

Fecha ____ / ____ / ____

Me llamo _____ y tengo _____ años.

Estoy en _____ grado de la escuela _____.

Mi comunidad se llama _____ y vivo aquí desde _____.

Por favor responde a las siguientes preguntas, si tienes dudas puedes levantar la mano.

1. ¿Sabes qué es un volcán?

Sí	
----	--

No	
----	--

3. ¿Qué sabes sobre el volcán Rincón de la Vieja?

2. ¿Por qué crees que hacen erupción los volcanes?

4. ¿Te preocupa que el volcán haga erupción?

Sí	
----	--

No	
----	--

¿Por qué? _____

5. ¿Crees que el volcán hará erupción pronto?

Sí	
----	--

No	
----	--

¿Por qué? _____

6. ¿Qué representa el volcán para ti?

7. ¿Has escuchado historias sobre erupciones del volcán?

Sí	
----	--

No	
----	--

¿Cómo cuáles? _____

8. ¿Sabrías que hacer en caso de una erupción?

Sí	
----	--

No	
----	--

¿Qué harías? _____

9. ¿Hablan en tu casa sobre el volcán?

Sí	
----	--

No	
----	--

10. ¿Visitan el volcán las personas de tu comunidad?

Sí	
----	--

No	
----	--

11. Por favor, dibuja el volcán, tu comunidad y tu casa en la parte de atrás de la hoja.

¡MUCHAS GRACIAS!

Fecha _____ / _____ / _____

Nombre _____ Edad _____

Mujer _____ Hombre _____ ¿Tiene hijos? Sí _____ No _____

Escolaridad: Primaria _____ Secundaria _____ Universitaria _____ Técnica _____ Ninguna _____

Comunidad _____ Años de vivir en la comunidad _____

Ocupación _____ Religión _____

Por favor responda a las siguientes preguntas.

1. ¿Usted nació aquí? Sí No NR

2. ¿Qué es lo que lo motiva a vivir en la zona? Trabajo Familia Otros

3. ¿Sabe qué es un volcán? Sí No NR

4. ¿Por qué cree que hacen erupción los volcanes? _____

5. ¿Conoce alguna historia o leyenda sobre el volcán Rincón de la Vieja? Sí No NR

6. ¿Qué representa el volcán para su comunidad? _____

7. ¿Considera usted que su comunidad se encuentra en una zona de peligro volcánico? Sí No NR

8. ¿Recuerda la última erupción del volcán Rincón de la Vieja? Sí No NR

9. ¿Cree usted que el volcán hará erupción en algún momento? Sí No NR

10. ¿Sabría qué hacer caso de una erupción volcánica? Sí No NR

11. ¿Sabe si existe un comité de emergencias en su comunidad? Sí No NR

12. ¿Ha recibido algún tipo de información respecto al volcán? Sí No NR

¿De qué tipo? _____

13. Por favor realice en la parte de atrás de la hoja un dibujo donde ubique su comunidad con todos los elementos importantes de esta, su vivienda y el volcán Rincón de la Vieja

¡Muchas Gracias!

ANEXO 3

Recuento de muertes relacionadas con lahares en el mundo entre 1586 y 2014.

Yemerith Alpízar Segura

Palabras Clave: Peligro volcánico, lahar, Volcán Irazú, Volcán Arenal, Volcán Rincón de la Vieja, Costa Rica.

RESUMEN

Debido al hecho de que los lahares se encuentran entre los fenómenos volcánicos que mayor cantidad de vidas han cobrado durante el siglo XX, se han llevado a cabo las tareas de describir este y otros fenómenos volcánicos destructivos; y de realizar un recuento de las muertes atribuidas a los lahares desde 1586 hasta 2016, obteniéndose como resultado, que al menos el 17% de los decesos relacionados con actividad volcánica, han sido consecuencia de lahares.

1. Introducción

Los lahares son flujos densos producidos al fluidizar el agua materiales volcánicos, principalmente piroclastos (Ortiz & Araña, 1996). Estos Flujos pueden descender de forma torrencial a través de valles, barrancas, quebradas y corrientes, recorriendo distancias de hasta 80 km desde la fuente.

Históricamente se cuentan entre los fenómenos volcánicos más destructivos, pudiendo ser pre, sin o post eruptivos, y con numerosas alternativas en cuanto a factores disparadores, han cobrado aproximadamente 55637 vidas entre los años 1586 y 2016, en tan solo veinticuatro eventos.

La investigación se centra en analizar la amenaza que representan los lahares sin importar su origen y se realiza un recuento de las muertes ocasionadas por lahares entre 1586 y 2014.

2. Los peligros volcánicos

Los volcanes son capaces de producir numerosos peligros geológicos. Desde que existe consciencia de la amenaza que estos representan para la población, el actuar de los peligros volcánicos ha sido registrado, por medio de petroglifos, pinturas, dibujos, crónicas (figura 1) y hasta leyendas. Posiblemente el registro más antiguo conocido sea la pintura de 36 000(?) años, encontrada en la caverna Chauvet-Pont d'Arc, en Ardèche, Francia (Nomade *et al.*, 2016). A

este registro le siguen las pinturas neolíticas de Çatalhöyük (Turquía, 28 000 (?) años) y se cree que representan una erupción del volcán Hasan Dağı twin-peaks (Schmitt *et al.*, 2014).

Asimismo, a lo largo de la historia y principalmente desde el siglo XX, científicos alrededor del globo, se han dedicado a estudiar los peligros de muchos de los volcanes activos y potencialmente activos del mundo. Esta tarea requiere vigilar de cerca su actividad, así como el estudio de su historia eruptiva y depósitos, para tratar de determinar periodos de recurrencia y tipo de erupciones, que pueden caracterizar un volcán en particular.

Desde el siglo I D.C., más de cuatrocientos volcanes han hecho erupción una o varias veces (USGS, 2000). Según Witham (2005), solo durante el siglo XX murieron al menos 91724 personas como consecuencia de la actividad volcánica en todo el mundo, de este total, 0,72 % de los decesos fueron causados por flujos de lava, 6,59% por caída de tefra y balísticos, 49,97 % a raíz de flujos piroclásticos y avalanchas, 33,51 % a causa de lahares, 0,43% por sismos volcánicos, 0,72 % por tsunamis inducidos por actividad volcánica, 2,2 % debido a la afectación por gases y 6,04% a raíz de causas indirectas (enfermedades, inanición, etc.) o desconocidas.

Las regiones volcánicas más activas del mundo se encuentran a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico, que incluye muchas islas del Pacífico Sur, Occidental y Norte, así como Japón y muchas zonas extensas del borde occidental de América, incluyendo Centroamérica, el Caribe y grandes áreas de la Cordillera de los Andes (USGS, 2000), aquí se concentra la mayor parte del vulcanismo originado por subducción. Otras zonas volcánicas sumamente activas se encuentran en, los bordes de placa divergente (como Islandia y África Oriental) y los puntos calientes (Yellowstone, Galápagos, Hawái, etc.).

Sin importar el origen del vulcanismo, las grandes erupciones explosivas, pueden representar una amenaza para la población, poniendo en riesgo a las poblaciones expuestas e incluso, a propiedades localizadas a cientos de kilómetros de distancia.

La actividad volcánica puede llegar inclusive, a afectar el clima global, como sucedió con las erupciones de los volcanes Tambora (1815), Chichón (1982) y Pinatubo (1991).

Entre los principales peligros volcánicos se pueden citar: coladas de lava, gases, caída de ceniza y bombas, flujos piroclásticos, lahares, siendo estos dos últimos los más letales. Algunos peligros volcánicos, como los flujos de lava, son tan fácilmente evitables, que raramente causan víctimas mortales (Auker *et al.*, 2013). Por su parte, los gases volcánicos causan algunas muertes, debido a que son prácticamente indetectables al olfato humano (Smets *et al.*, 2010).

En el otro extremo, tenemos los flujos piroclásticos y lahares. Estos son los peligros que han causado la mayoría de las muertes directas en las erupciones volcánicas entre 1600 y 2010 (Auker *et al.*, 2013).

Los flujos piroclásticos son avalanchas de cenizas calientes y lava fragmentada suspendido en gas. Alcanzan distancias cortas de lo general menos de 12 km, pero sus velocidades son a menudo superiores a los 100 km/h (Charles *et al.*, 2015).

Los lahares, a menudo llamados flujos de lodo, son suspensiones hiperconcentradas de agua, cenizas y escombros. Están solo un poco por detrás de los flujos piroclásticos en términos de muertes desde 1600 hasta 2010 (Auker *et al.* 2013; Rodolfo 2000). Estos dos peligros tienen comienzo muy rápido y ofrecen muy poco tiempo para la evacuación (Scott *et al.*, 1997). Las avalanchas y lahares pueden ocurrir aun cuando el volcán no se encuentre en erupción (USGS, 2000).

Los tres mayores peligros volcánicos.

- ***Flujo piroclástico-oleada piroclástica***

Flujos piroclásticos: Son avalanchas de ceniza caliente, fragmentos de roca y gas, que se mueven a muy alta velocidad. Pueden descender por los flancos de un volcán durante erupciones explosivas o cuando un domo de lava que está creciendo se colapsa. Los flujos piroclásticos pueden alcanzar temperaturas de 900 °C y moverse a velocidades de 160 a 240 kilómetros por hora, y tienden a seguir el curso de los valles, siendo capaces de derribar y quemar todo en su camino (USGS, 2000; Charles *et al.*, 2015).

Entre las más grandes tragedias volcánicas de la historia, destacan las ocurridas a raíz de un flujo piroclástico en el Monte Pelée, Martinica (1902), con cerca de 28000 muertos, cuando ocurrió una explosión dirigida, con colapso de domo y lahares entre otros, en este caso se conocía el riesgo, pero no se llevaron a cabo acciones preventivas y la isla no fue evacuada por razones políticas.

Oleadas piroclásticas (Surge): Son flujos piroclásticos de menor densidad, que pueden cubrir o saltar fácilmente crestas de más de 100 metros de altura (USGS, 2000). Quizá, los ejemplos más recordados de la historia, sean los de las oleadas piroclásticas que afectaron a las ciudades de Pompeya y Herculano, a raíz de la erupción del volcán Vesubio en 79 d.C., y son consideradas como los eventos que cobraron la mayor parte de las víctimas durante este acontecimiento (Sigurdsson *et al.*, 1999).

- **Lahares y Avalanchas**

El termino Lahar, tiene su origen en el idioma indonesio. Literalmente significa lava o Flujo de lodo volcánico. Van Bemmelen (1949), nombra de esta forma a la brecha volcánica transportada por el agua. El término lahar se refiere tanto a la mezcla de agua que fluye con escombros, como al depósito así formado (Fisher, & Schmincke, 2012).

Su ocurrencia puede ser sin eruptiva o post eruptiva y junto con los flujos de piroclastos, son los fenómenos más destructivos de la actividad volcánica (Rodolfo, 2000). Originados en los flancos del volcán, pueden desplazarse decenas o incluso cientos de kilómetros aguas abajo (Crandell, 1971). Vallance, en Sigurdsson *et al.* (1999), indican que un lahar puede ser un flujo de detritos, transicional o hiperconcentrado originado en un volcán.

Sigurdsson *et al.*, (1999) define un flujo hiperconcentrado, como un flujo fangoso con alta carga de sedimentos en suspensión; cohesión insignificante, bajo límite elástico y una proporción de detritos variable entre 20-50/60%.

Para la generación de un Lahar, de acuerdo con Vallance, en Sigurdsson *et al.* (1999), se requiere:

1. Una fuente de agua (lago, lluvias, nieve, agua subterránea).
2. Materiales inconsolidados (ceniza, rocas, etc.).
3. Altas pendientes.
4. Mecanismo disparador: Colapso de paredes en lagos volcánicos, erupciones en lagos cratéricos, flujos piroclásticos o avalanchas, ruptura del nivel freático, Fusión de hielo o nieve, lluvias intensas.

- ✓ **Volumen del flujo**

No es constante, a medida que el flujo se mueve se presentan aumentos y disminuciones. El volumen máximo marca un cambio importante en el proceso del lahar; tasa de erosión baja y la velocidad de deposición aumenta. La erosión es mayor en pendientes pronunciadas donde hay mucho material volcánico suelto. La deposición es mayor en pendientes suaves Vallance, en Sigurdsson *et al.* (1999).

- ✓ **Velocidad del flujo**

Según Charles *et al.*, (2015), los lahares pueden viajar cientos de kilómetros a una velocidad de hasta 60 km/h. Tienen suficiente energía cinética para acarrear a cantos rodados varios metros de diámetro, arboles, animales, vehículos, etc. (Blong, 1984; Baxter, 1990).

Su velocidad depende de:

- Volumen de flujo
- Viscosidad
- Pendiente
- Rugosidad del terreno

✓ **Depósitos**

El tamaño, origen y ambiente de depósito de un lahar, influye en el carácter de los depósitos y determina las facies que se forman (Vallance, en Sigurdsson *et al.* (1999)).

La deposición de sedimentos flujos individuales produce un depósito homogéneo, masivo y en ocasiones, sin distinción estratigráfica. Por esto, texturas internas homogéneas correspondientes a varios eventos podrían ser mal interpretadas como correspondientes a un solo evento. El proceso de deposición se registra principalmente por la morfología del depósito. (Schilling, 2013. Com. Pers; Vallance, en Sigurdsson *et al.* (1999)). Sin embargo, el volumen del flujo durante el evento, normalmente es mucho mayor al volumen del depósito.

• **Tsunami volcánico**

Los tsunamis pueden ser definidos como las ondas de agua de período largo generadas por un desplazamiento repentino de la superficie del agua. Esta definición general es lo suficientemente amplia como para cubrir todos los escenarios posibles para la generación de tsunami. Es bien conocido, que la actividad volcánica puede generar tsunamis en los océanos, mares y lagos, pero los mecanismos de origen siguen siendo difíciles de modelar debido a su complejidad inherente (Paris *et al.*, 2014).

Paris *et al.*, (2014), mencionan que las investigaciones sobre los tsunamis volcánicas son obstaculizadas por la falta de conocimientos técnicos interdisciplinarios y de hecho, rara vez se incluyen en los documentos de riesgos de origen volcánico (mapas de riesgo, planes de evacuación, etc.), esto pese a que expanden claramente el área de daño potencial de muchos volcanes submarinos y costeros.

Los Tsunamis volcánicos son eventos que tienen una relativamente baja probabilidad de ocurrencia, pero representan alto riesgo, pudiendo causar daños serios en asentamientos localizados a largas distancias del volcán. Estos sitios podrían considerarse seguros si se desconoce el riesgo al que están expuestos.

3. Recuento de muertes ocurridas por lahares en el mundo desde 1586

Se realizó un recuento de los fallecimientos a nivel mundial a causa de los lahares, ya sean directamente asociados o no con erupciones volcánicas. La investigación abarca el periodo comprendido entre 1586 y 2016.

Trabajos similares han sido realizados por autores como Tilling (1989) y Witham (2005), entre otros, pero estos no se enfocan en un peligro volcánico particular, y en ocasiones, han omitido datos de eventos ocurridos en Centroamérica, como los correspondientes a los lahares del volcán Irazú (Costa Rica, 1963) y los volcanes Casita y Maderas (Nicaragua, 1998 y 2014 respectivamente).

En total se cuentan alrededor de 71236 fallecimientos a raíz de flujos laháricos, esto corresponde aproximadamente con el 17% del total de muertes achacadas a los volcanes para el periodo de estudio.

La información recopilada se resume en el cuadro 1. Nótese, que para algunos eventos, se encontró diferentes datos, en este caso, para el cálculo del total global, se tomó como dato oficial, el disponible en la referencia bibliográfica de publicación más reciente (P. ej. En el caso de los volcanes Pinatubo y Nevado del Ruíz), o bien, de alguna fuente de primera mano que haya estado presente en el evento, como en el caso de los volcanes Maderas y Casita, en Nicaragua.

4. Conclusiones

Los peligros volcánicos que han cobrado mayor cantidad de vidas a lo largo de la historia, han sido, los flujos piroclásticos, los lahares y tsunamis volcánicos.

En el caso de los flujos piroclásticos, esto se ha debido a que, por sus características, son fenómenos para los que no existe ningún tipo de medida de mitigación y las únicas acciones que se pueden tomar son de carácter preventivo, como las evacuaciones.

Con los lahares sucede que, en la mayoría de las ocasiones, los lugares afectados son tan distantes, que no existe una consciencia del riesgo, tal como fue el caso de Armero en 1985. Sin embargo, en algunos lugares donde estos fenómenos son comunes, existen sistemas de alerta temprana. Estos sistemas, aunados a una adecuada planificación territorial, contribuyen con la disminución de desastres causados por lahares.

De acuerdo con la investigación realizada, el total de los decesos ocurridos a nivel mundial a causa de los lahares, entre los años 1586 y 2014 corresponde

aproximadamente al 17 % de todas las muertes atribuidas a la actividad volcánica. El grueso de este porcentaje lo constituyen las personas fallecidas a causa de la tragedia de Armero, en Colombia.

Cuadro 1: Inventario de los decesos ocurridos a nivel mundial a causa de los lahares, entre los años 1586 y 2014.

Erupción	Año	Cantidad de decesos por lahares	Referencias
Kelut, Indonesia	1586	10000	Badrudin, 1994
Vesubio, Italia	1631	169	Perrotta et al., 2006
Merapi, Indonesia	1672	3000	Ortiz y Araña, 1997
Awu, Indonesia	1711	3200	Ortiz y Araña, 1997
Asama, Japón	1783	914	Aramaki, 1956
Awu, Indonesia	1812	963	Jansen, 1856; Wichmann, 1893
Mayon, Filipinas	1814	1200	Tanguy et al., 1998
Galunggung, Indonesia	1822	>4000	Tilling, 1989
Nevado del Ruíz, Colombia	1845	1000	Acosta, 1846; Tilling, 1989
Awu, Indonesia	1856	2806	Jansen, 1856
Cotopaxi, Ecuador	1877	400	Wolf & Von Rath, 1877
Irazú, Costa Rica	1963	≥10	Alvarado, 1993.
Awu, Indonesia	1892	1532	Wichmann, 1893
Monte Pelée, Martinica	1902	400	Lacroix, 1904; Chrétien & Brousse, 1988.
Semeru, Indonesia	1909	221	Witham, 2005
Taupo, Nueva Zelanda	1910	1	Witham, 2005
Usu., Japón	1910	1	Witham, 2005
Aoba, Vanuatu	1914	12	Witham, 2005
Kelut, Indonesia	1919	5110	Van Bemmelen, 1949; Witham, 2005
Tokachidake, Japón	1926	137	Van Bemmelen, 1949; Witham, 2005
Tokachi, Japón	1926	2	Witham, 2005
Santa María, Guatemala	1929	5000	Witham, 2005
Kusatsu, Japón	1932	2	Witham, 2005
Villarica, Chile	1948	40	Witham, 2005
Villarica, Chile	1949	36	Witham, 2005
Binuluan, Filipinas	1952	12	Witham, 2005
Ruapehu, Nueva Zelanda	1953	151	Thompson et al, 1965; Witham, 2005
Hibok-Hibok	1954	2	Witham, 2005
Mahawu, Indonesia	1958	1	Witham, 2005
Merapi, Indonesia	1962	2	Witham, 2005
Agung, Indonesia	1963	163 1138	Suryo, 1981 Witham, 2005
Villarica, Chile	1963	15	Witham, 2005
Fuego	1963	7	Witham, 2005
Batur, Indonesia	1963	2	Witham, 2005
Irazú, Costa Rica	1963	20	Alvarado, 1993; Aguilar & Alvarado, 2014
Villarica, Chile	1964	25	Witham, 2005
Kelut, Indonesia	1966	211	Suryo, 1985
Awu, Indonesia	1966	10	Witham, 2005
Semeru, Indonesia	1968	3	Witham, 2005
Mayon, Filipinas	1968	3-5	Witham, 2005
Merapi, Indonesia	1969	3	Witham, 2005
Iya, Indonesia	1969	1	Witham, 2005
Villarica, Chile	1971	15	Witham, 2005
Cerro Hudson	1973	2	Witham, 2005
Sakura-jima, Japón	1974	3	Witham, 2005
Merapi, Indonesia	1976	29	Witham, 2005
Semeru, Indonesia	1976	40	Witham, 2005
Usu, Japón	1977	3	Witham, 2005
Semeru, Indonesia	1978	12	Witham, 2005
Usu, Japón	1978	3	Witham, 2005
Merapi	1979	80-82	Witham, 2005
Mt. St Helens	1980	6	Witham, 2005
Semeru, Indonesia	1981	372	Witham, 2005
Mayon, Filipinas	1981	47	Witham, 2005
El Chichón, México	1982	1	Witham, 2005
Mayon, Filipinas	1984	1	Witham, 2005
Nevado del Ruíz, Colombia	1985	23080	Witham, 2005
		21100	Voight, 1990
		22000	Herd et al., 1986
		25000	Naranjo et al., 1986
23000	Scarpa & Tilling, 1996		
Merapi	1986	1	Witham, 2005
Kelut, Indonesia	1990	4	Witham, 2005
Pinatubo, Filipinas	1991	143	Pinatubo Obs. Team, 1991; GVN Bull, 1991,1992
		932	Witham, 2005
Pinatubo, Filipinas	1992	26	Witham, 2005
Karagetang	1993	2	Witham, 2005
Pinatubo, Filipinas	1993	4	Witham, 2005
		14	Witham, 2005
Merapi, Indonesia	1994	64	Witham, 2005
Kelimutu	1995	1	Witham, 2005
Parker, Filipinas	1995	60	Witham, 2005
Maderas, Nicaragua	1996	6	Witham, 2005
Casita, Nicaragua	1998	1560-1680	GVN Bull. 1998.
		2500	Scott et al., 2005
		3000	Chavarría, 2016 (com Pers.)*
Maderas, Nicaragua	1988	10	Chavarría, 2016 (com Pers.)*
Kelut, Indonesia	1998	10	Witham, 2005
Concepción, Nicaragua	2014	1	Chavarría, 2016 (com Pers.)*
Total de víctimas		71236	

*David Chavarría González, funcionario del Instituto Nicaraguense de estudios Territoriales encargado de atender las emergencias.

5. Referencias

- AGUILAR, I. & ALVARADO, G.E., 2014: Pérdidas humanas y económicas causadas por el vulcanismo en Costa Rica entre 1953 y 2005. -Rev. Geol. Amér. Central, 51: 93-128, DOI: 10.15517/rgac.v5il.16549.
- ALVARADO, GE, 1993: Vulcanología y Petrología del Volcán Irazú, Costa Rica.-261 págs. Univ. Kiel, Ph.D. tesis.
- AUKER, M. R., SPARKS, R. S. J., SIEBERT, L., 2013: A statistical analysis of the global historical volcanic fatalities record. *J Appl. Volcanol.* 2:1–24
- BAXTER, P.J., 1990: Medical effects of volcanic eruptions. *Bull. Volc.* 52:532–544
- BLONG, R. J., 1984: Volcanic hazards. A sourcebook on the effects of eruptions. Academic Press, North Ryde
- CITTERIO, M., DIOLAIUTI, G. & SMIRAGLIA, C., 2006: Glacial Contact Lake Risk Analysis-The Miage Lake (Italian Alps) case. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 8, p. 06093).
- CRANDELL, D.R., 1971: Postglacial lahars from Mount Rainier volcano Washington: U.S. Geological Survey Professional Paper 677, 75 p.
- FISHER, R. V., & SCHMINCKE, H. U., 2012: *Pyroclastic rocks*. Springer Science & Business Media.
- GLOBAL VOLCANISM PROGRAM, 1992: Report on Pinatubo (Philippines). In: McClelland, L (ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 17:8. Smithsonian Institution. <http://dx.doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN199208-273083>.
- GLOBAL VOLCANISM PROGRAM, 1991a: Report on Rincón de la Vieja (Costa Rica). In: McClelland, L (ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 16:4. Smithsonian Institution. <http://dx.doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN199104-345020>.
- GLOBAL VOLCANISM PROGRAM, 1991b: Report on Pinatubo (Philippines). In: McClelland, L (ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 16:9. Smithsonian Institution. <http://dx.doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN199109-273083>.

- GLOBAL VOLCANISM PROGRAM, 1998: Report on San Cristobal (Nicaragua). In: Wunderman, R (ed.), *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 23:10. Smithsonian Institution. <http://dx.doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN199810-344020>.
- HILDÉN, M., DANKERS, R., KJELDSSEN, T., HANNAFORD, J., KUHLICKE, C., KUUSISTO, E. & WOLTERS, H., 2012: Floods-Vulnerability, Risks and Management: A Joint Report of ETC CCA and ICM.
- NOMADE S, GENTY D, SASCO R, SCAO V, FÉRUGLIO V, *ET AL.*, 2016: A 36,000-Year-Old Volcanic Eruption Depicted in the Chauvet-Pont d'Arc Cave (Ardèche, France)? *PLoS ONE* 11(1): e0146621. doi: 10.1371/journal.pone.0146621
- ORTIZ, R., ARAÑA, V, 1996, Daños que pueden producir las erupciones, *en* Ortiz, R. (ed.), *Riesgo Volcánico: Cabildo de Lanzarote, Serie Casa de los Volcanes*, 5, 37–66.
- PARIS, R., SWITZER, A. D., BELOUSOVA, M., BELOUSOV, A., ONTOWIRJO, B., WHELLEY, P. L., & ULVROVA, M., 2014: Volcanic tsunami: a review of source mechanisms, past events and hazards in Southeast Asia (Indonesia, Philippines, Papua New Guinea). *Natural hazards*, 70(1), 447-470.
- PERROTTA, A., SCARPATI, C., LUONGO, G., 2006: Volcaniclastic resedimentation on the northern slope of Vesuvius as a direct response to eruptive activity. *Landslides* 3:295–301
- PINATUBO VOLCANO OBSERVATORY TEAM, 1991: Lessons from a major eruption: Mt. Pinatubo, Philippines. *EOS* 72, 49:: 545–555
- RODOLFO, K. S., 2000: The hazard from lahars and jökulhlaups. *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press, Orlando, pp. 973–995
- SCOTT, K. M., VALLANCE, J. W., KERLE, N., LUIS MACÍAS, J., STRAUCH, W. AND DEVOLI, G., 2005: Catastrophic precipitation-triggered lahar at Casita volcano, Nicaragua: occurrence, bulking and transformation. *Earth Surf. Process. LANDFORMS*, 30: 59–79. DOI: 10.1002/ESP.1127
- SIGURDSSON, H., HOUGHTON, B., RYMER, H., STIX, J., MCNUTT, S., 1999: *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press.

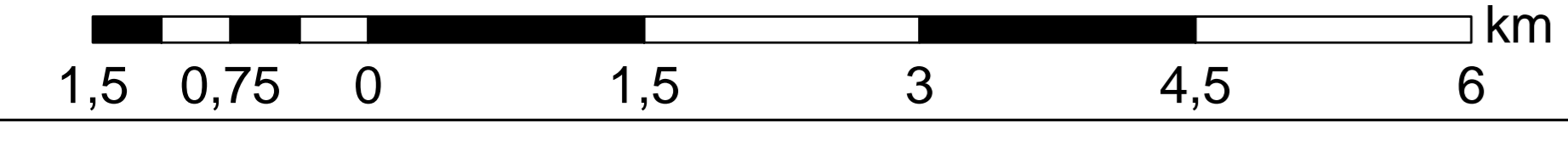
- SMETS, B., TEDESCO, D., KERVYN, F., 2010: Dry gas vents (“mazuku”) in Goma region (North-Kivu, Democratic Republic of Congo): formation and risk assessment. *J Afr Earth Sci* 58:787–798
- SOTO, G. J., 2004: LA ERUPCIÓN DEL RINCÓN DE LA VIEJA DEL 8 DE MAYO DE 1991, Serie: Hoy Hace..., Disponible en <http://www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/docs/1974/1974.pdf>. (Consultado el 9 de mayo de 2015)
- SOTO, G. j., 2012: Preparación de mapas de peligros volcánicos y restricción de uso de la tierra en el volcán Turrialba. Mapa de peligros volcánicos del volcán Turrialba, informe final. San José: Fundevi. pp. 183.
- SOTO, G. J., ALVARADO, G.E. & GOOLD, S., 2003: "Erupciones < 3800 a.P. del Volcán Rincón de la Vieja, Costa Rica. - *Revista Geológica de América Central*, 29: 67-86.
- SOTO, G.J. & 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.
- TILLING, R. I., 1989: Volcanic hazards and their mitigation: Progress and problems, *Rev. Geophys.*, 27(2), 237–269, doi:[10.1029/RG027i002p00237](https://doi.org/10.1029/RG027i002p00237).
- WITHAM, C.S., 2005: Volcanic disasters and incidents: A new database.- *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 148(3-4):191-233. DOI: [10.1016/j.jvolgeores.2005.04.017](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.04.017)

ANEXO 4: MAPAS EN ALTA RESOLUCIÓN.

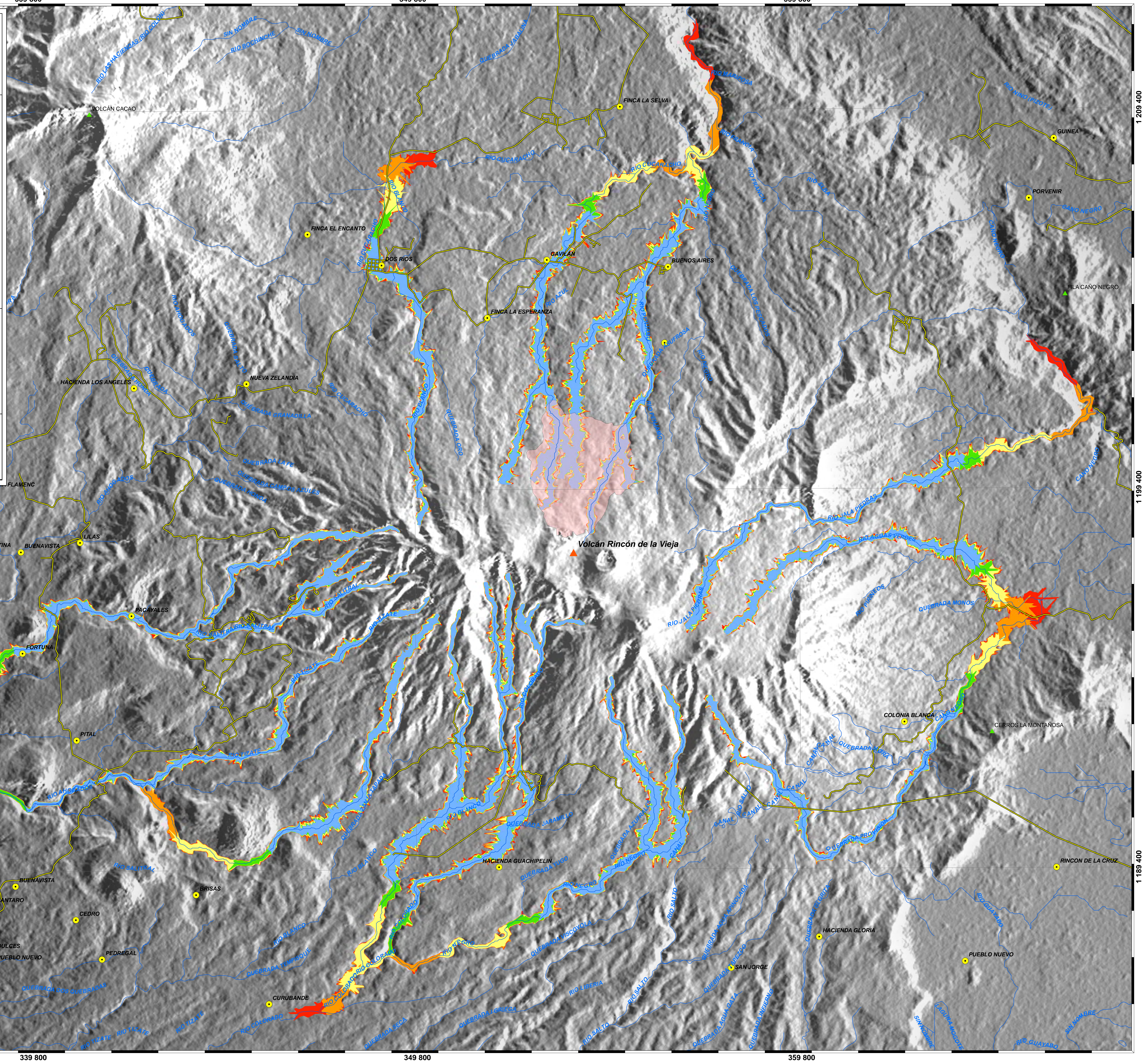
MODELO DE LAHARES PARA DIFERENTES VOLUMENES DE FLUJO

LEYENDA

- Fincas y centros de población
 - ▲ Volcán Rincón de la Vieja
 - Red vial
 - Red hidrográfica
 - Zona de amenaza proximal
- Volumen en m³**
- 800000
 - 1000000
 - 1500000
 - 2000000
 - 2500000



Sistemas de coordenadas WGS 1984 CRTM05
Cuadrícula cada 5000 m.
Modelo de elevación digital y modelo de sombras
© JAXA/METI 2017.
Resolución espacial de 12,5 m.



1 209 400

329 800

1 199 400

1 189 400

329 800

339 800

349 800

359 800

1 209 400

329 800

1 199 400

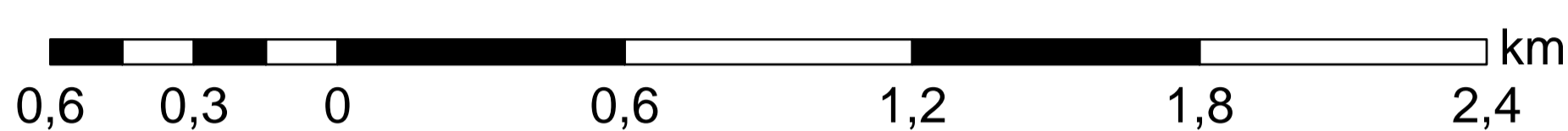
1 189 400

359 800

MODELO DE AFECTACIÓN POR LAHARES EL SECTOR NORTE DEL VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA

LEYENDA

- Fincas y centros de población
 - ▲ Volcán Rincón de la Vieja
 - Estructuras humanas
 - Red vial
 - Red hidrográfica
 - Zona de amenaza proximal
- | Volumen en m ³ | |
|---------------------------|---------|
| | 800000 |
| | 1000000 |
| | 1500000 |
| | 2000000 |
| | 2500000 |



Sistema de coordenadas WGS 1984 CRTM05
Cuadrícula cada 5000 m.

Modelo de elevación digital y modelo de sombras
© JAXA/METI 2017.
Resolución espacial de 12,5 m.

1 210 001

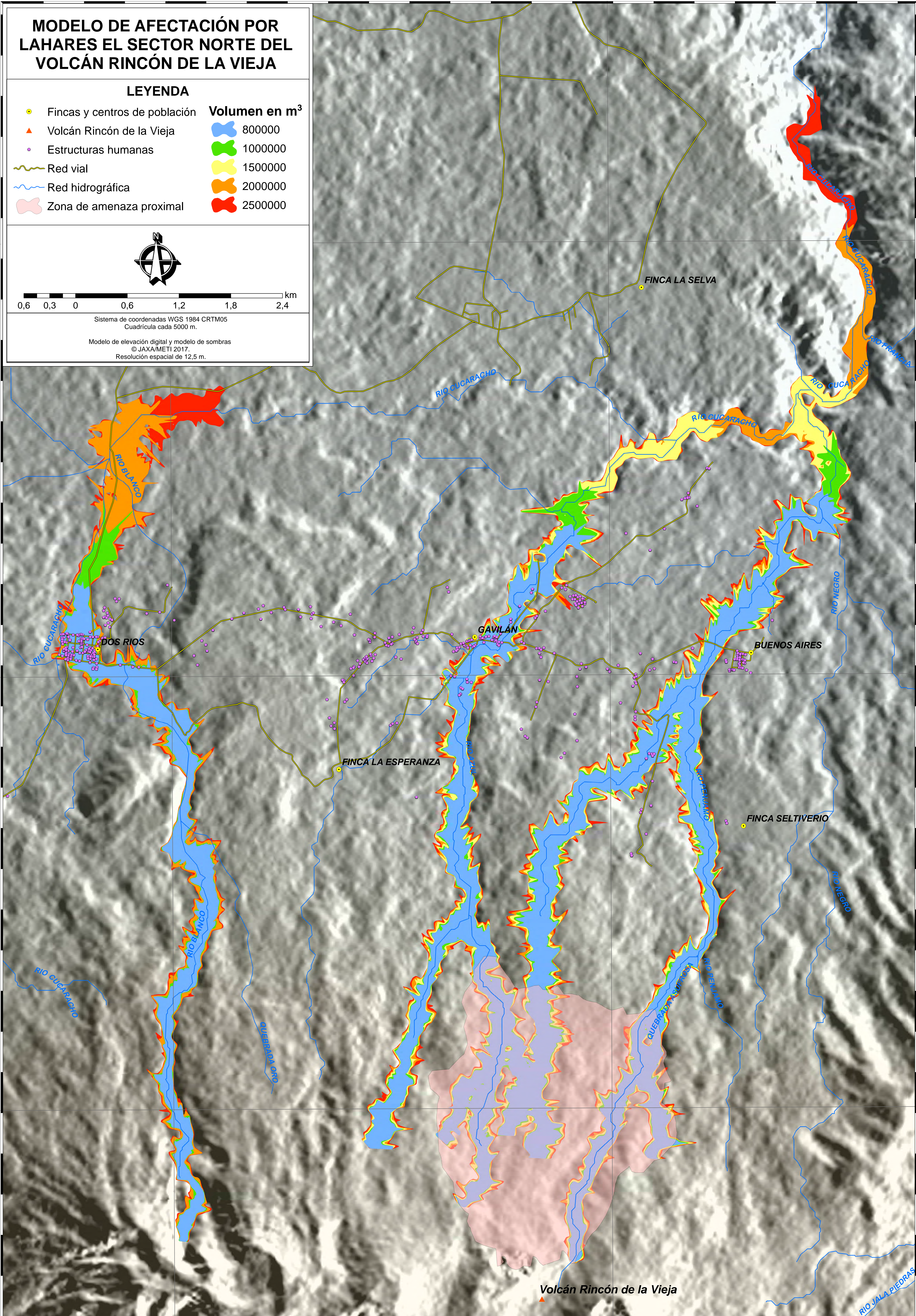
1 210 001

1 205 001

1 205 001

1 200 001

1 200 001



Volcán Rincón de la Vieja

RIO JALAPA PIEDRAS

RIO NEGRO

FINCA SELTIVERIO

BUENOS AIRES

GAVILÁN

FINCA LA ESPERANZA

DOS RIOS

FINCA LA SELVA

RIO CUCARACHO

RIO CUCARACHO

RIO CUCARACHO

RIO BLANCO

RIO CUCARACHO

RIO BLANCO

RIO CUCARACHO






QUEBRADA ORO

QUEBRADA ORO




RIO SELTIVERO

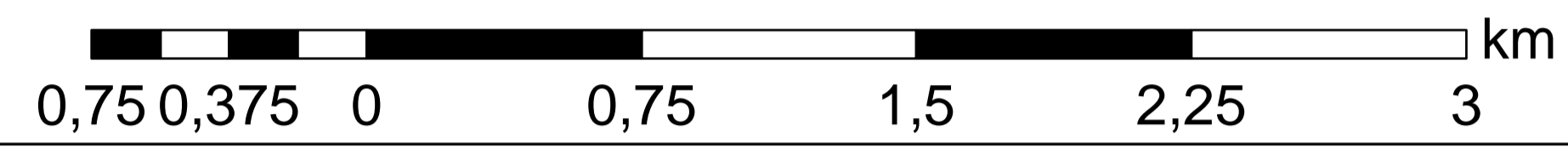
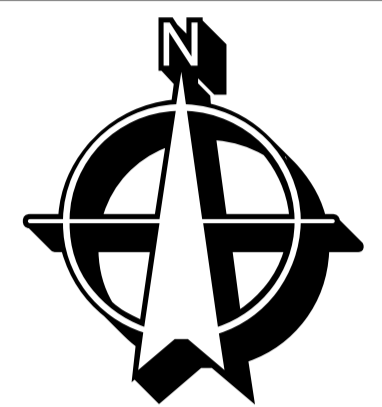
MODELO DE AFECTACIÓN POR LAHARES DE CON 95% DE CONFIABILIDAD PARA 2,1 X10⁶ m³

LEYENDA

-  Volcán Rincón de la Vieja
-  Fincas y centros de población
-  Estructuras humanas
-  Red vial
-  Red hidrográfica

Escenarios por volumen

-  Alcance máximo
-  Alcance medio
-  Alcance mínimo

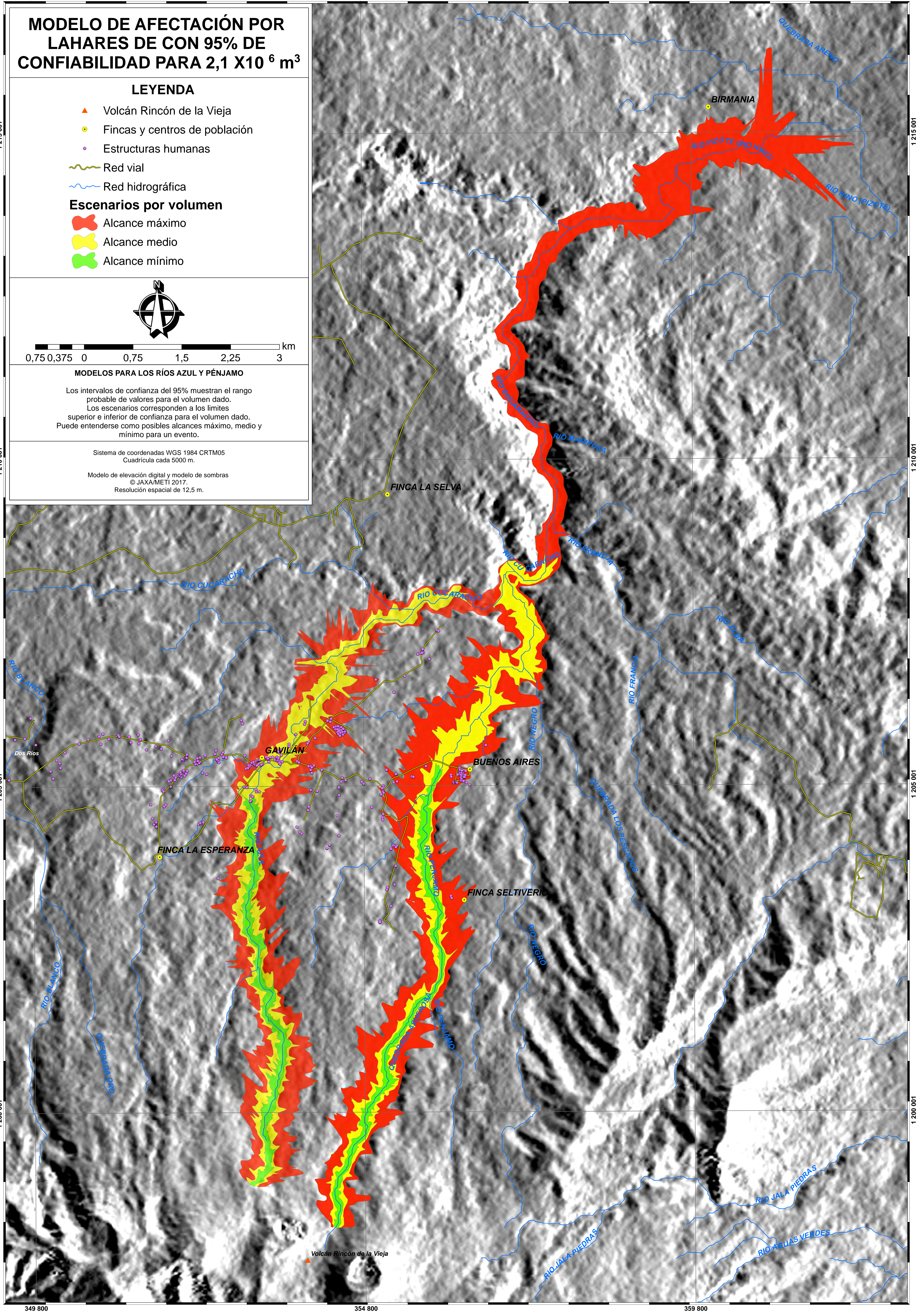


MODELOS PARA LOS RÍOS AZUL Y PÉNJAMO

Los intervalos de confianza del 95% muestran el rango probable de valores para el volumen dado.
 Los escenarios corresponden a los límites superior e inferior de confianza para el volumen dado.
 Puede entenderse como posibles alcances máximo, medio y mínimo para un evento.

Sistema de coordenadas WGS 1984 CRTM05
 Cuadrícula cada 5000 m.

Modelo de elevación digital y modelo de sombras
 © JAXA/METI 2017.
 Resolución espacial de 12,5 m.



1 215 001

1 210 001

1 205 001

1 200 001

1 215 001

1 210 001

1 205 001

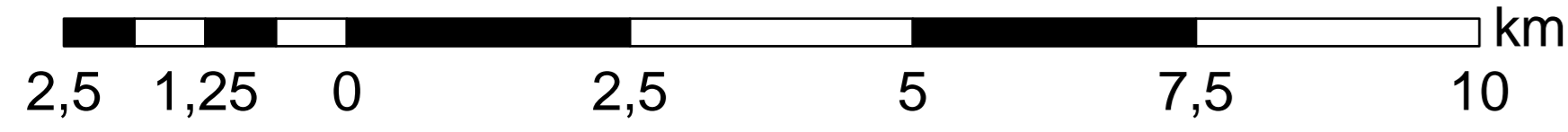
1 200 001

MODELO DE CAÍDA DE CENIZA

Escenario A1

LEYENDA

- Centros de población
- ▲ Volcán Rincón de la Vieja
- Red hidrográfica
- Espesor del depósito de ceniza
- 1 mm
- 3 mm

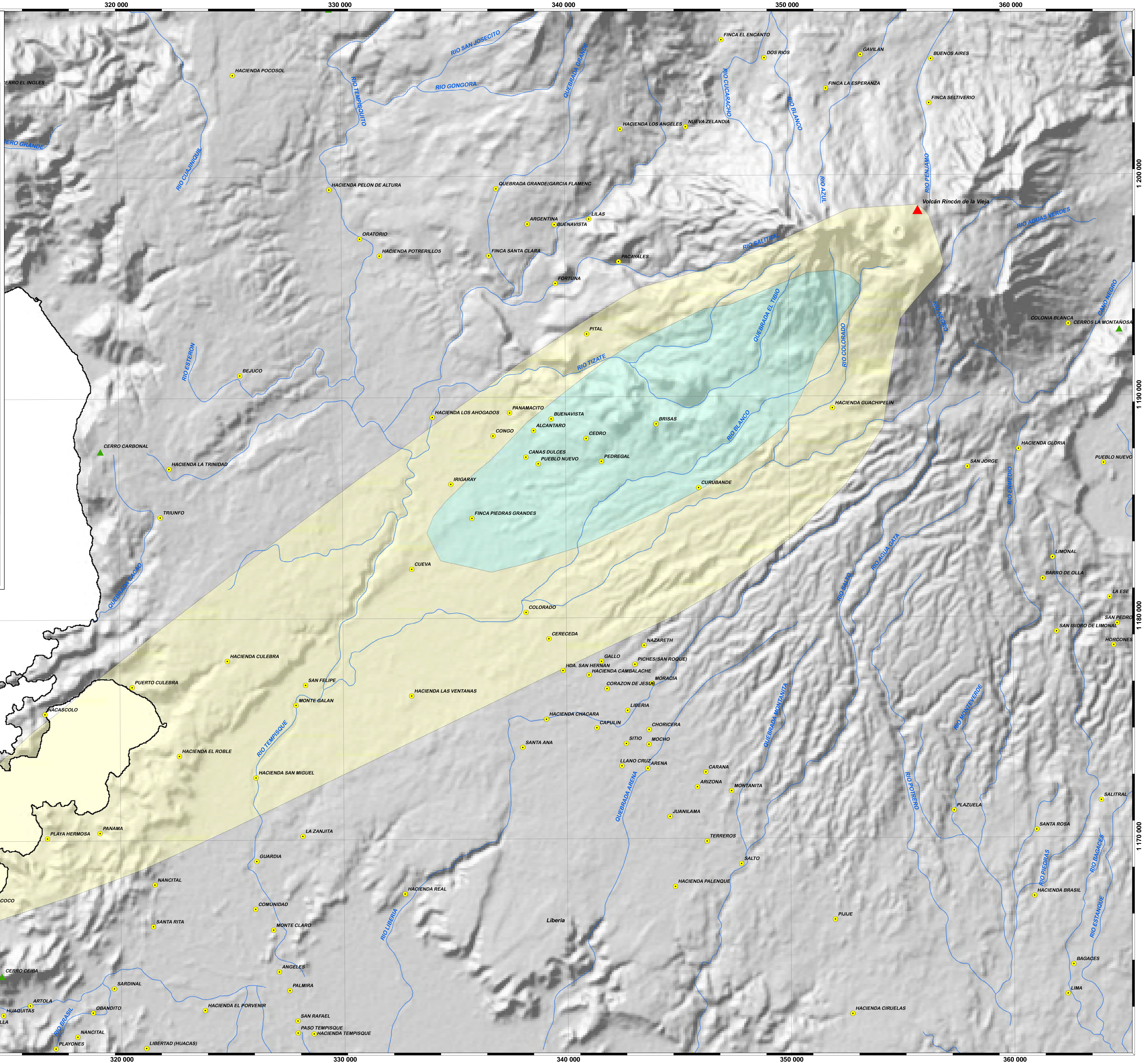


ESCENARIO A1

Simulación para una erupción con las siguientes características:
 Mes: Enero.
 Altura de la columna eruptiva: 7 km sobre el borde del cráter.
 Volumen de hasta 0,001 km³.
 Duración máxima de la erupción: 9 horas.
 Duración máxima de la simulación: 24 horas.

Sistema de coordenadas
 WGS 1984 CRTM05
 Cuadrícula cada 10 000 m.

Modelo de elevación digital y modelo de sombras
 © JAXA/METI 2017.
 Resolución espacial de 12,5 m.

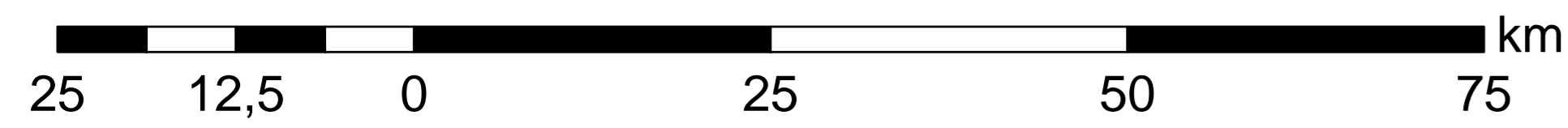


MODELO DE CAÍDA DE CENIZA

Escenario B1

LEYENDA

- ▲ Volcán Rincón de la Vieja
- Red hidrográfica
- Espesor del depósito de ceniza
- 1 mm
- 3 mm
- 10 mm
- 30 mm
- 100 mm

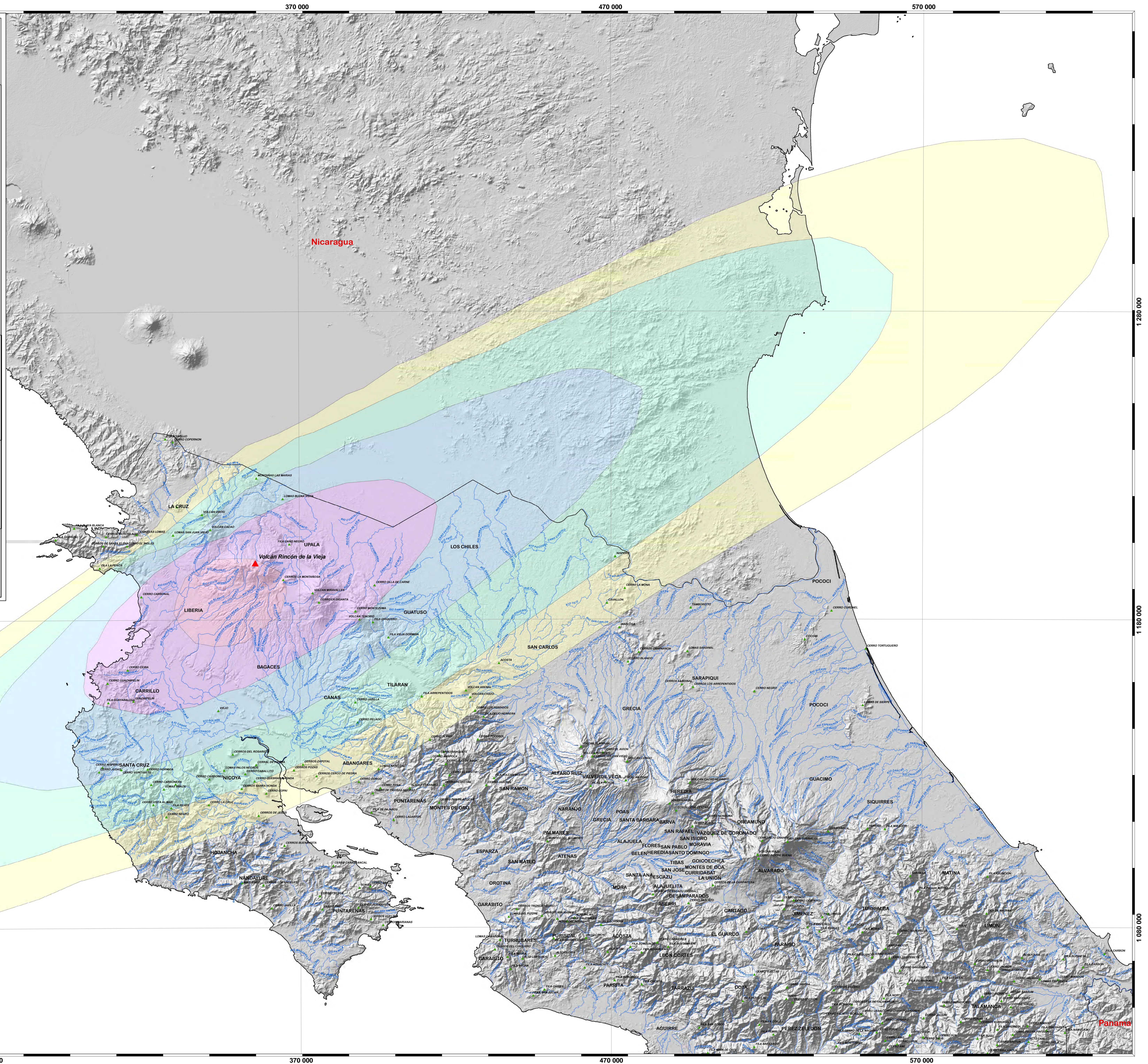


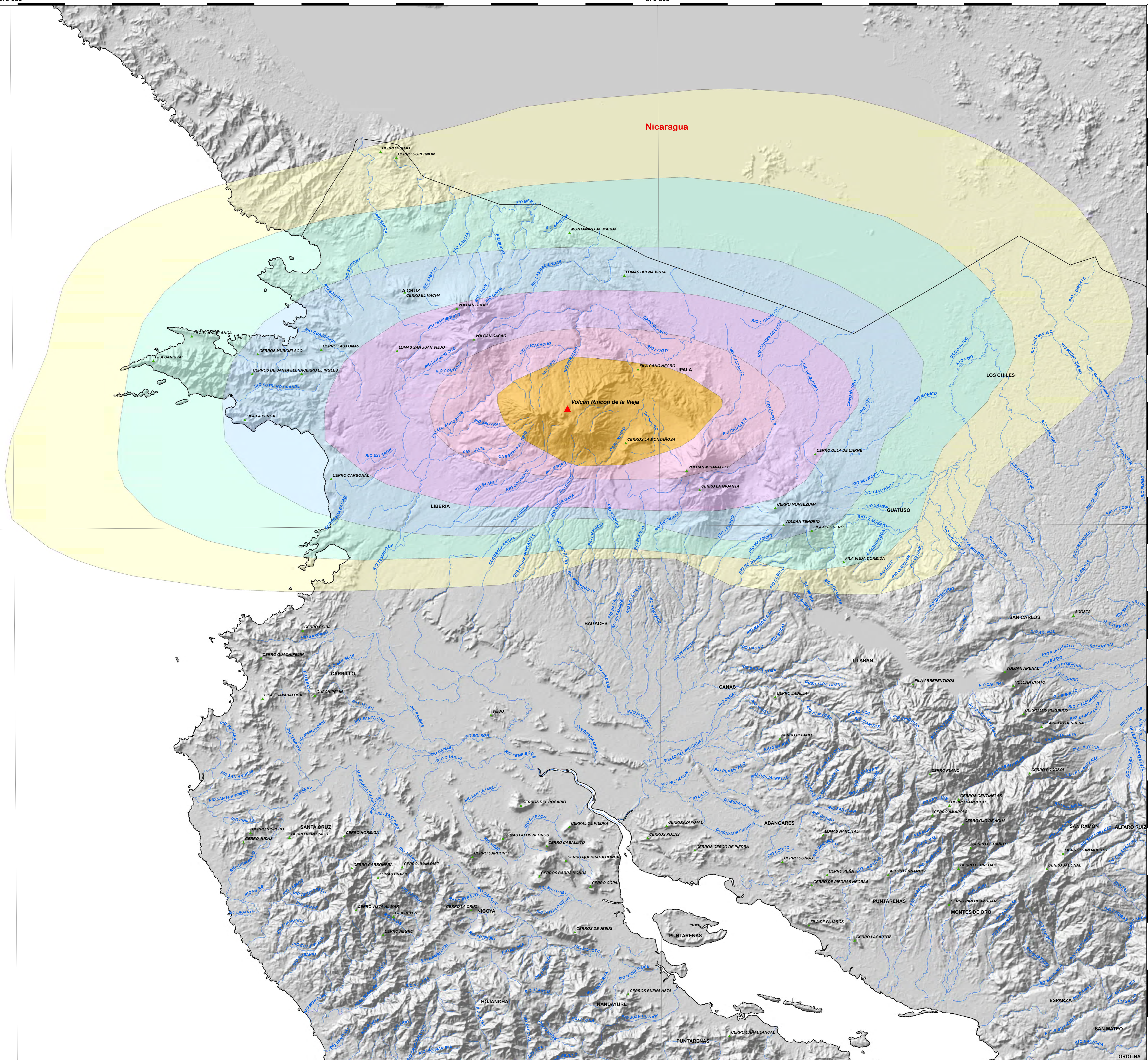
ESCENARIO B1

Simulación para una erupción con las siguientes características:
 Mes: Enero.
 Altura de la columna eruptiva: 16 km sobre el borde del cráter.
 Volumen de hasta 0,25 km³.
 Duración máxima de la erupción: 9 horas.
 Duración máxima de la simulación: 24 horas.

Sistema de coordenadas
 WGS 1984 CRTM05
 Cuadrícula cada 100 000 m.

Modelo de elevación digital y modelo de sombras
 © JAXA/METI 2017.
 Resolución espacial de 12,5 m.

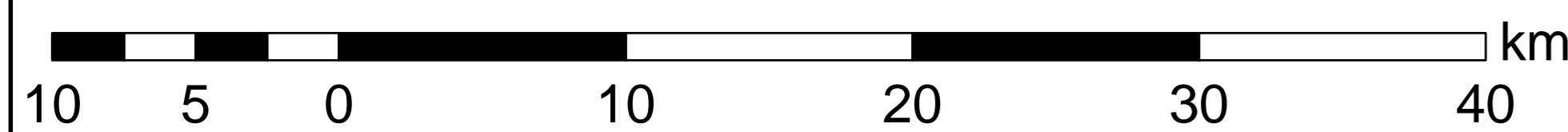




MODELO DE CAÍDA DE CENIZA Escenario B2

LEYENDA

- ▲ Volcán Rincón de la Vieja
- Red hidrográfica
- Espeor del depósito de ceniza
- 1 mm
- 3 mm
- 10 mm
- 30 mm
- 100 mm
- 300 mm

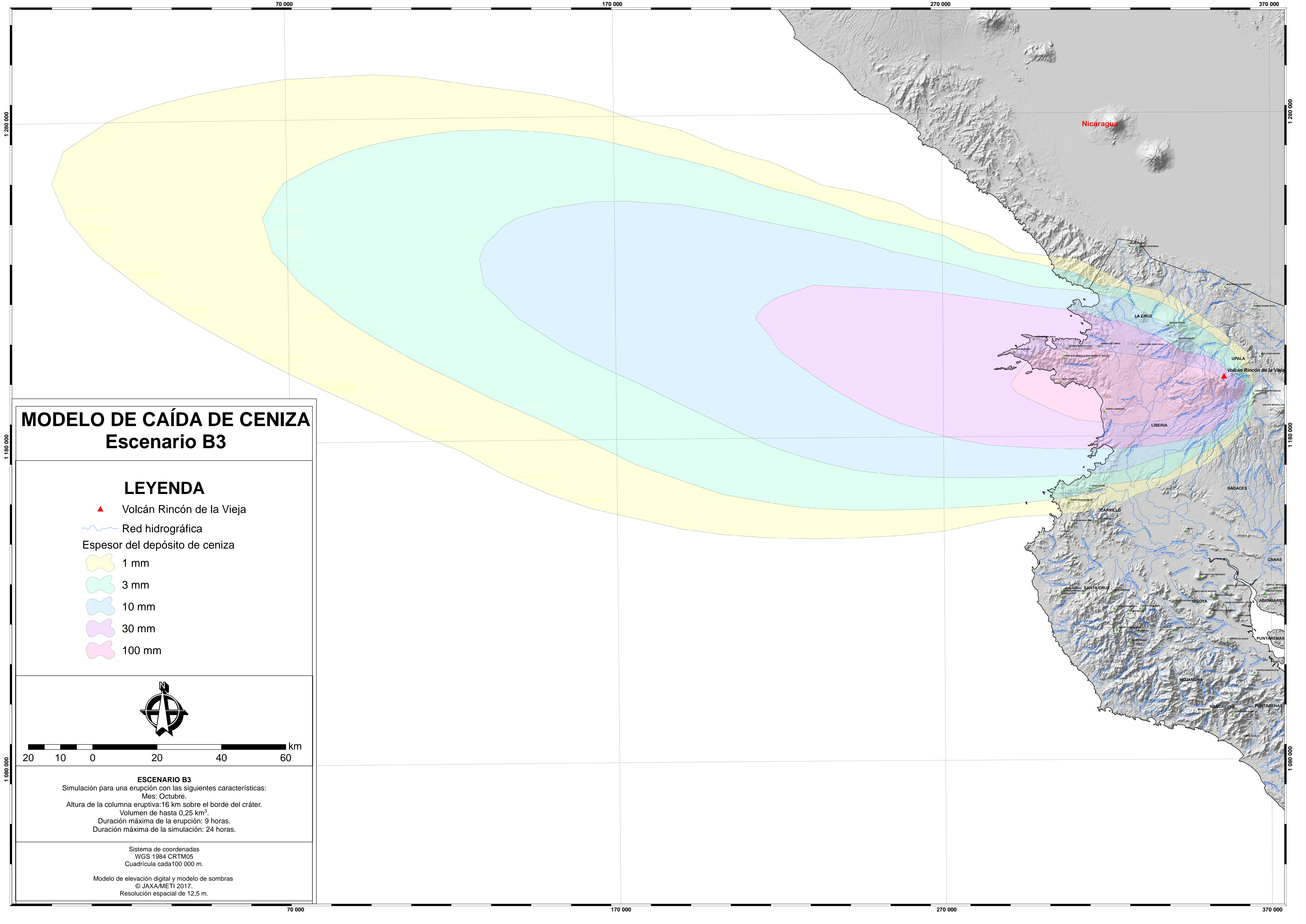


ESCENARIO B2

Simulación para una erupción con las siguientes características:
 Mes: Mayo.
 Altura de la columna eruptiva: 16 km sobre el borde del cráter.
 Volumen de hasta 0,25 km³.
 Duración máxima de la erupción: 9 horas.
 Duración máxima de la simulación: 24 horas.



Sistema de coordenadas
 WGS 1984 CRTM05
 Cuadrícula cada 100 000 m.

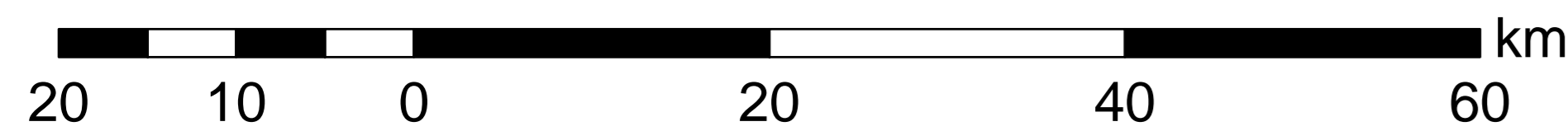
Modelo de elevación digital y modelo de sombras
 © JAXA/METI 2017.
 Resolución espacial de 12,5 m.



MODELO DE CAÍDA DE CENIZA Escenario B3

LEYENDA

-  Volcán Rincón de la Vieja
-  Red hidrográfica
- Espeor del depósito de ceniza
-  1 mm
-  3 mm
-  10 mm
-  30 mm
-  100 mm

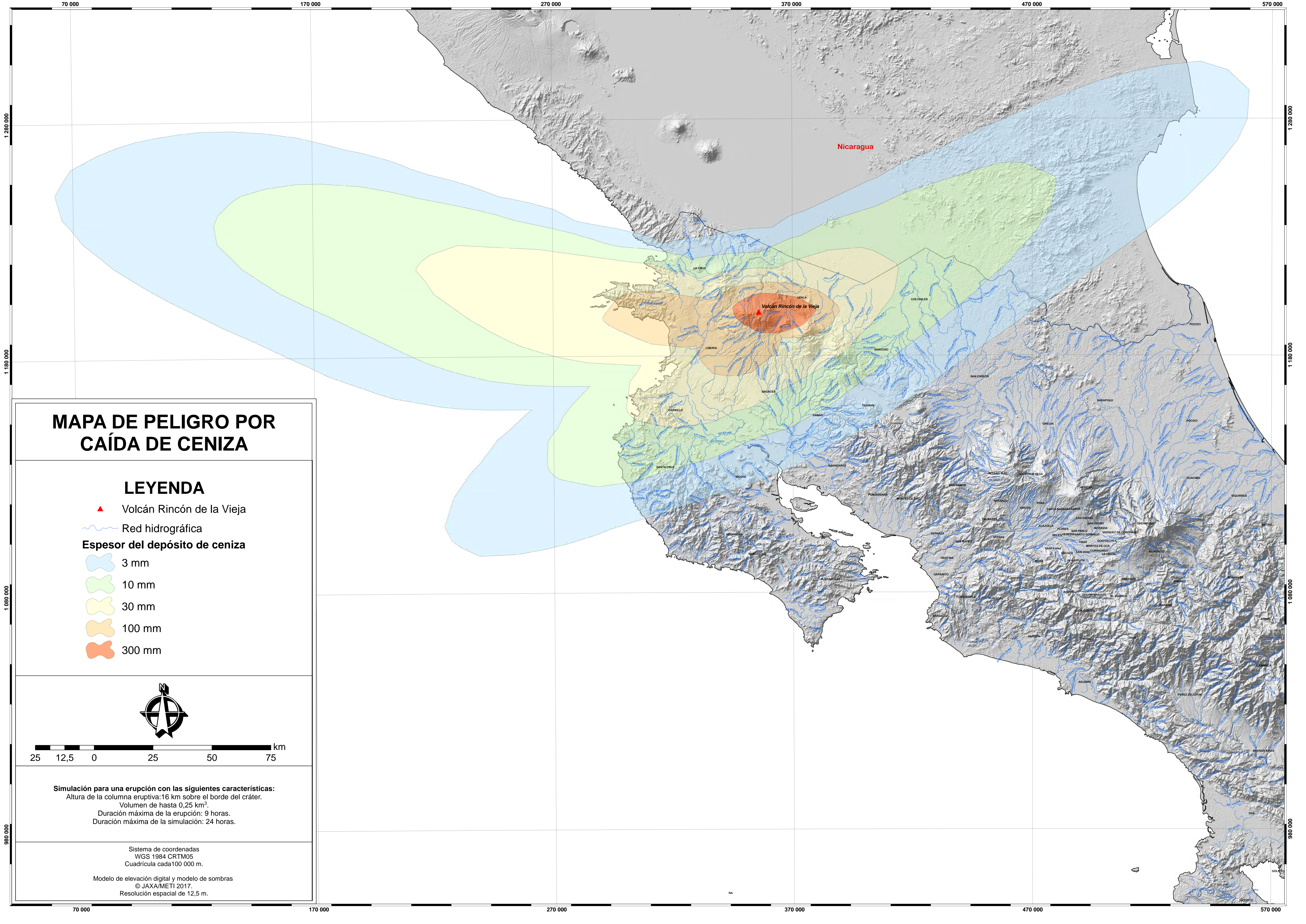


ESCENARIO B3

Simulación para una erupción con las siguientes características:
 Mes: Octubre.
 Altura de la columna eruptiva: 16 km sobre el borde del cráter.
 Volumen de hasta 0,25 km³.
 Duración máxima de la erupción: 9 horas.
 Duración máxima de la simulación: 24 horas.



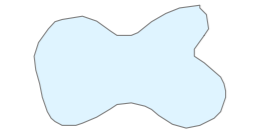

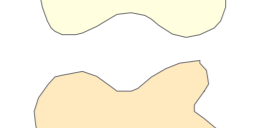
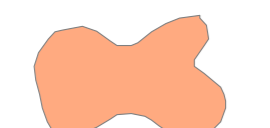
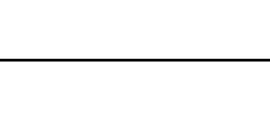
Sistema de coordenadas
 WGS 1984 CRTM05
 Cuadrícula cada 100 000 m.

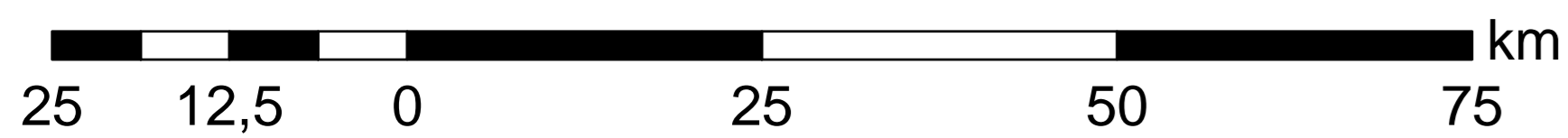
Modelo de elevación digital y modelo de sombras
 © JAXA/METI 2017.
 Resolución espacial de 12,5 m.



MAPA DE PELIGRO POR CAÍDA DE CENIZA

LEYENDA

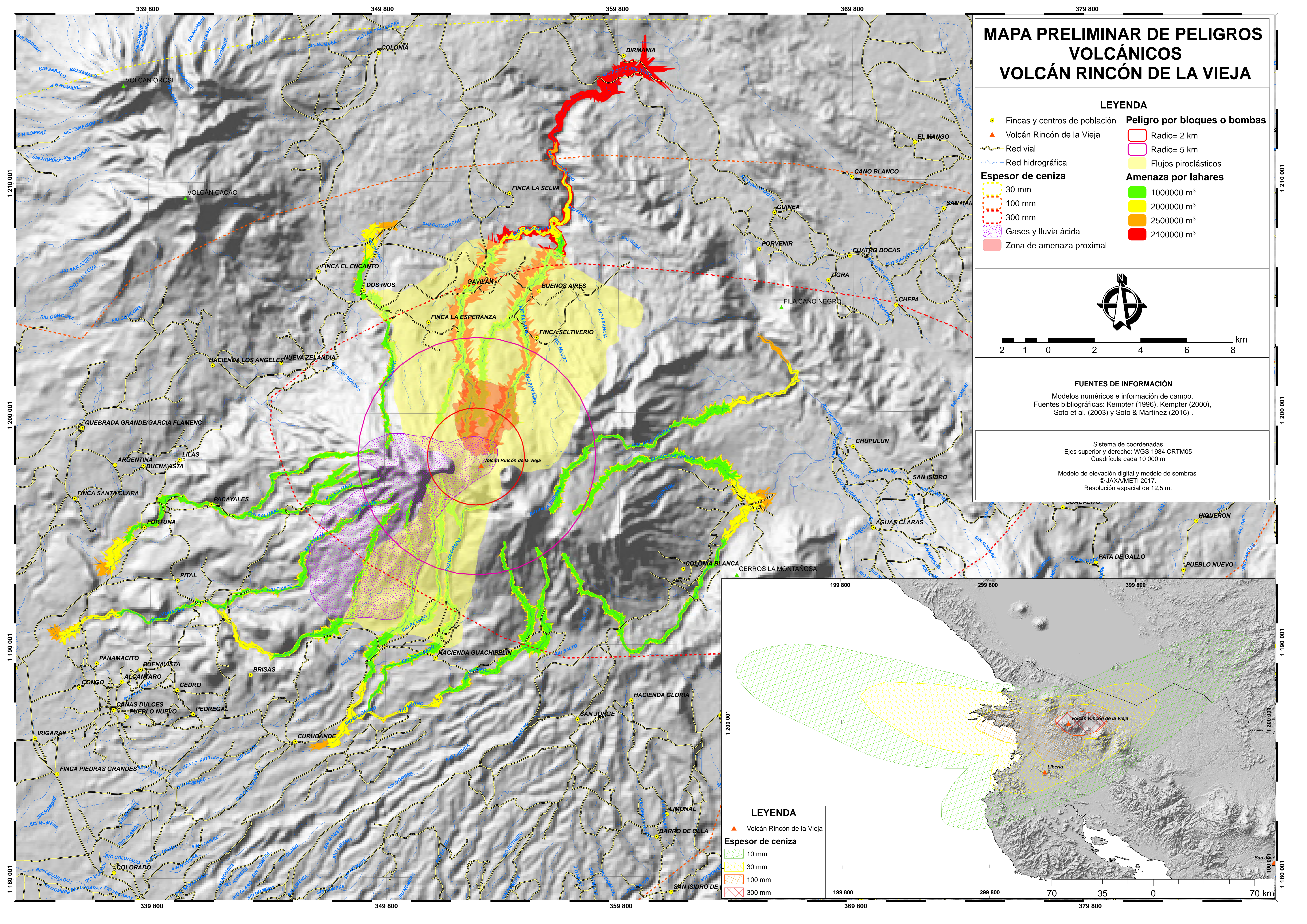
-  Volcán Rincón de la Vieja
-  Red hidrográfica
- Espesor del depósito de ceniza**
-  3 mm
-  10 mm
-  30 mm
-  100 mm
-  300 mm



Simulación para una erupción con las siguientes características:
 Altura de la columna eruptiva: 16 km sobre el borde del cráter.
 Volumen de hasta 0,25 km³.
 Duración máxima de la erupción: 9 horas.
 Duración máxima de la simulación: 24 horas.

Sistema de coordenadas
 WGS 1984 CRTM05
 Cuadrícula cada 100 000 m.

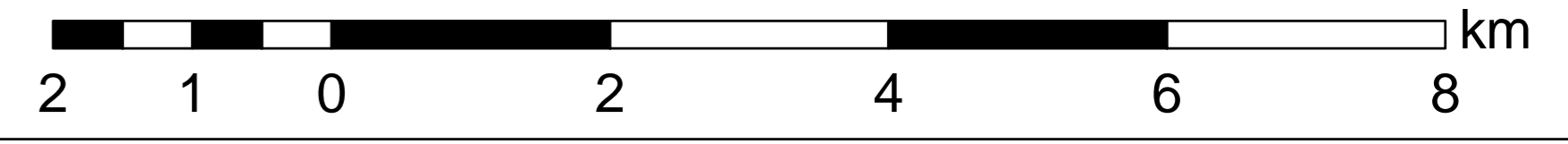
Modelo de elevación digital y modelo de sombras
 © JAXA/METI 2017.
 Resolución espacial de 12,5 m.



MAPA PRELIMINAR DE PELIGROS VOLCÁNICOS VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA

LEYENDA

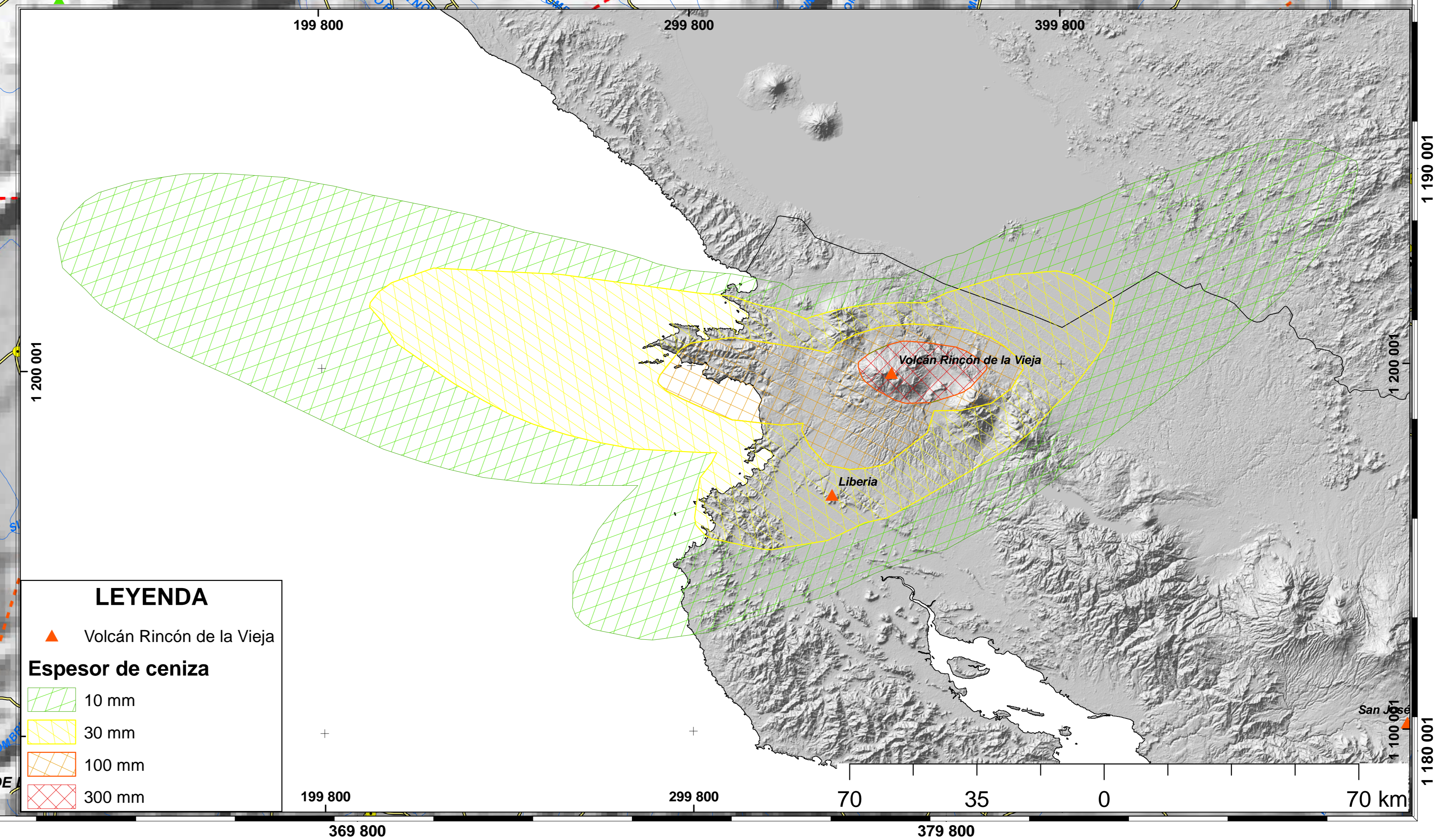
- Fincas y centros de población
- ▲ Volcán Rincón de la Vieja
- Red vial
- Red hidrográfica
- Esesor de ceniza**
- 30 mm
- 100 mm
- 300 mm
- ⊞ Gases y lluvia ácida
- Zona de amenaza proximal
- Peligro por bloques o bombas**
- Radio= 2 km
- Radio= 5 km
- Flujos piroclásticos
- Amenaza por lahares**
- 1000000 m³
- 2000000 m³
- 2500000 m³
- 2100000 m³



FUENTES DE INFORMACIÓN

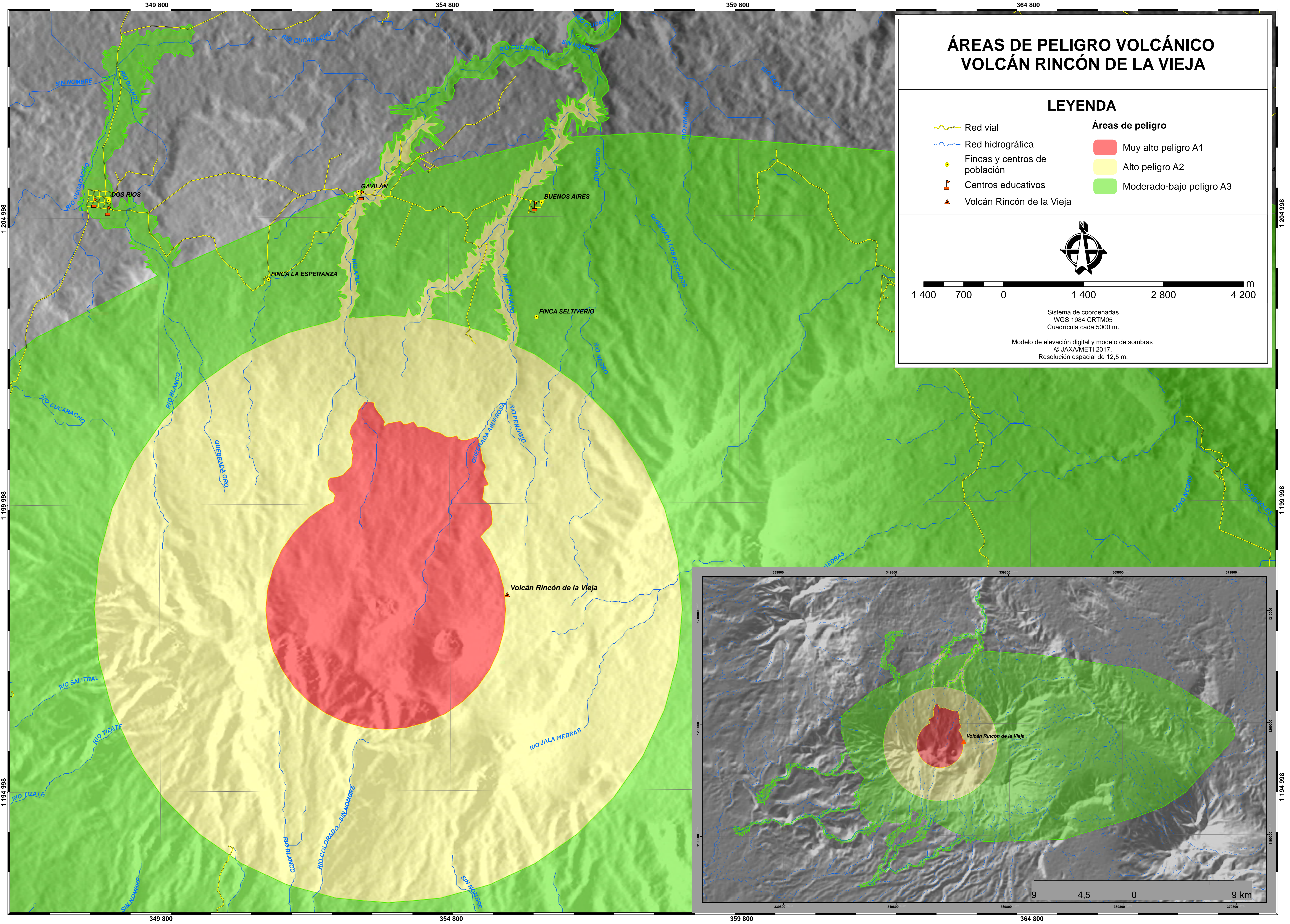
Modelos numéricos e información de campo.
Fuentes bibliográficas: Kempter (1996), Kempter (2000), Soto et al. (2003) y Soto & Martínez (2016).

Sistema de coordenadas
Ejes superior y derecho: WGS 1984 CRTM05
Cuadrícula cada 10 000 m
Modelo de elevación digital y modelo de sombras
© JAXA/METI 2017.
Resolución espacial de 12,5 m.



LEYENDA

- ▲ Volcán Rincón de la Vieja
- Esesor de ceniza**
- 10 mm
- 30 mm
- 100 mm
- 300 mm



1 204 998

1 199 998

1 194 998

1 204 998

1 199 998

1 194 998

349 800

354 800

359 800

364 800

349 800




354 800





359 800

364 800

MAPA SIMPLIFICADO DE ZONAS DE PELIGRO VOLCÁNICO Y RUTAS DE EVACUACIÓN SECTOR NORTE, VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA

LEYENDA

-  Red vial
-  Red hidrográfica
-  Edificios y viviendas
-  Centros educativos
-  Fincas y centros de población

- Áreas de peligro**
-  Muy alto peligro A1
 -  Alto peligro A2
 -  Moderado-bajo peligro A3
 -  Rutas de evacuación

- Sugerencias para la colocación de rotulos**
-  **1**
 -  **2**
 -  **3**



Sistema de coordenadas
WGS 1984 CRTM05
Cuadrícula cada 5000 m.
Modelo de elevación digital y modelo de sombras
© JAXA/METI 2017.
Resolución espacial de 12,5 m.

FINCA EL ENCANTO

DOS RIOS

GAVILÁN

BÜENOS AIRES

FINCA LA ESPERANZA

FINCA SELTIVERIO

Rio Quacranzo

Rio Burco

Rio Izul

Rio Penjamo

Quebrada Anufrada

2

3

2

1

2

1

2

ANEXO 5: FICHA FAMILIAR.

FICHA FAMILIAR		Es importante completar esta ficha con ayuda de todos los miembros de la familia y colocarla en un lugar visible dentro de la vivienda.			
GRUPO FAMILIAR					
Apellidos de la familia:				Jefe de familia:	
Nombre	Edad	Parentesco	Condición física	Padecimientos o medicamentos que consume	Tipo de sangre
Mascotas					
Nombre		Raza	Información adicional		
CONOCIENDO MI VIVIENDA					
¿Cuál es el río o quebrada más cercano?					
¿Cuál sería la principal amenaza en caso de erupción?					
¿Tiene la casa algún problema estructural?					
¿Cuál es la zona de seguridad dentro de la vivienda?					
CONOCIENDO MI COMUNIDAD					
¿Cuál es la zona de seguridad más cercana fuera de la vivienda?					
¿Dónde está el punto de encuentro familiar?					
PREPARACIÓN DEL KIT DE EMERGENCIAS					
¿Dónde se guarda el kit?					
¿Cuándo se revisó por última vez?			Responsable		
CONTACTOS EN CASO DE EMERGENCIA					
Nombre	Telefonos	Parentesco	Dirección		
TELÉFONO PARA EMERGENCIAS		9-1-1	Representante del comité local de emergencias		
			Nombre _____		
			Número _____		

ANEXO 6: BROCHURES INFORMATIVOS PARA LA POBLACIÓN.

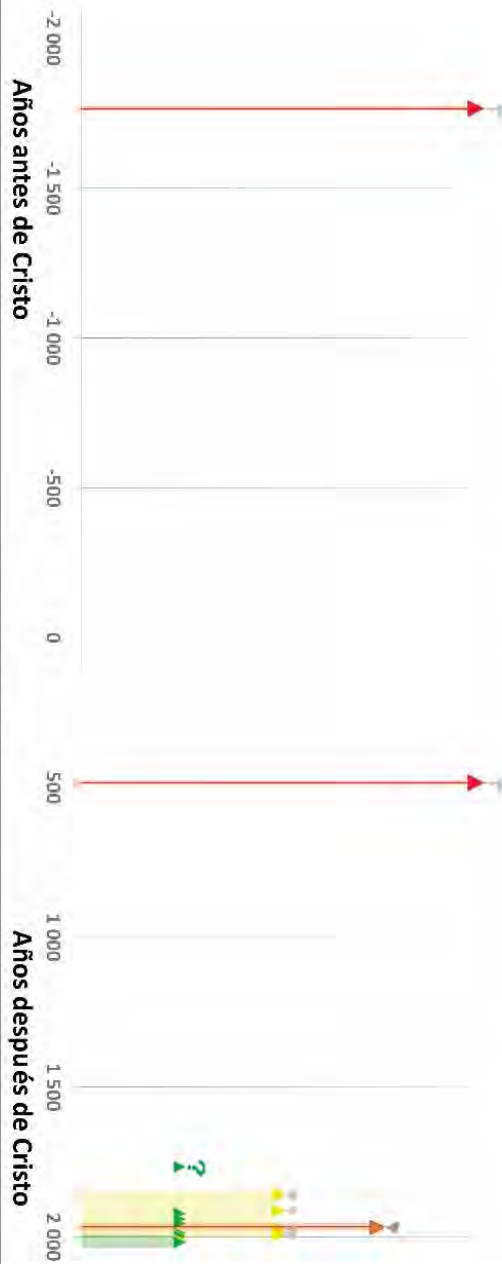
CONOZCA AL VOLCÁN RINCÓN DE LA VIEJA



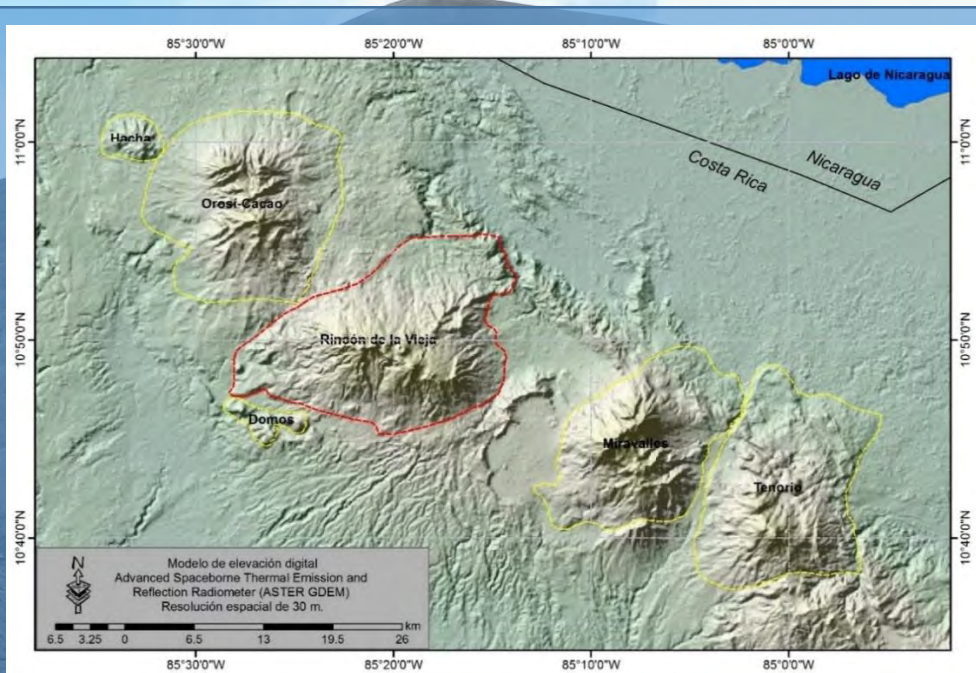
Es un estratovolcán complejo y el único históricamente activo en la Cordillera de Guanacaste ha presentado al menos una erupción subpliniana y flujos piroclásticos importantes durante los últimos ~3800 años.

El edificio volcánico presenta al menos nueve cráteres en su cima, los cuales han presentado actividad en distintos momentos de la historia del volcán. El cráter activo alberga una laguna caliente y acida. Su elevación es de 1916 m s.n.m.

Actividad conocida para el volcán Rincón de la Vieja durante los últimos 4000 años



▼ Freática ▼ Freatomagmática ▼ Vulcaniana ▼ Subpliniana / flujos piroclásticos



Estructuras volcánicas de la Cordillera de Guanacaste.

RESUMEN DE ACTIVIDAD

Durante los últimos 3800 años, el volcán ha tenido al menos tres periodos de actividad eruptiva bien marcados:

1. *Una erupción subpliniana caracterizada por depósitos de pómez dacítico, cuyos depósitos se extienden hasta unos 30 km de distancia al WNW del cráter activo.*
2. *Una erupción con generación de flujos piroclásticos de escoria canalizados hacia el flanco norte del volcán, estos flujos alcanzaron unos 10 km de distancia desde el cráter.*
3. *El periodo eruptivo histórico, dentro del cual se agrupa la actividad ocurrida y documentada desde el siglo XIX. La actividad durante este lapso se ha caracterizado por erupciones freatomagmáticas, siendo hasta el momento la más importante del periodo, la explosión vulcaniana ocurrida el 17 de enero de 1967.*

Año	Tipo de actividad
1766 A.C. ±130	Actividad eruptiva subpliniana
484 ±80-110	Flujos piroclásticos
1765	Referencia breve en archivos del Museo Naval de España (dudosa)
1854-1861	Explosiones de vapor y ceniza
1912	Erupción violenta con cenizas abundantes
1920	Columnas de gas
1922	Emisiones de vapor y columnas de ceniza
1940-1955	Emisiones de vapor y actividad fumarólica intensa
1966- 1970	Actividad fumarólica, explosiones moderadas entre octubre 1966 y enero 1967. Entre enero y abril de 1967 hubo erupciones violentas. Cerca de 40 cm de ceniza en la cima del volcán.
1971	Erupción con cenizas que produjeron lahares.
1983	Explosiones con proyección de bloques el 6 y 21. Pequeños lahares en el valle del río Pénjamo el 7 y 8.
1984	Violentas erupciones. Hubo lahares hacia el flanco norte que alcanzaron 10 a 15 km de distancia
1985-1986	Varias erupciones menores deducidas de los sismogramas. Algunos depósitos alrededor del volcán. Vegetación dañada.
1986	Explosión freática
1987	Explosión freática. Lahares a lo largo del río Pénjamo y quebrada Azufrosa
1991-1992	Sismos de baja frecuencia, pequeña explosión el día 7 de mayo a las 8:11 a.m., con una columna de cenizas y vapor que alcanzó 5 km de altura y originó los lahares hacia el norte. Del 8 al 11 de mayo hubo un decremento progresivo en la frecuencia de las explosiones.
1993	Burbujeos intensos en la laguna de color gris lodoso.
1994- 1995	Laguna de color turquesa con leves burbujeos, esta condición se mantiene hasta octubre.
1995	Los días 6, 7 y 8 se dieron al menos 25 erupciones con proyección balística, siendo mayor la del día 7 a la 1:34 p.m. Flujos de lodo sobre el cauce de los ríos Pénjamo y desagüe hasta la desembocadura en el río Cucaracho. Caída de ceniza hasta 30 km al oeste del volcán.
1998	Reportes visuales de la mayor explosión el 16 de febrero a las 5:14 a.m. Ésta generó un lahar tibio que se distribuyó por los ríos Pénjamo, Azul y Azufrosa.
2011-2018	Erupciones freáticas con columnas de hasta 1 km de altura sobre el cráter activo, ocasionalmente se da la caída de ceniza y generación de lahares importantes que causaron mortandad de peces

POTENCIAL ENERGÉTICO

La producción de electricidad a través del aprovechamiento de la energía geotérmica, eólica e hidroeléctrica, se potencia en las áreas volcánicas.

En el caso de la energía geotérmica, se aprovecha el calor generado por la cámara magmática, y que es almacenado por largos periodos de tiempo en el subsuelo. La energía eólica e hidroeléctrica se puede aprovechar gracias a las características de un relieve joven, con terrenos altos y escarpados.



Recordemos que el aprovechamiento adecuado y sostenible de los recursos disponibles, contribuye con el desarrollo comunal y sirve para el disfrute de todas las personas.

¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS DE VIVIR EN UNA ZONA VOLCÁNICA?



Los volcanes son parte de nuestro entorno. Si bien en ciertas condiciones pueden representar una fuente de peligro importante, con prevención y aplicando nuestros conocimientos, podemos aprovechar tranquilamente, de forma segura y por muchos años, la gran cantidad de elementos positivos y recursos que nos aportan.

ENTONCES, ¿CÓMO NOS BENEFICIA VIVIR EN UNA ZONA VOLCÁNICA?

SUELOS FÉRTILES

Las cenizas volcánicas que al ser depositadas y degradarse pasan a formar parte del suelo, tienen elementos químicos como silicio, aluminio, hierro, magnesio, calcio, sodio y potasio; varios de los cuales son nutrientes para las plantas. Es por esta razón, que los suelos en las laderas y faldas de los volcanes, por lo general son muy fértiles, beneficiando a productores locales y la economía de la zona.



BELLEZA ESCÉNICA

La dinámica geológica que caracteriza una zona volcánica, le otorga al paisaje elementos que no se observan tan comúnmente en áreas no volcánicas. Actividad eruptiva esporádica, cataratas asociadas con estructuras como fallas, pliegues y coladas de lava, lagunas y ríos coloridos, son solo algunos de los elementos que un volcán le aporta al paisaje simplemente con su presencia.



POTENCIAL TURÍSTICO

Aspectos como la belleza de los paisajes que rodean las zonas volcánicas, presencia de ríos, aguas termales, biodiversidad y deportes de montaña, son solo algunos de los que otorgan a estas áreas un potencial turístico inigualable, el cual, al ser aprovechado, puede marcar la diferencia para las comunidades.



RECURSOS MINERALES

La mayor parte de los recursos minerales no metálicos que aprovechamos para la construcción de nuestras viviendas, infraestructura vial y de servicios, y la piedra pómez, que se utiliza en las industrias cosmetológica, textil y de construcción, han sido depositados por actividad eruptiva ocurrida en el pasado. El lodo de spa, y el azufre utilizado entre otras cosas para tratamientos dermatológicos, radiología y producción de baterías, también se forman en zonas volcánicas.



¿QUÉ HACER ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE UNA ERUPCIÓN?

ANTES

- Preparar una ficha de información familiar.
- Contar con un plan de emergencias familiar y llevar a cabo simulacros regularmente.
- Establecer un lugar seguro como punto de encuentro familiar.
- Mantenerse informado a través del comité local de emergencias y los medios de comunicación oficiales.
- No crear, creer ni difundir rumores.
- Conocer el estado de nuestra vivienda y las zonas seguras dentro de esta, revisar regularmente el estado de los techos y vigas.
- Conocer nuestra comunidad, zonas de peligro, rutas de evacuación y zonas seguras.
- Contar con reservas de agua, alimentos, velas, foco, radio y baterías.
- Contar con cobertores para proteger los equipos electrónicos.
- Si se tienen mascotas o animales de granja, contar con reservas de comida y agua para ellos.
- Tener un botiquín de primeros auxilios que incluya cubre bocas.
- Tener a mano tratamientos médicos, para no olvidarlos en caso de evacuación.

DURANTE

- No ingresar a zonas restringidas .
- Obedecer en todo momento las indicaciones de las autoridades y equipos de primera respuesta.
- Evitar la exposición innecesaria a las cenizas.
- En caso de caída de ceniza, cubrir nariz y boca con un pañuelo húmedo o cubrir boca.
- No frotar los ojos ni la piel expuestos a la ceniza, evitar el uso de lentes de contacto para reducir la irritación.
- Cerrar puertas y ventanas, evitar salir de la casa a menos que se lo indiquen.
- No consumir alimentos en el exterior ni cubiertos por ceniza.
- No barrer la ceniza, limpiarla con agua.
- Evitar conducir vehículos, si es necesario hacerlo a baja velocidad y con los faros encendidos.
- Alejarse de los valles y cañones de los ríos, en caso de que un puente sea destruido, no intentar cruzar el río, buscar una zona elevada y esperar ayuda.
- Resguardar a los animales y asegurarse de que su comida y alimentos no se contaminen con ceniza ni lluvia ácida.
- Evitar que la ceniza se acumule en los techos de las viviendas.

DESPUÉS

- No crear, creer ni difundir rumores.
- Seguir las indicaciones de las autoridades y regresar a la vivienda solo cuando se indique que es seguro.
- Al regresar a la vivienda, limpiar la ceniza de techos, pisos y muebles, no barrerla.
- No consumir agua ni alimentos contaminados.
- Revisar el estado de la vivienda.
- Atender a los animales domésticos.
- Intentar el retorno a la normalidad, retomando las actividades cotidianas tanto como sea posible.

¿QUÉ PUEDE PASAR Y CÓMO EVITARLO?

Impacto de bloques o bombas que pueden causar desde golpes hasta lesiones fatales.

Manteniéndose fuera del radio de entre 2 y 5 km alrededor del cráter activo, zonas delimitadas como de moderado a alto peligro por impacto de proyectiles balísticos.

Nubes ardientes (flujos piroclásticos y surges): Pueden causar asfixia, quemaduras cutáneas o del tracto respiratorio, traumatismos, intoxicación por inhalación de gases.

Se puede evitar manteniéndose fuera de las zonas restringidas por ser consideradas de alto riesgo.

Irritación en los ojos y la piel debido a la ceniza, gases o lluvia ácida.

Permanecer bajo techo y no exponerse a la ceniza o lluvia ácida, lavar las zonas afectadas con agua limpia sin frotar.

Lahares: flujos hiperconcentrados movidos por la gravedad, que se originan en las laderas de un volcán, su velocidad alcanza hasta 50 km/h. La muerte es generalmente por asfixia o lesiones traumáticas y heridas infectadas.

Se puede evitar manteniéndose lejos de los cauces fluviales durante la actividad eruptiva, y evitando construir dentro de los valles de los ríos.

¿CUÁLES SON LOS EFECTOS DE LOS PRODUCTOS VOLCÁNICOS EN LA SALUD HUMANA?

CENIZAS: fragmentos de roca con diámetro inferior a 2 mm. Las cenizas pueden afectar a la mayoría de las personas y permanecer en el medio durante años o décadas.

Las partículas inferiores a 10 μm se clasifican como torácicas y respirables si son menores a 4 μm , estas se pueden respirar en la región alveolar del pulmón y son más tóxicas.

GASES VOLCÁNICOS

Dióxido de Carbono: Este gas no tiene olor. Las concentraciones de 10 a 30% producen inconsciencia entre 10 y 1 min respectivamente, pudiendo resultar en convulsiones y muerte por asfixia.

Dióxido de azufre: Produce irritación de los ojos y vías respiratorias.

Aerosoles ácidos: La conocida "vog" o niebla volcánica usualmente contiene SO_2 , HCl, HF y H_2S , puede ocasionar urticaria, irritar los ojos y afectar el sistema respiratorio.

Sulfuro de hidrógeno: La exposición aguda a concentraciones de 700-1000 ppm causa inconsciencia en minutos y muerte por envenenamiento

POSIBLES EFECTOS PSICOLÓGICOS

- Ansiedad generalizada.
- Depresión.
- Trastorno de estrés postraumático

**ANEXO 7: SEÑALES DE TRANSITO PARA SER COLOCADAS DENTRO DEL
ÁREA DE ESTUDIO.**



**RUTA DE EVACUACIÓN POR
ACTIVIDAD VOLCÁNICA**

**VOLCANO EVACUATION
ROUTE**



Figura A-1: Señal informativa. Ruta de evacuación.



Figura A-2: Señal informativa. Zona de seguridad.



Figura A-3: Señal preventiva. Zona de peligro en caso de lahares.

