

Caracterización biótica y abiótica del complejo volcánico Acatenango-Fuego.

Biotic and abiotic characterization of the Acatenango-Fuego volcanic complex.

Cómo citar el artículo

Méndez Soto, J. L. Caracterización biótica y abiótica del complejo volcánico Acatenango-Fuego. *Revista Naturaleza, Sociedad Y Ambiente*, 11(1). <https://doi.org/10.37533/cunsurori.v11i1.100>

José Luis Méndez Soto

Departamento de Ciencias Ambientales, Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (Iarna), Vicerrectoría de Investigación y Proyección, Universidad Rafael Landívar.

Recibido: 22 de marzo de 2024 / Aceptado: 24 de julio de 2024

Disponible en internet el 30 de septiembre 2024

*Autor para correspondencia, correo electrónico: jlms793@gmail.com

Resumen

Este estudio revisa la importancia geológica y ecológica del complejo volcánico Acatenango-Fuego, el cual forma parte del vulcanismo de subducción existente en el sur de Guatemala y constituye la zona de recarga hídrica de las cuencas de los ríos Achiguate y Coyolate. Según la metodología Holdridge, contiene cuatro zonas de vida determinadas por la altitud. La presencia de pasálidos y estrigiformes indica la salud del ecosistema.

A pesar de ser una región rica en biodiversidad, contiene al volcán de Fuego, uno de los más activos del mundo, cuyos flujos piroclásticos¹ representan una grave amenaza para las comunidades circundantes. Además, otras amenazas pueden alterar el paisaje y causar daños irreversibles a la biodiversidad local. Este documento concluye con un análisis de las amenazas asociadas al volcán de Fuego y su impacto en la biodiversidad, la recarga hídrica, las zonas de vida y los medios de vida de las comunidades.

Palabras clave: Estrigiformes, pasálidos, Holdridge, amenaza volcánica, cuencas hidrológicas.

Abstract

This study reviews the geological and ecological importance of the Acatenango-Fuego volcanic complex. This complex is part of the subduction volcanism in southern Guatemala and serves as the recharge zone for the Achiguate and Coyolate river basins. According to the Holdridge methodology, it contains four life zones determined by altitude. The presence of bess beetles and strigiforms indicates the health of the ecosystem.

Despite being a region rich in biodiversity, this biome holds the Fuego volcano, one of the most active in the world, whose pyroclastic flows pose a serious threat to surrounding communities. Additionally, other threats can alter the landscape and cause irreversible damage to local biodiversity. This document concludes with an analysis of the threats associated with the Fuego volcano and its impact on biodiversity, water recharge, life zones, and the livelihoods of communities.

Keywords: Strigiformes, bess beetles, Holdridge, volcanic threat, hydrological basins

¹ Flujos rápidos y destructivos de material volcánico caliente (gases, cenizas y fragmentos de roca) que descienden por las laderas del volcán durante una erupción explosiva.

2. INTRODUCCIÓN

El volcán de Fuego, al igual que el volcán Pacaya y el volcán Santiaguito, son parte de un sistema geológico que se origina en la zona de subducción ubicada en el Océano Pacífico y en paralelo al litoral sur del territorio nacional. Por lo tanto, los volcanes de Guatemala son la manifestación superficial de la actividad tectónica que ocurre en el territorio nacional y su estudio es necesario para comprender la geotectónica nacional y reducir el riesgo volcánico. No obstante, los volcanes son mucho más que un fenómeno geológico, forman parte de cuencas y constituyen zonas de vida que albergan aves, insectos y otros animales que habitan en las tierras altas. En este sentido, los volcanes son objeto de interés no solo para vulcanólogos y riesgólogos, sino también para biólogos, ecólogos y silvicultores.

El volcán de Fuego es el cono del complejo Acatenango-Fuego que mantiene actividad superficial. Las regiones altas de este complejo volcánico se caracterizan por ser áreas aisladas en las cuales las condiciones climáticas desempeñan un papel fundamental en la creación de especies endémicas. Debido a la altitud y la disposición geográfica, en el complejo volcánico se desarrollan microclimas únicos y variados, que generan un ambiente propicio para el desarrollo de flora y fauna exclusiva. La combinación de factores como la temperatura, la humedad y la exposición a los vientos crea nichos ecológicos específicos, lo cual favorece la evolución de especies que se adaptan de manera única a estas condiciones particulares. Esta singularidad biológica confiere a las regiones altas del complejo Acatenango-Fuego un valor especial en términos de conservación y estudio de la biodiversidad.

Además, la presencia de estrigiformes -depredadores nocturnos como búhos y lechuzas-, y de pasálidos -escarabajos de la familia Passalidae-, algunos de los cuales son endémicos en Guatemala, desempeñan un papel importante como indicadores de la salud del ecosistema.

Este documento presenta el complejo Acatenango-Fuego como un bioma que hay conservar y una amenaza que se debe vigilar. Comienza explicando el vulcanismo de subducción en Guatemala y algunos conceptos clave. Luego describe la morfología del complejo y los estilos eruptivos presentes en Guatemala, así como el historial eruptivo del volcán de Fuego. Posteriormente resalta la importancia de los estrigiformes y los pasálidos como indicadores de salud ambiental. A continuación se expone al complejo volcánico como la zona de recarga hídrica de las cuencas de los ríos Coyolate y Achiguate, y finaliza con un análisis de la peligrosidad del volcán de Fuego y sus zonas de riesgo.

3. VULCANISMO DE SUBDUCCIÓN

El territorio de Guatemala se encuentra en una región geológica compleja donde convergen tres placas tectónicas: Cocos, Caribe y Norteamérica (Insivumeh, 2020). Al subducirse la placa de Cocos, en la placa Caribe se produce una zona de subducción donde la placa subducida se funde parcialmente (De la Cruz-Reyna et al., 2010; Flores et al., 2020; IRIS, 2020), formando así el magma² que asciende a la superficie y crea la cordillera volcánica que se desarrolla al sur del territorio nacional y de forma paralela a la zona de subducción (Flores et al., 2020; Insivumeh, 2020). Por esta razón, a la actividad que se desarrolla en el territorio nacional

² Es roca fundida compuesta por minerales, gases disueltos y cristales. El magma al salir a la superficie se convierte en lava

se conoce como vulcanismo de límite de placas o vulcanismo de subducción (Grove, 2000).

La fusión parcial es un proceso en el cual los diferentes elementos que componen una roca sólida se funden en diferentes estados: algunos elementos se funden en estado líquido, otros materiales se disuelven en estado gaseoso, mientras que otros permanecen en un estado sólido cristalino que flota en el líquido fundido (Grove, 2000).

La cantidad de sílice en el magma incide significativamente en el aumento de la viscosidad y la disminución de la temperatura de solidificación y por tanto en el aumento de la explosividad de las erupciones, por el contrario, los magmas con poca sílice son menos viscosos, se solidifican a temperaturas más altas, lo cual incide en la disminución de la explosividad y la presencia de flujos de lava (Grove, 2000; Cassidy et al., 2018).

Los volátiles son gases disueltos, como vapor de agua, dióxido de carbono y dióxido de azufre (Delmelle and Stix, 2000; Grove, 2000; Cashman and Scheu, 2015; Cassidy et al., 2018). La cantidad de agua disuelta en el magma reduce significativamente la temperatura del solidus lo cual reduce la viscosidad y facilita la fusión parcial de la corteza oceánica. (Grove, 2000). Los volátiles hacen posible el transporte del magma a la superficie y regulan la actividad explosiva. Se puede decir que la actividad volcánica depende de la presencia de volátiles (Cassidy et al., 2018).

Por otra parte, la peligrosidad de los volcanes se vincula con un proceso físico que ocurre durante el ascenso del magma a la superfi-

cie, el cual se conoce como fragmentación magmática, la cual se manifiesta en la forma de explosiones volcánicas y erupciones explosivas (Delmelle and Stix, 2000; Cashman and Scheu, 2015; Cassidy et al., 2018). La fragmentación magmática produce tefra, la cual consiste en todo piroclasto que fue expulsado por el cráter durante una explosión y que posteriormente queda asentado en una superficie formando parte de un sedimento (Bonadonna et al., 2015). La tefra puede variar en tamaño y composición. Desde la ceniza volcánica constituida por fragmentos con un diámetro inferior a dos milímetros (Bonadonna et al., 2015). El lapilli que consiste en fragmentos entre 2 y 64 milímetros de diámetro (Bonadonna et al., 2015). Y balísticos, fragmentos con un diámetro superior a los 64 milímetros (Bonadonna et al., 2015).

En Guatemala hay 43 volcanes, 25 de los cuales están activos y tres de estos tienen actividad superficial (Roca et al., 2021). El volcán de Agua es ejemplo de un volcán activo que, a pesar de no tener registro histórico de actividad eruptiva, hay indicios de actividad interna y en cualquier momento podría dar señales de eventos premonitores de una erupción, dado que se encuentra catalogado como un volcán de alta peligrosidad (Roca et al., 2021).

Sobre los volcanes de Guatemala, es necesario mencionar que Katia y Maurice Krafft clasificaron a los volcanes en dos categorías, rojos y grises (Dosa, 2022). Los primeros no son tan peligrosos porque tienen actividad efusiva predominante y solo producen flujos de lava sin generar explosiones fuertes.

³ Es un umbral que indica la temperatura y presión a las que un material empieza a derretirse.

⁴ Fragmento de magma

En los segundos en cambio, la actividad predominante es explosiva y por lo tanto son volcanes muy peligrosos para las personas que habitan en su zona de peligro. Según esta clasificación, en Guatemala hay dos volcanes grises, el Santiaguito y el volcán de Fuego. Mientras que el volcán Pacaya tiene características que lo catalogan como un volcán rojo, pero también tiene características que lo hacen ser un volcán gris.

4. CLASIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD SUPERFICIAL

Existen dos tipos de actividad superficial, la actividad de fondo y la actividad paroxismal, es importante distinguir entre una y otra ya que es importante al momento de planificar los protocolos de emergencia ante una erupción volcánica.

La actividad de fondo es la que ocurre todos los días y es el recordatorio que el volcán mantiene actividad superficial (IGEPN and IRD, 2015). Dependiendo del estilo eruptivo del volcán, se manifiesta por la emisión de fumarolas, explosiones débiles a moderadas, derrames de lava y sonidos similares a los de una turbina de avión o a una locomotora de vapor. La actividad de fondo no supone un peligro para las comunidades ubicadas dentro de su zona de influencia.

Por otro lado, la actividad paroxismal, se manifiesta por un incremento de la actividad volcánica que ocurre de forma desproporcionada y violenta (Corona-Chávez, 2016). En el caso de un volcán rojo, la actividad efusiva provoca derrames de lava que pueden avanzar varios kilómetros. En el caso de un volcán gris, la actividad explosiva aumenta y se convierte en una amenaza para las comunidades ubicadas en su zona de peligro porque, además, es común que desciendan flujos

piroclásticos los cuales son la principal fuente de peligro dado que estos descienden a altas velocidades y a temperaturas superiores a los 300°C (Ferrés and Escobar, 2018).

5. MORFOLOGÍA DEL COMPLEJO VOLCÁNICO

El volcán de Fuego se ubica al sur de los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez, y al norte del departamento de Escuintla, constituye la parte sur del complejo volcánico Acatenango-Fuego y forma parte de la cordillera volcánica del Cuaternario que se extiende por el sur del territorio nacional y transcurre de forma paralela a la costa sur y a la zona de subducción (Insivumeh, 2012b). El volcán de Fuego es un estratovolcán compuesto, en otras palabras, es una estructura formada por la superposición de capas de sedimentos de materiales piroclásticos y depósitos de lava producto de la actividad volcánica superficial y, además, es parte de un complejo volcánico (Insivumeh, 2003; Hazlett and Lockwood, 2013).

El edificio volcánico alcanza una altitud de 3763 metros sobre el nivel del mar, tiene forma cónica con laderas muy pronunciadas que forman una característica curva exponencial en el horizonte (Basset, 1996; Insivumeh, 2012b; Ferrés and Escobar, 2018). Sin embargo, el flanco norte, tiene una escarpa debido al colapso de una estructura previa conocida como “La meseta”, que formó un filo en esa zona (Insivumeh, 2012b).

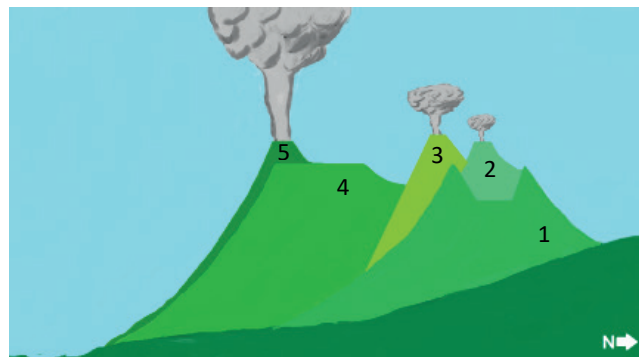
El volcán de Fuego tiene un nombre en kaqchikel, “Q’aq’xanul”. Esta palabra se deriva de las palabras Q’aq que significa fuego y Xanul que significa volcán, este nombre es antiguo y ha perdurado en el tiempo, entonces el nombre actual se deriva de esta denominación kaqchikel. También se le conoce

como Chi'gag, que significa "donde está el fuego" en kaqchikel (Ordoñez, 2021).

BP (Before Present) es la unidad de medida usada en geología, para señalar la cantidad de años anteriores al año de referencia: 1950. El volcán de Fuego es el componente más reciente del complejo Fuego-Acatenango. Tomando como referencia el volumen total de los sedimentos, se estima que su formación no puede ser anterior al año 8500 BP (Ferrés and Escobar, 2018).

En su tesis doctoral, Basset (1996) explica como el Acatenango Viejo apareció entre 84 000 y 43 000 BP, el cual fue un edificio volcánico con dimensiones muy similares al Acatenango actual, su periodo de actividad duró entre 14 000 y 48 000 años. Entre los años 70 000 y 43 000 BP ocurre un colapso que provocó un deslizamiento de tierra en el flanco suroeste que dejó escombros en la parte occidental. En este proceso el Acatenango Viejo perdió aproximadamente 600 metros de altitud y dejó una caldera en forma de herradura abierta hacia el suroeste (Basset, 1996). Se estima que en este mismo periodo se edifica el cono de Yepocapa, el cual dura hasta el año 20 000 BP cuando la actividad se desplaza al sur y emerge el Pico Central, el Acatenango actual (Basset, 1996). En el periodo 20 000 a 8500 años BP, al sur del volcán Acatenango, aparece el volcán de la Meseta. La actividad de la meseta termina con un colapso del flanco sureste aproximadamente en el año 8500 BP. En el periodo 8500 y 450 años BP, la actividad volcánica se desplaza más al sur y aparece el actual volcán de Fuego (Basset, 1996), ver figura 1.

Figura 1. Evolución del complejo Acatenango-Fuego



Nota: En la figura se muestra la evolución del complejo Acatenango-Fuego, el cual está constituido por cinco edificios volcánicos los cuales se enumeran según el orden en que emergieron: (1) Acatenango Viejo, (2) Yepocapa, (3) Pico Central, (4) La Meseta, (5) Fuego. Fuente: elaboración propia a partir de (Basset, 1996).

6. ESTILOS ERUPTIVOS

Existen varios estilos eruptivos a nivel mundial, los cuales se pueden ver en la figura 2. Sin embargo, a continuación, se explica de forma breve, únicamente los estilos eruptivos que están presentes en los tres volcanes de Guatemala que mantienen actividad superficial.

6.1 Erupción Estromboliana

Son pequeñas explosiones de magma en estado viscoso que aún tiene coalescencia, ocurren de forma discreta en periodos que van desde pocos minutos hasta pocas horas. Estas erupciones fragmentan el magma el cual se esparce como si fuera ceniza (Insivumeh, 2003).

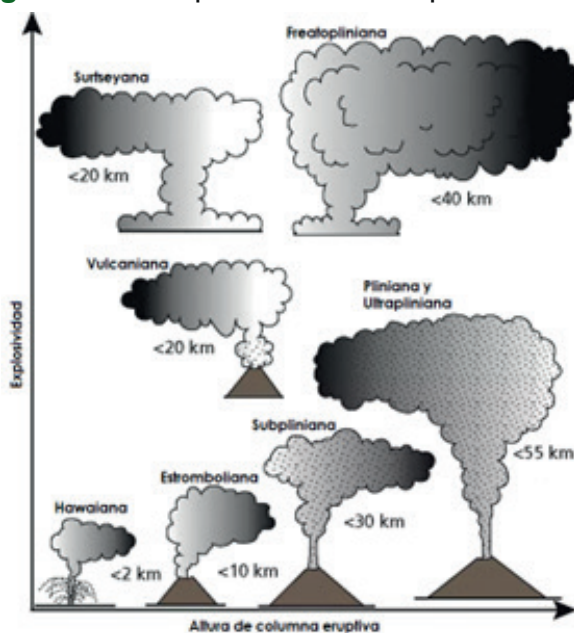
6.2 Erupción Vulcaniana

Son explosiones violentas, causadas por magma más viscoso, lo cual aumenta la acumulación de presión que lo fragmenta en partículas cuyo tamaño varía desde ceniza, bombas y bloques. Estas erupciones son más peligrosas porque durante un paroxismo emiten flujos piroclásticos, los cuales son letales para la vida vegetal, los animales y las poblaciones humanas (Insivumeh, 2003, 2012b).

6.3 Erupción Pliniana

Es una explosión violenta y sostenida que forma una columna eruptiva que llega a la estratosfera donde deja de ascender y se esparce de forma horizontal. Además de violentas, estas erupciones son destructivas ya que pueden destruir el edificio volcánico y emitir flujos piroclásticos de alta velocidad (Insivumeh, 2003).

Figura 2. Principales Estilos eruptivos.



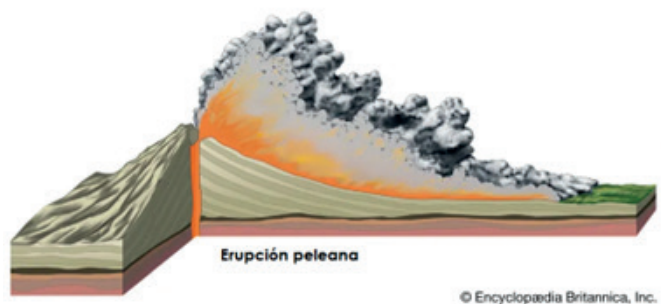
Nota: En la figura se pueden ver los principales estilos eruptivos clasificados según su explosividad y la altura de la columna eruptiva.

va. Fuente: traducción propia, (Cas and Wright, 1987) citado por (National Park Service, 2024).

6.4 Erupción Peleana

Este no es un estilo eruptivo común, sin embargo, está presente un uno de los volcanes de Guatemala (Insivumeh, 2012a). Como se puede ver en la figura 3, se caracteriza por explosiones violentas producidas por un magma muy viscoso que sella el conducto volcánico acumulando presión que rompe este tapón, durante la actividad paroxismal el material piroclástico en vez de ascender como una columna eruptiva desciende del cráter directamente como un flujo piroclástico (RSN UCR-ICE, 2019).

Figura 3. Estilo eruptivo peleano



Nota: En la figura se puede observar una ilustración de una erupción peleana típica. Fuente: Extraído de (Britannica, 2024).

7. ESTILO ERUPTIVO DEL VOLCÁN DE FUEGO

El estilo eruptivo del volcán Pacaya es estromboliano, mientras que el volcán Santiaguito tiene un estilo eruptivo peleano. Cuando se habla del volcán de Fuego, el tipo de actividad se clasifica como Estromboliano-Vulcaniano (Insivumeh, 2003, 2012b).

En algunos casos, las erupciones paroxismales del volcán de Fuego pueden ser de tipo subpliniano. Durante una erupción subpliniana, el volcán produce una columna eruptiva que es más baja que las erupciones plinianas, pero más alta que las erupciones vulcanianas. La erupción de 1974 del Volcán de Fuego es un ejemplo de este estilo eruptivo (Ferrés and Escobar, 2018).

8. HISTORIAL ERUPTIVO

Durante el registro histórico de la actividad eruptiva, el volcán de Fuego ha tenido aproximadamente 60 paroxismos mientras que el Acatenango ha tenido muy poca actividad. Su registro histórico corresponde al siglo XX en el periodo 1924-27 y una erupción en 1972, sin embargo, no se descarta una reactivación en el futuro (Basset, 1996; Vallance et al., 2001; Smithsonian Institution, 2013; Insivumeh, 2018). El historial eruptivo del volcán de fuego se puede resumir a cuatro periodos (Ferrés and Escobar, 2018), estos son:

- Periodo geológico prehistórico, 8500 BP – 426 BP (1524)
- Periodo histórico, 1524 – 1932
- Siglo XX, 1932 – 1998
- Ciclo eruptivo actual, 1999 – presente

8.1 Periodo geológico prehistórico

Mediante el análisis de los depósitos de material piroclástico, se pueden detectar erupciones prehistóricas principalmente en el flanco este, donde se sobreponen de forma alterna depósitos piroclásticos de erupciones de los volcanes Agua y Acatenango. La mayoría de estos depósitos se ubican por debajo de los depósitos conocidos como Tierra Blanca Joven, producto de la última

erupción pliniana de la Caldera de Ilopango, de impacto global, ocurrida en el año 536 DC (Chavez, Hernandez and Kopecky, 2012; Ferrés and Escobar, 2018). Esta capa de unos 15-20 cm se constituye como un marcador del registro geológico de la actividad prehistórica del complejo Acatenango-Fuego (Ferrés and Escobar, 2018), y de la actividad volcánica de la región.

Por medio del método de carbono 15, dado que los depósitos, aun ardientes carbonizaron la vegetación, existe registro de 10 erupciones las cuales ocurrieron aproximadamente en los años BP siguientes (Vallance et al., 2001; Escobar, 2013; Ferrés and Escobar, 2018):

- 5370 ± 50 BP
- 3560 ± 70 BP
- 1980 ± 40 BP
- 1330 ± 60 BP
- 1060 ± 40 BP
- 980 ± 50 BP
- 2170 ± 30 BP
- 1375 ± 45 BP
- 1070 ± 40 BP
- 1050 ± 70 BP

8.2 Periodo histórico 1524-1932

Es importante señalar que durante la época precolombina debió existir un registro histórico de la actividad eruptiva, sin embargo, es posible que este se perdió durante la época colonial. Por esta razón, la actividad eruptiva del volcán de Fuego que corresponde al periodo histórico, inicia en la primera mitad del siglo XVI con la llegada de los españoles a la región.

El Programa de Vulcanismo Global (GVP por sus siglas en inglés) del Smithsonian Institute cuenta con registros desde el 3530 BP ±75 hasta el año 2002 (Smithsonian Institution,

2013). En este catálogo se puede observar que el volcán de Fuego ha tenido periodos de relativa inactividad superficial, de los cuales destaca el que se extiende desde 1632 hasta 1679 que duró aproximadamente 46 años (Smithsonian Institution, 2013).

En 1799 hubo una erupción confirmada con índice VEI⁵=3 que establece el fin y el inicio de dos periodos largos de relativa inactividad (USGS, 2017). Destacan también los siguientes periodos los cuales sobrepasan los 20 años de relativa calma (Global Volcanism Program, 2021).

- 1587-1614
- 1632-1679
- 1773-1799
- 1799-1826
- 1829-1850
- 1896-1932

8.3 Siglo XX, 1932 – 1999

El 21 de enero de 1932 ocurrió una erupción subpliniana que deformó un cráter que tenía una pendiente más pronunciada y hacía que el edificio volcánico fuera 80 metros más alto (Insivumeh, 2012b; Ferrés and Escobar, 2018). Desde entonces, el cráter ha experimentado varios cambios debido a erupciones posteriores (Insivumeh, 2018). Tomando en cuenta que el promedio de duración de los periodos de reposo es de 5.87 años. Se contabilizan 20 periodos de relativa inactividad que exceden este promedio. El último periodo largo duró un poco más de 12 años y ocurrió entre los años 1987 y 1999.

Se puede considerar que desde el año 1999, existe un ciclo eruptivo de actividad superficial que se extiende hasta el presente – 2024-. Se considera que con la reactivación del volcán en mayo de 1999 inicia el tercer periodo histórico que se extiende hasta la actualidad.

8.4 Ciclo eruptivo actual ,1999 – presente

En mayo de 1999 ocurre una erupción con índice VEI=2 que emite ceniza que se dispersa por el flanco Este y afecta a San Juan Alotenango (Insivumeh, 2012b; Smithsonian Institution, 2013; USGS, 2017; Ferrés and Escobar, 2018). Esta erupción produce corrientes de flujos piroclásticos que fluyen dentro de las barrancas y provoca lahares que causan la muerte de una persona y daños a la infraestructura vial (Insivumeh, 2012b).

En este ciclo eruptivo actual, existe un periodo de actividad continua que consiste en explosiones leves o muy leves de tipo estromboliano que se alternan con explosiones de tipo vulcaniano y erupciones efusivas de corto recorrido y baja tasa de extrusión aproximadamente 0.1m³/s (Ferrés and Escobar, 2018). Desde 1999 hasta el año 2018 se registraron 41 erupciones explosivas de tipo vulcaniano que han durado desde algunas horas hasta algunos días, con índices VEI entre 1 y 3, que generaron columnas eruptivas que no exceden los 10 000 metros de altura (Insivumeh, 2012b; Ferrés and Escobar, 2018).

La erupción del 3 de junio de 2018, al igual que la erupción de octubre de 1974, tuvo un VEI=4. Sin embargo, el paroxismo de 1974 fue de una magnitud mayor que el de 2018 (Ferrés and Escobar, 2018). Es importante tomar en cuenta que en 2018, el desbordamiento de los flujos piroclásticos de las

⁵ El Índice de Explosividad Volcánica (VEI, por sus siglas en inglés) es una escala que mide la magnitud explosiva de las erupciones volcánicas en función de la cantidad de material expulsado y la altura alcanzada por la columna eruptiva. Va desde el nivel 0 (erupciones no explosivas) hasta el nivel 8 (erupciones colosales). Es una escala logarítmica que fue propuesta por primera vez por el vulcanólogo Chris Newhall en 1982 y se utiliza en todo el mundo para comparar y clasificar las erupciones volcánicas (USGS,2017)

barrancas se debió a que estas estaban llenas por los depósitos de las erupciones que ocurrieron en febrero y mayo del mismo año y este desbordamiento es el causante de la destrucción del hotel y la tragedia en San Miguel Los Lotes. En los años 2021 y 2022 ocurrieron erupciones intensas que produjeron flujos piroclásticos. Hay que considerar que en este periodo de actividad que inició en 1999, son más frecuentes las erupciones con índice VEI=3 que las VEI>=4,.

En el registro histórico del Instituto Smithsonian (Smithsonian Institution, 2013), destaca que en el período que abarca desde 1524 hasta el año 2002, es decir, 478 años, se registran 52 erupciones confirmadas con VEI>=2, de las cuales 35 son VEI=2, 9 VEI=3 y 8 VEI=4 las cuales han ocurrido en intervalos que van desde 20 hasta 135 años, sin embargo, las últimas tres erupciones registradas ocurrieron en un intervalo promedio de 46 años. Cabe mencionar que la erupción de 2018, aunque está fuera de estas estadísticas, se cataloga como VEI=4. En la tabla 1 se observan las erupciones VEI=4 del registro histórico.

En los 500 años de registro histórico hay más de 60 eventos eruptivos, los cuales han deformado el edificio volcánico y a lo largo del tiempo ha afectado a las comunidades en el territorio nacional, sin embargo, es la erupción del 3 de junio de 2018 el paroxismo que más costo humano ha significado para Guatemala, después de la erupción del Santa María en 1902 (Soto, 2002).

Tabla 1. Registro de erupciones explosivas del volcán de Fuego con VEI =4

Año	Intervalo de tiempo respecto a la erupción previa
2018	44
1974	42
1932	52
1880	23
1857	120
1737	20
1717	135
1581	-

Nota: En la tabla se puede ver que hay ocho erupciones con VEI=4, se puede ver que las últimas tres erupciones han ocurrido en un intervalo promedio de 46 años, sin embargo, el intervalo mínimo es de 20 años y el máximo de 135. Fuente: (Smithsonian Institution, 2013).

9. BIOMA ACATENANGO-FUEGO

El complejo volcánico Acatenango-Fuego es un bioma singular donde se entrelaza una diversidad de especies de animales, insectos y una amplia gama de plantas y árboles. Es importante tomar en cuenta que, según la altitud sobre el nivel del mar, corresponde una zona de vida diferente en la cual se observan cambios en el paisaje debido a los cambios en las condiciones climáticas que influyen, además, en las especies de flora y fauna existentes que se adaptan mejor a cada altitud.

Dadas las condiciones particulares que se dan en el complejo volcánico y al aislamiento relativo de algunas zonas de vida, hay especies endémicas que se desarrollaron en esta región adaptándose al ecosistema. Por lo tanto, la conservación del bioma se hace necesaria, primero, por la preservación de

los servicios ecosistémicos que este proporciona, y segundo, por la salvaguarda de la biodiversidad y la protección de las especies endémicas que se desarrollaron en el complejo volcánico. Además, el complejo Acatenango-Fuego es una región de captación de agua importante de las cuencas del río Achiguate y Coyolate.

9.1 Zonas de vida

En el complejo Acatenango-Fuego se definen, según la metodología Holdridge, cuatro zonas de vida categorizadas a partir de la altitud, estas son: bp-MT, bmh-MT, bh-MBT, bh-PMT; bp-MT es la más alta y bh-PMT la más baja.

9.1.1 Bosque pluvial montano tropical (bp-MT):

Presente en las cumbres del complejo Acatenango-Fuego y del volcán de Agua, y en las cumbres de la Sierra de las Minas (Pérez et al., 2018), véase la figura 4. En el territorio nacional se encuentra entre los 2148 y los 3962 m.s.n.m, en general, se puede encontrar a una altura promedio de 3028 m.s.n.m. Las precipitaciones anuales oscilan entre 1779 y 2573 mm anuales con un valor promedio de 2250 mm. Los extremos de temperatura se encuentran entre los 6.2 y 11.4 °C, con un valor promedio de 9.2 °C (Iarna, 2018d). Esta zona de vida presenta un alto excedente de agua ya que la relación entre la evapotranspiración potencial y las precipitaciones anuales es de 0.24, es decir, por cada milímetro de lluvia se evapotranspiran 0.24 mm.

Figura 4. Bosque pluvial montano tropical del Volcán Acatenango



Nota: En la imagen se muestra el bosque pluvial montano tropical (bp-MT) del volcán Acatenango. Foto tomada a aproximadamente 3600 msnm en el flanco sur del volcán. Fuente: elaboración propia.

Entre las especies vegetales comunes se encuentran tres endémicas de Guatemala: *Avies guatemalensis*, *Cavendishia guatemalensis* y *Quercus acatenangensis* (Iarna, 2018d), todas se encuentran en la región montañosa.

9.1.2 Bosque muy húmedo montano tropical (bmh-MT)

Se encuentra en un estrato inferior a la zona de vida bp-MT, entre las altitudes 1943 y 3950 m.s.n.m. con una altitud promedio de 2979 m.s.n.m (Pérez et al., 2018). Las precipitaciones anuales oscilan entre 1141 y 2056 mm, con un valor de 1486 mm, las temperaturas extremas, están comprendidas entre los 6.1 y 15.5 °C con una temperatura promedio de 10.4 °C (Iarna, 2018c). Esta zona de vida se constituye como excedentaria de agua ya que la relación entre la evapotranspiración potencial y la precipitación pluvial es de 0.41 % lo cual indica que por cada milímetro de lluvia se evapora 0.41 mm.

9.1.3 Bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT)

Esta zona de vida se encuentra en las altitudes bajas e intermedias del complejo Acate-nango-Fuego a nivel nacional se encuentra a una altitud promedio de 2150 m.s.n.m (Iarna, 2018a; Pérez et al., 2018), y su rango de altitud está comprendido entre los 1047 y los 3207 m.s.n.m. Las precipitaciones anuales se reportan entre 901 y 2000 mm, con una precipitación anual promedio de 1360 mm (Iarna, 2018a). La temperatura oscila entre los 10 los 18 °C con una temperatura promedio de 15.48 °C. La relación entre la evapotranspiración y la precipitación es de 0.67 lo cual favorece la existencia de excedentes de agua.

9.1.4 Bosque húmedo premontano tropical (bh-PMT)

En la base del volcán o la plataforma sobre la cual se asienta el edificio volcánico, se encuentra esta zona de vida ubicada entre las altitudes 126 y 2209 m.s.n.m, con una altura promedio de 1078 m.s.n.m (Iarna, 2018b; Pérez et al., 2018). Las precipitaciones anuales se registran entre 1000 y 3125 mm. Con un valor promedio de 1731 mm. Dado que la relación evapotranspiración potencial y la tasa de lluvias es de 0.72 % esta zona de vida se considera excedentaria de agua. Las temperaturas extremas son: 18 y 24 °C con una temperatura promedio de 21.27 °C.

9.2 Los escarabajos de madera del Acate-nango-Fuego

En Guatemala, hay 82 especies de Passalidae, de las cuales 66 especies se distribuyen en 32 bosques nubosos existentes en el territorio nacional (Schuster, Cano and Cardona, 2000), véase la figura 5. Los pasálidos son escarabajos que desarrollan todo su ciclo de

vida en el interior de troncos de madera en descomposición (Villalba-Fuentes et al., 2022). Algunas especies son endémicas de Guatemala y sirven como indicadores de la degradación o conservación del bosque (Schuster, Cano and Cardona, 2000). Dado que estos escarabajos hacen de la madera podrida su hábitat y su fuente de alimento se les conoce también como escarabajos de madera. Por lo tanto, la presencia de pasálidos en un ecosistema indica la salud del bosque y su capacidad para proporcionar hábitats adecuados para estas especies especializadas.

Figura 5. Ejemplar de pasálido de la especie *Ogyges laevisimus* del género *Ogyges*



Nota: Los pasálidos *Ogyges laevisimus* están presentes en los ecosistemas de los volcanes Agua y Acate-nango-Fuego donde son comunes a 2300-3000 msnm (Cano, 2017). Fuente: Foto extraída de (INaturalist, 2023).

La familia Passalidae es un grupo de coleópteros que se distribuye en la región intertropical y en las zonas templadas y húmedas del continente americano (Beza-Beza, Jiménez-Ferbans and McKenna, 2021; Schuster et al., 2023). Los pasálidos tienen una dependencia total de la disponibilidad de troncos podridos,

por lo que la degradación o transformación de los bosques puede afectar la abundancia de individuos y la riqueza de especies (Schuster, Cano and Cardona, 2000).

Los escarabajos de madera son endémicos, en otras palabras, están adaptados a las condiciones específicas de su entorno y han evolucionado de manera aislada (Schuster, Cano and Cardona, 2000), lo que los hace únicos y diferentes a los pasálidos encontrados en otras áreas. El complejo volcánico Acatenango-Fuego está catalogado como uno de los 32 bosques nubosos del territorio nacional. Cuenta con cinco especies de pasálidos, de los cuales dos son endémicas de Guatemala (Schuster, Cano and Cardona, 2000), lo cual hace que, para ser una región relativamente pequeña cuente con una pasálidofauna propia y exclusiva.

9.3 Los estrigiformes del complejo Acatenango-Fuego

Hay cinco especies de estrigiformes que residen en las tierras altas del complejo Acatenango-Fuego: *Aegolius ridgwayi* -mochuelo moreno-, ver figura 6, *Glaucidium cobanense* -mochuelo guatemalteco-, *Strix squamulata* -búho moteado-, *Tyto furcata* -lechuza común-, y *Bubo virginianus* -búho cornudo- (Eisermann and Avendaño, 2015). Estas especies, se consideran residentes reproductivos del complejo volcánico, en otras palabras, permanecen en la zona durante todo el año, no migran y establecen territorios de reproducción en un área determinada (Eisermann and Avendaño, 2015).

Figura 6. Ejemplar de mochuelo moreno *Aegolius ridgwayi*



Nota: En inglés UNSPOTTED SAW-WHET OWL, los mochuelos de la especie *Aegolius ridgwayi* son búhos pequeños que se localizan en las tierras altas del norte de América Central, por encima de 1000 msnm e incluso por encima de los 2000 msnm, en los claros o en los bordes de bosques nubosos (Eisermann and Avendaño, 2015; Fagan and Komar, 2016). Fuente: Foto extraída de (Calderón, 2018)

Es importante tomar en cuenta que los estrigiformes son carnívoros, son depredadores y se alimentan principalmente de presas vivas, como roedores, aves pequeñas, insectos y otros animales (Soto, 2018). Los estrigiformes desempeñan un papel importante en el control de las poblaciones de presas, como roedores y otros mamíferos pequeños (Ayala, 2018). Al regular las poblaciones de presas, los estrigiformes ayudan a mantener el equilibrio ecológico en un ecosistema determinado. Además, la presencia de estrigiformes en un ecosistema suele indicar la existencia de una red trófica estable. Su capacidad para adaptarse a diversos hábitats y su sensibilidad a los cambios en el entorno hacen que sean buenos indicadores de la salud general de las zonas de vida.

9.4 Una perspectiva de cuencas aplicada al Volcán de Fuego

El complejo volcánico Acatenango-Fuego es una zona de recarga hídrica importante que separa dos cuencas: la del Río Coyolate y la del Río Achiguate (Ferrés and Escobar, 2018), ambas pertenecen a la Vertiente del Pacífico y ambas cuencas limitan al Norte con la Vertiente del Caribe.

La cuenca del río Achiguate se extiende desde el Sur hasta el Este del complejo volcánico. Está constituida por las subcuencas de los ríos Guacalate, La Democracia y Barranca Ceniza (Lily et al., 2007); a su vez, la cuenca del río Coyolate está formada por las subcuencas de los ríos Xaya, Cristóbal y Pantaleón. La cuenca del río Coyolate se encuentra al Oeste y Suroeste del complejo volcánico, abarca una superficie de 1 616 km², que se extiende por los departamentos de Chimaltenango, Escuintla y Suchitepéquez (Gil, 2017).

Además, la orografía de estas cuencas está marcada por las barrancas del complejo volcánico, las cuales en la época lluviosa drenan las laderas de este (Ferrés and Escobar, 2018), tal es el caso de la Barranca Ceniza que está al sur del Volcán de Fuego y se une al río Achiguate, y de igual forma, la barranca Seca o Santa Teresa baja al oeste y se une al río Pantaleón.

10. ANÁLISIS DE LA AMENAZA VOLCÁNICA

El volcán de Fuego es uno de los volcanes más activos del mundo (Ferrés and Escobar, 2018), según el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Insivumeh, es el segundo volcán más peligroso de Guatemala, el volcán que ocupa el

primer lugar es el Santiaguito (Roca et al., 2021). La evaluación de los peligros volcánicos se basa en el análisis del historial eruptivo de un volcán para identificar los patrones de actividad superficial, por ejemplo: la frecuencia y el tipo de erupciones, la distribución y características de los depósitos volcánicos.

Al ser el volcán de Fuego un volcán gris, el peligro se manifiesta de varias formas: flujos piroclásticos, lluvia de ceniza, caída de balísticos, lahares y erupciones laterales, entre otros (Insivumeh, 2003). Entre estos, los lahares pueden ocurrir meses después de un paroxismo, además, las erupciones volcánicas pueden generar lluvias ácidas debido a la interacción entre la lluvia y los gases emitidos por el volcán (Montalvo and Escobar, 2016). A continuación, se desarrollará cada peligro de forma detallada.

10.1 Flujos piroclásticos -PDC-

También se conocen como corrientes de densidad piroclástica, una traducción literal del inglés de, pyroclastic density current -PDC-. Los PDC, ver la figura 7, se definen como mezclas turbulentas de gases y piroclastos⁶, que descienden por las laderas del volcán a altas velocidades, y con temperaturas superiores a los 300°C grados centígrados (Ferrés and Escobar, 2018). Son un fluido multicapa donde hay una nube menos densa que oculta una capa inferior mucho más densa que avanza horizontalmente adaptándose a las irregularidades del terreno (Sulpizio and Dellino, 2008).

Figura 7. Flujo piroclástico del Volcán de Fuego ocurrido el 1 de julio de 2015

⁶ Son el resultado de la fragmentación magmática, pueden incluir ceniza volcánica, bloques, balísticos, así como flujos piroclásticos



Nota: La figura muestra un flujo piroclástico que descendió del volcán de Fuego el 1 de julio de 2015. Fuente: Foto extraída de (SE-CONRED, 2015).

Los PDC son una amenaza a la vida humana, la fauna y la vegetación. Pueden descender por cualquier flanco y generalmente descienden encausados por las barrancas del volcán (Insivumeh, 2012b). Los PDC descienden durante los paroxismos (Sulpizio and Dellino, 2008; Ferrés and Escobar, 2018). Actualmente no es posible predecir el flanco del volcán por donde descenderá. Además, los depósitos de PDC de paroxismos previos pueden disminuir la profundidad de las barrancas, y si no hay lahares que los drenen, los flujos posteriores pueden salirse de las barrancas y avanzar sin control sobre zonas de cultivo, bosques y comunidades.

10.2 Lluvia de ceniza

La ceniza volcánica es magma pulverizado que se eleva por una pluma eruptiva y puede viajar en el aire por largas distancias, (Houghton, C.J.N. and Pyle, 2000; Bonadonna et al., 2015) Según PAHO (2023), la caída de ceniza puede causar daño pulmonar a los niños, a los ancianos y a personas que padecen de enfermedades respiratorias crónicas.

Puede obstruir corrientes de agua y por tanto puede afectar el suministro de energía eléctrica y contaminar las fuentes de agua. Por otro lado, una capa de ceniza de un pie cuadrado y una pulgada de grosor puede pesar diez libras, por tanto, el peso de la ceniza seca puede causar el colapso de los techos y, obstruir la red vial (PAHO, 2023). Dado que la zona de afectación es regional, es la que más daño puede causar no solo a una comunidad sino a toda la nación, dado que no solo afecta a las personas, también afecta a los animales, a la agricultura, y afecta también a la infraestructura pública.

10.3 Lahares

Según Pierson and Scott (1985) lahar es una palabra indonesia que se refiere a los flujos de lodo, agua, rocas y escombros que descienden a gran velocidad de las laderas de algunos volcanes. Los lahares son fluidos bifásicos, la fase líquida es agua y la fase sólida es principalmente sedimentos y rocas, además, también pueden estar presentes otros detritos arrastrados por el caudal. Asimismo, las concentraciones de sólidos pueden estar entre 20% y 60% de saturación (Pierson and Scott, 1985).

Los lahares ocurren cuando las masas de sedimentos saturados con agua ceden a la fuerza de gravedad y descienden por las pendientes pronunciadas del volcán (Pierson and Scott, 1985). La densidad de estos fluidos y la alta velocidad de flujo hace que los lahares tengan una alta presión dinámica (Serway et al., 2019), que puede causar una alta erosión en el suelo destruyendo así caminos y viviendas, además, pueden arrastrar rocas, árboles y otros objetos. (Serway et al., 2019)

10.4 Colapsos de ladera

Los deslizamientos de laderas son un peligro potencial no solo por sí mismos, sino porque puede desencadenar una erupción explosiva por descompresión, tal y como fue el caso de la erupción del Monte Santa Elena en 1980 (Waitt, 1989). Es a partir de esta erupción que las fisuras y posibles fallas en este tipo de edificios han sido objeto de estudio en más de 400 volcanes alrededor del mundo (Hacker, Biek and Rowley, 2014).

Los volcanes son edificios que se construyen por la superposición de sedimentos de erupciones pasadas. La configuración de su estructura, la deformación causada por su propio peso y los efectos de los cambios en la tectónica generan las condiciones propicias para un colapso (De Vries and Davies, 2015). Sin embargo, los volcanes son estructuras ordenadas y por tanto su deformación ocurre también de forma ordenada (De Vries and Davies, 2015; De Vries and Delcamp, 2015).

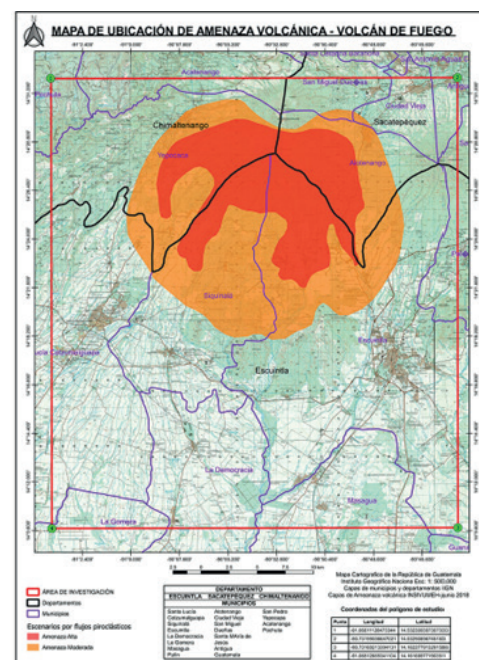
Tal y como ocurrió en el Monte Meager en 2010 en Canadá donde un colapso de ladera avanzó varios kilómetros cambiando el relieve de las cercanías (Roberti et al., 2017). Un colapso de ladera podría sepultar los poblados más cercanos al volcán de Fuego y en el peor de los casos podría desencadenar una erupción explosiva (Waitt, 1989). Durante la erupción del volcán de Fuego, ocurrida el 3 de junio de 2018, hubo un colapso parcial y se formó una fisura en el flanco sureste, sin embargo, estas fisuras se cierran debido a la misma actividad volcánica y es común que el volcán tenga fisuras (Álvarez, 2018).

10.5 Zonificación de la amenaza volcánica

En los mapas de amenaza volcánica del volcán de Fuego (Insivumeh, 2023), la zonificación de la amenaza abarca una parte de la costa sur y del altiplano guatemalteco. Dentro de esta área se encuentran varias comunidades (aldeas, caseríos y fincas) de los siguientes departamentos: Sacatepéquez, Escuintla y Chimaltenango.

Dado que la amenaza predominante del volcán de Fuego son los PDC, los mapas de amenaza de flujos piroclásticos, como el que se muestra en la figura 8, son importantes para la gestión de riesgo. Los PDC de la erupción del 3 de junio de 2018 que descendieron por la barranca Las Lajas alcanzaron una extensión de 12 kilómetros (Bartel, 2023), lo cual se puede considerar como un valor aberrante en comparación con las longitudes registradas en los PDC de erupciones anteriores. Por esta razón los mapas que delimitan las zonas de amenaza volcánica de los tres volcanes con actividad superficial de Guatemala deben contemplar cualquier evento extremo, o más bien improbable.

Figura 8. Mapa de zonificación de amenaza volcánica por descenso de flujos piroclásticos.



Nota: La figura muestra dos escenarios por flujos piroclásticos del volcán de Fuego, Se puede observar en el mapa de zonificación de amenaza que se mencionan 14 municipios. Fuente: (Insivumeh, 2023).

11. CONCLUSIONES

El vulcanismo de subducción en Guatemala se caracteriza por la existencia de volátiles, magmas con altos niveles de sílice y la presencia de piroclastos producto de la fragmentación magmática existente en las erupciones explosivas.

El complejo volcánico Acatenango-Fuego es el hogar de especies endémicas de árboles e insectos y es además el biotopo de otras especies que forman parte de la biodiversidad del territorio nacional. Las zonas de vida ubicadas en la parte alta del complejo volcánico se consideran como insulares dado que, en términos relativos, son unidades aisladas dadas las condiciones atmosféricas que se manifiestan a diferentes alturas.

Los servicios ecosistémicos que provee el complejo volcánico lo convierten en una fuente de recursos naturales que se deben manejar de forma sostenible y desde la perspectiva de la gestión de paisaje. No obstante, el uso insostenible de estos recursos naturales puede potenciar las amenazas de índole hidroclimática asociadas al volcán de Fuego.

Dado que desempeñan roles importantes en el ecosistema, la presencia de estrigiformes y pasálidos en el complejo volcánico sirven como indicador de la salud de la zona de vida y de la cadena trófica. Es importante reconocer que estas especies, son solo unos ejemplos de la biodiversidad existente en los volcanes, la cual es vasta y variada, y consis-

te en una amplia gama de especies vegetales, animales e insectos, que se han adaptado para vivir en las condiciones únicas que ofrecen las zonas de vida de los volcanes.

Los estrigiformes, al ocupar el nivel trófico de depredadores tope, reflejan la disponibilidad de presas y la estructura de la cadena alimentaria. Su presencia y diversidad indican la existencia de un equilibrio ecológico y una abundancia de recursos naturales en el ecosistema. Por otro lado, los pasálidos, al ser endémicos y sensibles a los cambios en su hábitat, se consideran indicadores de la degradación o conservación del bosque. Por lo tanto, comprender y evaluar la condición ambiental y la conservación de los bosques se vuelve fundamental al observar la presencia y el comportamiento de estas aves y escarabajos, que brindan información valiosa sobre la calidad y la vitalidad del ecosistema forestal.

Establecer un inventario de especies y poblaciones de flora y fauna en los edificios volcánicos, servirá como base para la gestión de proyectos de conservación y restauración de especies endémicas de cada volcán, lo cual ayudará a tener una mejor comprensión de la biodiversidad presente en los entornos volcánicos.

El complejo Acatenango-Fuego es una zona de recarga hídrica importante, dado que es el parteaguas de dos cuencas, la del río Achiguate y la del río Guacalate, por lo tanto, los servicios y los perjuicios asociados con estas zonas excedentarias de agua tienen impacto dentro del territorio abarcado por dichas cuencas.

Además de su relevancia como bioma y hábitat para diversas especies, es importante destacar que el volcán de Fuego es un volcán con actividad superficial y por tanto es una amenaza natural. Esta condición implica que no solo puede tener impactos en la biodiversidad local, sino que también representa un riesgo potencial para las comunidades asentadas en su zona de peligro.

Durante una erupción paroxismal, pueden ocurrir daños irreparables al componente biótico del complejo volcánico, incluso se pueden producir extinciones locales. Por otra parte, el desbordamiento de los PDC de las barrancas constituye la principal amenaza para las comunidades ubicadas en la zona de peligro, por lo tanto, los modelos de simulación de su descenso deben incluir escenarios que incluyan condiciones para el desbordamiento de las barrancas.

Un colapso de ladera puede cambiar la delimitación de las cuencas y afectar el suministro de los servicios ecosistémicos, por otra parte, puede precipitar una erupción de grado VEI ≥ 4 o en todo caso sepultar una comunidad. Considerando el colapso de los volcanes Acatenango Viejo y La Meseta, ambos componentes del complejo Acatenango-Fuego, y tomando en cuenta el colapso parcial del 3 de junio de 2018; este tipo de eventos constituyen una amenaza volcánica significativa.

El impacto potencial de un colapso de ladera se puede estimar a partir de la información que proporcionan los eventos pasados. Esta información se puede integrar en modelos de simulación de deformación y colapso de laderas del volcán. Los resultados de estos modelos sirven como base para la elaboración de mapas de zonificación de este tipo de amenaza.

Sobre la ocurrencia de lahares, el problema es más complejo dada la frecuencia con la que este tipo de eventos ocurre. Por esta razón es oportuno fortalecer la gobernabilidad y la gobernanza local para mejorar la infraestructura destinada al suministro de servicios públicos y la red vial. Esto incluye la construcción de caminos alternos menos proclives a sufrir daños durante un lahar.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, C. (2018) ¿Se formó un nuevo cráter en el Volcán de Fuego?, Prensa Libre. Available at: <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/erupcion-volcan-de-fuego-crater-lahar/> (Accessed: 15 August 2023).

Ayala, R. (2018) Variables sociales y ambientales a considerar para proponer usos de los Strigiformes en la comunidad de Cajones, Morelos, México. Universidad autónoma del estado de Morelos. Available at: <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/519/AAURRC08T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Bartel, B.A. (2023) 'Information use and decision-making for evacuation at Fuego volcano, Guatemala'. Michigan Technological University.

Basset, T.S. (1996) Histoire éruptive et évaluation des aléas du volcan Acatenango (Guatemala). Université de Genève. Available at: <https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:98295>.

Beza-Beza, C.F., Jiménez-Ferbans, L. and McKenna, D.D. (2021) 'Historical biogeography of New World passalid beetles (Co-

- leoptera, Passalidae) reveals Mesoamerican tropical forests as a centre of origin and taxonomic diversification', *Journal of Biogeography*, 48(8), pp. 2037–2052.
- Bonadonna, C. et al. (2015) 'Tephra Dispersal and Sedimentation', *The Encyclopedia of Volcanoes*, pp. 587–597. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385938-9.00033-x>.
- Britannica, E. (2024) Major types of volcanic eruptions, *Enciclopedia Britannica*. Available at: <https://www.britannica.com/science/volcano/Six-types-of-eruptions#/media/1/632130/3256> (Accessed: 2 February 2024).
- Calderón, M. (2018) *Aegolius ridgwayi*, Commons.wikimedia.org. Available at: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aegolius_ridgwayi.jpg#metadata (Accessed: 5 February 2024).
- Cano, E.B. (2017) 'Redescripción del género *Ogyges* Kaup (Coleoptera: Passalidae) con una lista comentada de los tipos primarios', *Insecta mundi*, pp. 1–38.
- Cas, R.A.F. and Wright, J. V (1987) 'Volcanic Successions: Modern and Ancient: A Geological Approach to Processes, Products and Successions. xviii'. Unwin Hyman Inc., Allen and Unwin Ltd., London (+ 546 p).
- Cashman, K. V. and Scheu, B. (2015) 'Magmatic Fragmentation', *The Encyclopedia of Volcanoes*, pp. 459–471. Available at: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385938-9.00025-0>.
- Cassidy, M. et al. (2018) 'Controls on explosive-effusive volcanic eruption styles', *Nature Communications*, 9(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05293-3>.
- CHAVEZ, J.A., HERNANDEZ, W. and KOPECKY, L. (2012) 'Problemática y conocimiento actual de Las tefras tierra blanca joven en el área Metropolitana de San Salvador, El Salvador', *Revista Geológica de América Central*, 47, pp. 117–132.
- Corona-Chávez, P. (2016) 'ACTAS INAGEQ 2016 Volcán Parícutin (1943) y vulcanismo monogenético de la Meseta Purépecha', in Instituto nacional d geoquímica (ed.) XXVI Congreso Nacional de Geoquímica, Morelia, Mich. 2016. Morelia, Michoacan, pp. 310–328.
- Delmelle, P. and Stix, J. (2000) 'Volcanic Gases', pp. 803–815.
- Dosa, S. (2022) *Fire of Love*. Estados Unidos: National Geographic Documentary Films.
- Eisermann, K. and Avendaño, C. (2015) 'Los búhos de Guatemala', *Los búhos neotropicales: diversidad y conservación*. ECOSUR, San Cristóbal de las Casas, pp. 381–434. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Knut-Eisermann/publication/283856638_Eisermann_K_C_Avendaño_2015_Los_buhos_de_Guatemala_381-434_in_P_L_Enriquez_ed_Los_buhos_neotropicales_diversidad_y_conservacion_ECOSUR_San_Cristobal_de_las_Casas_Chiapas_Mexico/link.

- Escobar, R. (2013) 'Volcanic processes and human exposure as elements to build a risk model for Volcan de Fuego, Guatemala', Dissertations, master's theses and master's reports - Open, p. 216. Available at: <http://digitalcommons.mtu.edu/etds/638%5Cnhttp://digitalcommons.mtu.edu/etds/638/>.
- Fagan, J. and Komar, O. (2016) Peterson Field Guide to Birds of Northern Central. New York: Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company.
- Ferrés, D. and Escobar, R. (2018) Informe Técnico: Volcán de Fuego, Cooperación Española.
- Flores, J. et al. (2020) El palpitante Cinturón de Fuego del Pacífico, National Geographic. Available at: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/palpitante-cinturon-fuego_15178 (Accessed: 16 November 2021).
- Gil, S. (2017) Estudio hidrológico de la cuenca del río Coyolate. Guatemala.
- Global Volcanism Program (2021) 'Report on Fuego (Guatemala) — April 2021', Bulletin of the Global Volcanism Network, 46:4. Smithsonian Institution. Available at: <https://volcano.si.edu/showreport.cfm?doi=10.5479/si.GVP.BGVN202104-342090> (Accessed: 23 September 2021).
- Grove, T.L. (2000) 'Origin of Magmas', Encyclopedia of Volcanoes, pp. 133–147.
- Hacker, D.B., Biek, R.F. and Rowley, P.D. (2014) 'Catastrophic emplacement of the gigantic Markagunt gravity slide, southwest Utah (USA): Implications for hazards associated with sector collapse of volcanic fields', *Geology*, 42(11), pp. 943–946.
- Hazlett, L.A. and Lockwood, J.P. (2013) 'Volcanoes: Global Perspectives'. Blackwell Publishing.
- Houghton, B.F., C.J.N., W. and Pyle, D.M. (2000) 'Pyroclastic Fall Deposits', *The Encyclopedia of Volcanoes*, (August), p. 16.
- Iarna (2018a) Bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT), Fichas de zonas de vida. Available at: <http://www.infoiarna.org.gt/ecosistemas-de-guatemala/fichas-zonas-de-vida/bh-mbt/> (Accessed: 5 July 2023).
- Iarna (2018b) Bosque húmedo premontano tropical (bh-PMT), Fichas de zonas de vida. Available at: <http://www.infoiarna.org.gt/ecosistemas-de-guatemala/fichas-zonas-de-vida/bh-pmt/>.
- Iarna (2018c) Bosque muy húmedo montano tropical (bmh-MT), Fichas de zonas de vida. Available at: <http://www.infoiarna.org.gt/ecosistemas-de-guatemala/fichas-zonas-de-vida/bmh-mt/> (Accessed: 5 July 2023).
- Iarna (2018d) Bosque pluvial montano tropical (bp-MT), Fichas de zonas de vida. Available at: <http://www.infoiarna.org.gt/ecosistemas-de-guatemala/fi>

- chas-zonas-de-vida/bp-mt/ (Accessed: 5 July 2023).
- InNaturalist (2023) Género Ogyges, iNaturalis Ecuador. Available at: <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/251099-Ogyges> (Accessed: 5 February 2024).
- Insivumeh (2003) Los Volcanes. Ciudad de Guatemala.
- Insivumeh (2012a) Volcán Santiaguito. Available at: https://insivumeh.gob.gt/folletos/folleto_santiaguito4.pdf (Accessed: 18 March 2024).
- Insivumeh (2012b) Volcán de Fuego, Unidad de Vulcanología.
- Insivumeh (2018) Volcán de Fuego. Available at: <http://historico.insivumeh.gob.gt/volcan-de-fuego/> (Accessed: 24 July 2021).
- Insivumeh (2020) Marco tectónico para Guatemala, Insivumeh.
- Insivumeh (2023) Mapas de amenaza volcánica, Geofísica/Vulcanología. Available at: <https://insivumeh.gob.gt/?p=698>.
- Instituto geofísico de la escuela politécnica nacional and Institut de recherche pour le développement (2015) los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. Quito: Corporación editora nacional.
- IRIS (2020) Zona de Subducción: Tsunamis Generados por Mega-Terremotos, InClass. Incorporated Research Institutions for Seismology.
- De la Cruz-Reyna, S. et al. (2010) 'Tectonic earthquakes triggering volcanic seismicity and eruptions. Case studies at Tungurahua and Popocatepetl volcanoes', Journal of Volcanology and Geothermal Research, 193(1–2), pp. 37–48. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.03.005>.
- Lily, G. et al. (2007) Identificación de zonas vulnerables a desastres naturales en la cuenca del río Achiguate.
- Montalvo, F. and Escobar, D. (2016) 'Lluvia ácida de origen volcánico', Servicio Nacional de Estudios Territoriales, pp. 1–4.
- National Park Service (2024) Eruption Classifications, Volcanoes, Craters & Lava Flows. Available at: <https://www.nps.gov/subjects/volcanoes/eruption-classifications.htm> (Accessed: 2 February 2024).
- Ordoñez, E. (2021) La mujer frente al volcán de Fuego. Ciudad de Guatemala: Magna Terra.
- PAHO (2023) Erupciones Volcánicas, Organización Panamericana de la Salud. Available at: <https://www.paho.org/es/temas/erupciones-volcanicas> (Accessed: 15 August 2023).
- Pérez, G.E. et al. (2018) Ecosistemas de Guatemala, basado en el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida. Ciudad de Gua-

temala.

g/10.21829/azm.2000.80801900.

- Pierson, T. and Scott, K. (1985) 'Debris Flow to Hyperconcentrated Streamflow', *Water resources research*, 21(10), pp. 1511–1524.
- Roberti, G. et al. (2017) 'Structure from motion and landslides: The 2010 Mt Meager collapse from slope deformation to debris avalanche deposit mapping', *Geotechnical News*, p. 21.
- Roca, A. et al. (2021) 'Volcano observatories and monitoring activities in Guatemala', *Volcanica*, 4(S1 SE-Special Issue on Volcano Observatories in Latin America), pp. 203–222. Available at: <https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.203222>.
- RSN UCR-ICE (2019) ¿Qué tipos de erupciones volcánicas existen?, Universidad de Costa Rica. Available at: <https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/vulcanologia/2519-tipos-de-erupciones-volcanicas> (Accessed: 5 September 2021).
- Schuster, J. et al. (2023) 'Distributions, range extensions and host list update for four phoretic mite genera (Acari: Klinckowstroemidae) on Passalidae (Coleoptera)', *Acarologia*, 63(2), pp. 596–604.
- Schuster, J.C., Cano, E.B. and Cardona, C. (2000) 'Un método sencillo para priorizar la conservación de los bosques nubosos de Guatemala, usando Passalidae (Coleoptera) como organismos indicadores', *Acta Zoológica Mexicana (N.S.)*, 209(80), pp. 197–209. Available at: <https://doi.org/10.21829/azm.2000.80801900>.
- SE-CONRED (2015) Actividad Volcán de Fuego, Flickr. Available at: <https://www.flickr.com/photos/conred/19309478976> (Accessed: 8 February 2024).
- Serway, R.A. et al. (2019) *Física para ciencias e ingeniería Volumen 1*. 10a ed. México D.F.: CENGAGE Learning.
- Smithsonian Institution (2013) Eruptive History, Global Volcanism Program, Department of Mineral Sciences, National Museum of Natural History. Available at: <https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=342090> (Accessed: 11 April 2023).
- Soto, A. (2002) 'Centenario de la erupción del Volcán Santa María (1902-2002)', pp. 1–5.
- Soto, W. (2018) *Distribución De Rapaces Nocturnas (Strigiformes: Tytonidae, Strigidae) Del Parque Nacional San Diego Y San Felipe Las Barras, Santa Ana, El Salvador*. Universidad de El Salvador.
- Sulpizio, R. and Dellino, P. (2008) 'Sedimentology, depositional mechanisms and pulsating behaviour of pyroclastic density currents', *Developments in Volcanology*, 10, pp. 57–96.
- USGS (2017) USGS: Volcano Hazards Program Glossary - VEI, Glossary. Available at: <https://volcanoes.usgs.gov/vsc/glossary/vei.html> (Accessed: 10 April 2023).

- Vallance, J.W. et al. (2001) 'Volcano Hazards at Fuego and Acatenango, Guatemala', Open-File Report, p. 24.
- Villalba-Fuentes, E. et al. (2022) 'Wood beetles (Coleoptera: Passalidae) and their relationship with conservation sites', *Conservación Colombiana*, (27), pp. 60–66. Available at: <https://doi.org/10.54588/cc2021-v27n01a04>.
- De Vries, B.V.W. and Davies, T. (2015) 'Landslides, debris avalanches, and volcanic gravitational deformation', in *The encyclopedia of volcanoes*. Elsevier, pp. 665–685.
- De Vries, B.V.W. and Delcamp, A. (2015) 'Volcanic debris avalanches', in *Landslide hazards, risks, and disasters*. Elsevier, pp. 131–157.
- Waitt, R.B. (1989) 'Swift snowmelt and floods (lahars) caused by great pyroclastic surge at Mount St Helens volcano, Washington, 18 May 1980', *Bulletin of Volcanology*, 52, pp. 138–157.

Sobre autor

José Luis Méndez Soto

Investigador del Instituto de Investigación en Ciencias Naturales y Tecnología (IARNA), adscrito a la Vicerrectoría de Investigación y Proyección de la Universidad Rafael Landívar. Actualmente trabaja en la obtención de su doctorado en tecnología en el Centro Universitario de Suroriente de la Universidad San Carlos de Guatemala. Posee un título de Magister Scientiae en Matemática Aplicada, así como un Magister en Administración Industrial y una Licenciatura en Ingeniería Informática. Además, cuenta con especialización en vulcanología y gestión de riesgos de desastres vulcanológicos. Como docente universitario, ha acumulado una experiencia de 26 años en áreas que incluyen ingeniería, administración de empresas y economía. Ha complementado su formación con cursos en Economía Matemática en el Banco de Guatemala y en Vulcanología General en la UNAM.

jlmendezs@url.edu.gt

Copyright (c) 2024 José Luis Méndez Soto



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Textocompletodela licencia](#)