



## Distribución de los volcanes activos. Causas del vulcanismo y peligros asociados

Distribution of active volcanoes, causes of volcanism and associated hazards

Toruño, Marjorie<sup>1</sup> ; Silva, Rosalba<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geología y Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua, Rotonda Universitaria Rigoberto López Pérez, 200 m al Este. Apartado postal: A-131\*. [marjorie@igg.unan.edu.ni](mailto:marjorie@igg.unan.edu.ni)

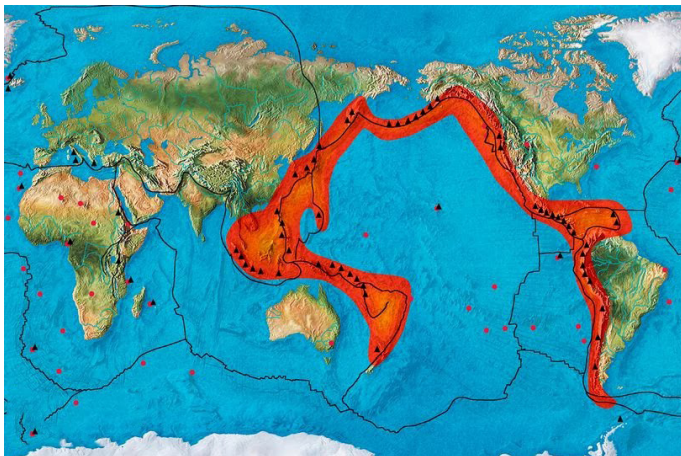
<sup>2</sup> Dirección de Meteorología Sinóptica-Dirección Aeronáutica y CCTR. Dirección General de Meteorología. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Managua, Managua, Nicaragua.

### 1. Introducción

El vulcanismo a nivel mundial está relacionado con la Tectónica de Placas, directamente con el tipo de comportamiento de las fronteras entre las Placas tectónicas, conocido como Límites de Placas. Estos pueden ser Divergentes en que las placas tectónicas involucradas se separan, de Falla Transformante o movimiento lateral y Convergentes en el que las placas tectónicas convergen o chocan. Este último forma parte del Cinturón de Fuego, conocido así por ser la zona en la que se da el vulcanismo alrededor del mundo producido por la convergencia o choque de placas también llamado Zona de Subducción, ver Figura 1. El proceso de Subducción ocurre cuando una placa tectónica se introduce por debajo de la otra. Generalmente se presenta cuando se encuentran una placas de tipo Oceánico con una de tipo Continental, aunque también se puede dar entre placas del mismo tipo, ya sean dos oceánicas o continentales ambas (Tarbuck et al., 2005).

#### Figura 1

Cinturón de Fuego del Pacífico



Nota: Tomada de Madrid (2020). Los volcanes están representados por triángulos negros y los puntos rojos representan puntos calientes.

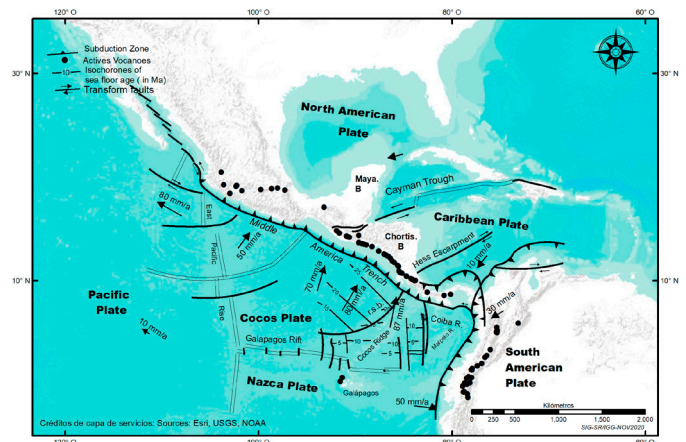
De acuerdo con Guimarães et al., (2021), el Anillo de Fuego conocido también como Cinturón circumpacífico, tiene una longitud de 40,000 km, definido por las fronteras de placas tectónicas en la franja del Océano Pacífico. La Cadena Volcánica en Centroamérica es el resultado de la subducción de la Placa de Cocos es tipo oceánica por debajo de la Placa del Caribe que es de tipo continental. Este proceso ocurre desde el Mioceno temprano y tiene una longitud de unos 1,100 km de longitud (Guimarães et al., 2021; Segura, 2019), ver Figura 2.

El segmento de este arco o cadena volcánica de Centroamérica que corresponde a Nicaragua, tiene una longitud de al menos 380 km y coincide con la Depresión Nicaragüense o Cadena Volcánica Nicaragüense, compuesta por al menos 17 estructuras volcánicas, Segura (2019), ver Figura 3. De acuerdo con Segura (2019) y DeMets (2001) la tasa en que converge la Placa de Cocos oblicuamente con

con la Placa del Caribe es mucho más alta al sureste. Esto genera una deformación en la cadena volcánica de Centroamérica, desmembrando el segmento de la cadena volcánica nicaragüense. El tramo hacia la noroeste abarca desde el Volcán Cosigüina hasta el Volcán Apoyeque en Managua. El trecho hacia el sureste abarca desde el Volcán Santiago (Masaya) hasta el Volcán Maderas en la Isla de Ometepe (Segura, 2019), en el Lago Cocibolca, incluyendo la Isla Zapatera; volcán inactivo con fecha desconocida de su última erupción, ver Figura 3.

#### Figura 2

Mapa del contexto tectónico de Centroamérica



Nota: En este mapa se puede apreciar la dirección y velocidades de las Placas Tectónicas de la zona. Tomado de Frischbutter (2002) citado en Žáček et al. (2020).

Autores como Funk et al. (2009) y Protti et al. (1995) mencionan que en el punto de subducción más profunda con un ángulo entre los 75 a 80 grados, evidencia el retroceso de la losa, lo que puede conducir a la extensión de la Placa del Caribe suprayacente a lo largo la depresión de Nicaragua. De acuerdo con Protti et al. (1994) al NO de esta contorsión pronunciada, la porción más profunda de la losa sísmicamente activa se hunde alrededor de 80° y alcanza profundidades máximas que van desde 200 km. Cerca de la frontera entre Nicaragua y Costa Rica, hasta 135 km debajo de Ciudad Quesada. Hacia el SE, la parte más profunda de la zona de Wadati-Benioff se hunde a unos 60° y la sismicidad no se extiende por debajo de profundidades que van desde los 125 km y detrás del arco volcánico, hasta los 50 km.

En Managua la placa subducida alcanza profundidades de más de 200 km. A esta profundidad se funde parte del material de la Placa de Cocos por las altas temperaturas del manto terrestre. El material fundido de la Placa de Cocos sube casi verticalmente y penetra la placa del Caribe a lo largo de una línea casi recta, formando así la cadena volcánica. Esto genera erupciones volcánicas y sismos superficiales. La cadena volcánica corre en dirección noroeste-sureste como un lineamiento de estrato-conos y escudos volcánicos situados en las tierras bajas (INETER, 2005).

## 2. Distribución de los volcanes activos

La Cadena volcánica de Nicaragua, con base en la estructura regional, se encuentra paralela a la zona de subducción, extendiéndose desde el Golfo de Fonseca hasta el extremo sureste de Nicaragua, con aproximadamente 70 km de ancho y 300 km de longitud y con dirección NW-SE. Dentro de esta provincia se encuentran la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaragüense, los lagos de Nicaragua y la Depresión o Graben nicaragüense. La constituyen los principales rasgos de la actividad tectónica Cuaternaria de América Central según McBirney & Williams (1964). Esta depresión está siendo rellenada por depósitos aluviales y piroclásticos, formando un espesor aproximado de 2000 m, (Hodgson, 2000).

El origen de esta depresión se atribuye a esfuerzos tensionales producidos en el Pleistoceno, ocasionados por la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, lo que dio lugar a la formación de la Cadena Volcánica activa del Cuaternario, cuando la actividad volcánica emigró gradualmente en dirección de la Fosa Mesoamericana, Weinberg (1992).

De acuerdo con el registro geológico de la historia eruptiva de los últimos 10,000 años existen 13 estructuras volcánicas activas en Nicaragua (Figura 3), de las cuales 8 de estas han hecho erupción en los últimos cien años, entre ellos se menciona al Volcán Cosigüina (1), Volcán San Cristóbal (2), Volcán Telica (3), Volcán Cerro Negro (4), Volcán Momotombo (8), Volcán Apoyeque (10), Volcán Masaya (11) y Volcán Concepción (14), Espinoza et al., (2021), como se muestra en la Figura 3.

## 3. Definición de los tipos de actividad volcánica

La actividad volcánica en general está relacionada con las erupciones volcánicas producidas por el ascenso del magma desde el interior de la tierra; en este caso del manto hasta la capa de la corteza conocida también como la superficie de la Tierra. En dependencia del comportamiento de los gases, la composición química y de la presión del magma se producirá un tipo específico de erupción volcánica.

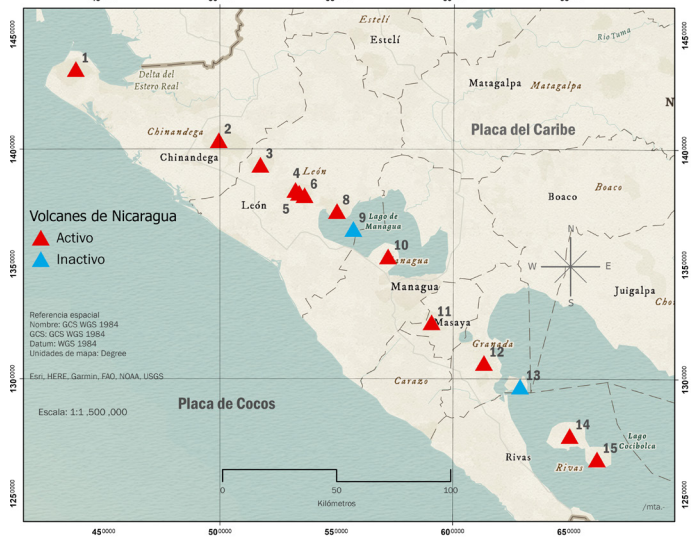
En el caso de que los gases se liberan sin modificar la presión del magma, este asciende a la superficie de manera suave como un derrame sin explosiones; sin embargo, cuando el magma no libera los gases contenidos en él, se genera un incremento de la presión y se crean burbujas en su interior que al llegar a superficie provocan que el magma se rompa produciendo erupciones explosivas, en ocasiones muy violentas (INGEMMET, 2011).

En Nicaragua la actividad volcánica se da a través de erupciones magmáticas, básicamente por encontrarse en una zona de límite convergente entre una placa oceánica y una placa continental o zona de Subducción, como se mencionó antes. Con base en el registro de la actividad volcánica en Nicaragua, se puede mencionar que la mayoría de ellos hacen erupciones de tipo plinianas, subplinianas, estrombolianas, sub-estrombolianas y freato-plinianas, ver Figura 4.

Las erupciones de tipo hawaiana en conjunto con las estrombolianas son las menos violentas y quizás la forma de vulcanismo más majestuoso que existe. La sutil intensidad, su magnitud y su poder de dispersión son consecuencia de la baja viscosidad de su magma. Comúnmente expulsan basaltos o basaltos andesíticos lo que permiten a los gases liberarse con relativa facilidad (Vergnolle & Mangan, 2000). Durante una erupción de este tipo los gases también son liberados a través de estallidos rítmicos discretos y estallidos de flujos de gases lo que da paso a fuente de lava o de fuego. Generalmente este estilo de erupción inicia con un enjambre o serie de sismos. Su columna alcanza como máximo dos kilómetros de altura, de manera que su zona de influencia no es de gran extensión.

En el caso de las erupciones estrombolianas los gases se expulsan de manera distinta, a menudo con estallidos rítmicos, en algunos casos con interrupción en lo alto de la columna y expulsando fragmentos de lava incandescente o piroclastos (Vergnolle & Mangan, 2000), típicamente alcanza unos cientos de metros en altura y grosor (Taddeucci et al., 2015). Las explosiones en este estilo de erupciones ocurren casi regularmente entre 20 a 15 minutos por hora. Sin embargo, en el Volcán Stromboli, del que se deriva el nombre de este estilo eruptivo, se han

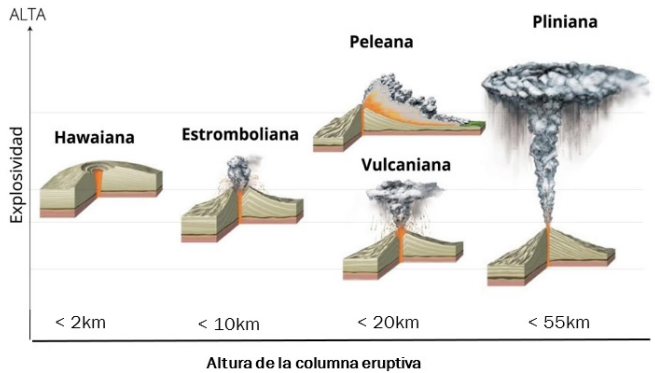
Figura 3 Mapa del contexto tectónico de Centroamérica



ID	Nombre	Estado	Altura	Tipo	Última Erupción	x	y
1	Cosigüina	Activo	872	Stratovolcánico	1859 CE	438419.00003	1435337.999823
2	San Cristóbal	Activo	1745	Stratovolcánico	2021 CE	499476.000039	1404253.999901
3	Telica	Activo	1036	Stratovolcánico	2021 CE	517270.00004	1393580.999834
4	Cerro Negro	Activo	728	Pyroclástico cone(s)	1999 CE	532290.000025	1382640.999882
5	Las Pilas	Activo	1088	Complex	1954 CE	533864.999961	1381423.999915
6	El Hoyo	Activo	1050	Shield	1953	536184.632272	1380344.512677
8	Momotombo	Activo	1270	Stratovolcánico	2016 CE	550070.999991	1373456.99991
9	Momotombito	Inactivo	287	Composite cone	Unknown	557098.267814	1365671.061006
10	Apoyeque	Activo	518	Pyroclástico shield	50 BCE	571989.999962	1353743.999916
11	Masaya	Activo	594	Caldera	2021 CE	590703.99999	1325077.999895
12	Mombacho	Activo	1345	Stratovolcánico	Unknown	613224.000042	1307464.999888
13	Zapatera	Inactivo	629	Shield	Unknown	628780.999953	1297217.99992
14	Concepción	Activo	1700	Stratovolcánico	2011 CE	650169.000021	1275800.999921
15	Maderas	Activo	1394	Stratovolcánico	1000 BCE	661950.999961	1265634.99989

Nota: Elaborada con información recopilada de Global Volcanism Program (2021) ; Incer Barquero (1973); Carr et al., (2004); INETER, (2016) y Espinoza et al. (2021) en el que se considera activos a los volcanes con erupciones ocurridas en los últimos 10, 000 años.

Figura 4 Mapa del contexto tectónico de Centroamérica



Nota: Adaptada de Encyclopædia Britannica (2023).

registrado episodios de hasta 100 a 1000 estallidos por hora. En general pueden ser erupciones de corta duración y las plumas eruptivas alcanzan poca altura (Romero et al., 2015).

Las erupciones vulcanianas son más recurrentes, son causadas por un fluido rico en gases o por la acumulación de una mezcla de cristales y vesículas en la parte alta de la columna eruptiva encerrada por un tapón de roca y que es expulsado por el aumento de la presión del magma, lo que produce una violenta emisión de materiales sólidos, a medio fundir y con mucho gas. Generalmente los productos expulsados son de composición desde basálticas a andesíticas y su columna eruptiva pueden alcanzar unos 20 km de altura. Sus depósitos son moderados, alcanzando una distancia de al menos 1km (Romero et al., 2015).

Las erupciones de tipo plinianas, en honor a Plinio el Grande y su sobrino Plinio el Joven, son generalmente erupciones altamente explosivas provenientes de magmas muy viscosos, generalmente



de Andesitas a riolitas. Se han encontrado raras veces depósitos de caída de escoria basáltica que presentan un patrón de dispersión pliniana (Cas & Wright, 1987). Las columnas de erupción pliniana de gases y cenizas suelen ser de gran altura alcanzando hasta unos 50 km a velocidad de centenas de metros por segundo, lo que permite desplazarse a cientos de kilómetros del volcán. Los flujos de lava pueden arrasar todo lo que encuentren en su camino y llegar a varios kilómetros del volcán, por lo tanto, se consideran las más destructivas.

En la Tabla 1, se presentan los volcanes en Nicaragua que muestran una variedad de estilos eruptivos como de magnitudes. Las erupciones más recientes han sido caracterizadas como de baja explosividad; sin embargo, estos volcanes tienen potencial de experimentar erupciones catastróficas, como por ejemplo de 1835 del Volcán Cosigüina con un VEI 5 (Geirsson et al., 2014).

**Tabla 1.**  
*Volcanes activos de Nicaragua y tipo de erupción*

No.	Volcán	Tipo de Erupción	Notas
1	Cosigüina	Pliniana	Erupción de 1835. Una más las más violentas de América
2	San Cristóbal	Estromboliana-Vulcaniana	
3	Telica	Vulcaniana	
4	Cerro Negro	Sub-estromboliana	
8	Momotombo	Estromboliana	
10	Apoyeque	Pliniana	
11	Masaya	Pliniana	
14	Concepción	pliniana, subpliniana y estromboliana	

## 4. Descripción de los depósitos volcánicos asociados

### 4.1 Volcán Cosigüina (1)

El Volcán Cosigüina es un volcán compuesto o estratovolcán de composición basáltica a andesítica, que se ubica en extremo noroeste de Nicaragua en las coordenadas (13.67° N; 87.97° O), con una altura de 859 m s.n.m. (ver Figura 3), con una densidad poblacional baja en su zona de influencia. La erupción más representativa de este volcán se registra en 1835 de poca duración, unos 20 días según (INETER, 2014c). Este evento fue una importante erupción pliniana responsable del cráter actual y es considerada una de las mayores erupciones volcánicas en América según la historia escrita (Comisión Nacional de Energía, 2001b). Se encontraron cenizas de este volcán en México, Costa Rica y Jamaica (INETER, 2014c).

Entre los depósitos relacionados con esta erupción se mencionan cenizas, las que se encontraron en casi todo Centroamérica, con partículas aproximadamente de 1mm a unos 300 km de distancia y partículas mayores a los 10cm a distancias entre los 75 y 100 km. (Comisión Nacional de Energía, 2001b).

Entre los depósitos relacionados con esta erupción se mencionan cenizas, las que se encontraron en casi todo Centroamérica, con partículas aproximadamente de 1mm a unos 300 km de distancia y partículas mayores a los 10cm a distancias entre los 75 y 100 km. (Comisión Nacional de Energía, 2001b). También Self et al., (1989) menciona que se encontró una combinación de lava y eyecciones aglutinadas en algunas partes del cono central. Exceptuando este depósito de lava, los productos de este evento parecen ser material piroclástico.

### 4.2 Volcán San Cristóbal (2)

El Volcán San Cristóbal es un volcán compuesto o estratovolcán considerado complejo volcánico compuesto por cinco edificios volcánicos de los cuales el más joven es el San Cristóbal, los otros son El Volcán Casita, El Chonco, Cerro Moyotepe y La Pelona Caldera. Se ubica al noreste de Managua a unos 100 km, en las coordenadas (12.70° N; 87.02° O), con 1745 m s.n.m. de elevación, un cono simétrico y el pico más alto de la Cadena Volcánica Nicaragüense, con un cráter de 500 m x 600 m.

De acuerdo con registros históricos este volcán ha tenido actividad eruptiva entre los siglos 16 y 17 en tiempos de la Colonia con erupciones de tipo estromboliana. Luego de esta etapa se mantuvo en relativa calma hasta el siglo 20, en 1971, y se ha mantenido en actividad hasta los días recientes (Hazlett, 1987). De acuerdo este mismo autor, el análisis de los depósitos prehistóricos indica que las erupciones estrombolianas a vulcanianas a moderadamente fuertes son típicas de San Cristóbal,

con posible efusión de lava tanto de la cumbre como de los flancos inferiores del cono. De los peligros volcánicos potenciales asociados con esta montaña, el más serio para las áreas urbanas vecinas es la fuerte caída de tefra.

Los depósitos consisten en caídas de cenizas desde el aire, lapilli y piedra pómez bien ordenadas, evidenciando la actividad estromboliana a moderadamente vulcaniana a largo plazo. Además de las tefras, los depósitos de lahar son abundantes y afloran cerca de la base de San Cristóbal. Estos depósitos normalmente no superan pocos metros de espesor individualmente. El depósito expuesto más largo se encuentra a unos ocho kilómetros del cono. La presencia de edificios volcánicos adyacentes al San Cristóbal limita su cuenca, creando las condiciones de amenaza de flujos de detritos o lahar considerando también la pobre red de drenaje hacia el noroeste, norte y sursuroeste del volcán.

### 4.3 Volcán Telica (3)

El Volcán Telica, es parte de la Cordillera de los Maribios en el Arco Volcánico de Centro América al oeste de Nicaragua con coordenadas (12.60° N; 86.87° O) y elevación de 1010 m s.n.m. Este complejo volcánico del Telica consiste en varios conos y cráteres alineados en dirección noroeste, algunos centros eruptivos prehistóricos aislados al norte, noroeste y al sureste del actual cráter activo de El Telica en la parte oeste del sistema volcánico. Los productos más antiguos asociados con este volcán son de al menos unos 330 mil años y el volumen estimado de estos corresponde a unos 28 km<sup>3</sup> (Geirsson et al., 2014).

La historia de la actividad eruptiva de este volcán según Geirsson et al. (2014) ha sido caracterizada como de baja explosividad con un VEI entre 1 a 3 con erupciones vulcanianas espesor individualmente. cada corto tiempo (pocos años). También se menciona que en escalas de tiempo decenales se registran episodios eruptivos más explosivos con VEI de 2 a 3 que duran varios meses. La erupción más antigua documentada fue en 1527 con un VEI de 3. La literatura menciona que el único flujo de lava históricamente registrado fue de 1529 con un VEI de 4. El trabajo de un grupo de investigadores que estuvieron en el volcán entre los 70' y los 80' notaron un periodo de erupción explosivas con columnas de ceniza de color gris claro a negro. El Telica es considerado un volcán en continuo despertar debido a su frecuente actividad eruptiva, las tasas de sismicidad alta, fumarolas de altas temperaturas e incandescencia y flujo de gases volcánicos. Es importante mencionar que normalmente experimenta de decenas a centenas de sismos de baja magnitud incluso durante periodos no eruptivos (Geirsson et al., 2014).

Como resultado del trabajo de campo INETER entre 1991-992, se encontraron flujos de lavas que afloran al norte, noreste, este, sureste y suroeste del Volcán, 8 de ellos provenientes del Telica, 5 del cráter San Jacinto, 2 flujos del Cerro Santa Clara y 2 flujos respectivamente del Cerro Agüero, El Azucenal, y Los Portillos. También, se observaron depósitos de cenizas al noroeste y oeste, los que se consideran los depósitos más jóvenes (Paniagua Pérez, 2002).

El episodio eruptivo de 2011 fue el más explosivo del Volcán Telica desde 1999, en el que hubo numerosas explosiones vulcanianas en las que la columna alcanzó al menos 1.5 km por arriba de la boca del cráter, por lo que depositó un volumen bajo de ceniza con predominante alteración hidrotermal (Geirsson et al., 2014), misma que fue reportada a unos 15 km al oeste/suroeste de este edificio (Tenorio, 2011). Con base en observaciones de la actividad sísmica, registros de temperatura y de dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), además de considerar que no hubo deformación del edificio volcánico y el predominio de Lapilli en la ceniza de origen no reciente, Geirsson et al. (2014) proponen que el episodio eruptivo freático fue generado por el cierre temporal del sistema hidrotermal entre 0.5 y 2km de profundidad, lo que produjo un aumento de la presión creando las condiciones para una explosión vulcaniana. Posterior a esto cesó la actividad (Tenorio, 2011).

### 4.4 Volcán Cerro Negro (4)

El Volcán Cerro Negro es un pequeño volcán basáltico o Cono de Escoria (MacQueen et al., 2016). Es el volcán más joven del lineamiento volcánico cuaternario nicaragüense (INETER, 2021a). Se localiza a unos 20 km de la ciudad de León en las coordenadas (12. 50° N; 86.70° O), con una elevación de 675 m s.n.m., y es parte del Complejo Volcánico El Hoyo-Las Pilas-Cerro Negro. Este volcán ha tenido una inusual actividad durante su corta historia eruptiva desde 1850 (MacQueen et al., 2016),

que también ha sido el de mayor actividad eruptiva en comparación con las demás estructuras activas en Nicaragua con al menos unas 20 eventos eruptivos hasta hoy día. Última actividad eruptiva registrada fue en agosto de 2013 (INETER, 2014b, 2021a).

Durante toda su historia el Volcán Cerro Negro, ha sido generalmente de tipo estrombolianas y subpliniana con algunas erupciones freáticas (INETER, 2014a). Entre sus depósitos asociados se pueden mencionar derrames de lava, además de la aparición de varios conos adventicios (Paniagua Pérez, 2002). Durante algunas erupciones se han reportado granitos, gabros, areniscas y lutitas entre otros, actualmente está cubierto por cenizas, lavas y bombas volcánicas según (Viramonte et al., 1971); (Set, 1999); y (Rose et al., 1974) en (Paniagua Pérez, 2002).

#### 4.5 Volcán Momotombo (8)

El Volcán Momotombo es un estratovolcán joven que se empezó a formar hace aproximadamente 4500 años sobre la somma (caldera volcánica) de un edificio más viejo (Momotombo Viejo) donde se levanta el cono más joven con un cráter de 150 x 250 m de diámetro, que abarca un área aproximada de 65 km<sup>2</sup> con unos 1297 m s.n.m. y forma parte del Complejo Volcánico junto a la Caldera de Monte Galán y la loma La Guatusa (445 m s.n.m) Comisión Nacional de Energía, (2001a).

El Volcán Momotombo se localiza al noroeste del Lago de Managua a unos 40 km al NO de la ciudad de Managua, en las coordenadas (12.42° N; 86.55° O) con una elevación de 1165 m s.n.m (INETER, 2021b). Según su historia eruptiva se han reportado 9 erupciones desde tiempos históricos y ha mantenido una actividad fumarólica constante. La última erupción se produjo en diciembre del 2015 la cual fue de tipo estromboliana al inicio, para cambiar a explosiones discretas en los siguientes cuatro meses (INETER, 2021a). Los tipos de erupciones presentadas han sido Estrombolianas y Freatomagmáticas. Las fumarolas en el cráter mantienen sus temperaturas en un rango entre 500 and 900 centígrados. En el cráter existen muchas áreas con azufre amarillo luminoso. Los depósitos asociados son secuencias piroclásticas intercaladas con coladas de lavas mucho más antiguas que han sido cubierta por capas de piroclastos más recientes (Paniagua Pérez, 2002).

#### 4.6 Volcán Apoyeque (10)

El Volcán Apoyeque es un estratovolcán que forma parte de las 11 estructuras volcánicas que componen el Complejo Volcánico Chiltepe y es el único volcán poligenético de todo el complejo (Avellán et al., 2014). Apoyeque se ubica a unos 9 km al noroeste de la ciudad de Managua en las coordenadas (12°14.7' N; 86°20.5'O). El principal cono de este volcán está constituido por una pila de lavas andesíticas y dacitas cubiertas por depósitos piroclásticos dacíticos que alcanzan un volumen de 8 km<sup>3</sup>, con 430 m s.n.m. de altura con una forma casi circular. En el interior tiene una laguna a unos 390 metros de profundidad (Avellán L. & Macías V., 2014).

Hasta hoy día este volcán no ha tenido fase eruptiva, pero debe tenerse en cuenta que tiene un alto potencial de entrar en actividad por encontrarse en una zona tectónica activa, lo que ha generado la actividad sísmica frecuente que se ha registrado todos estos años, como la registrada el 10 de abril del año 2014. Según el registro eruptivo del Complejo Volcánico Chiltepe se han experimentado al menos 6 erupciones plinianas en los últimos 17, 000 años y al menos dos de ellas provienen del Volcán Apoyeque (Avellán L. & Macías V., 2014).

Entre sus depósitos se mencionan Lavas (Lava Pre-Apoyeque Andesítica, Lava Corpus Dacítica, Lava Apoyeque Dacítica), también se encuentra Domos (Domos Apoyeque Dacíticos, Cono de escoria Xiloá), además Cono de escoria Chiltepe formado principalmente por fragmentos recientes de escoria de color rojizo que varían de tamaño desde lapilli hasta bombas y bloques color gris rojizo.

#### 4.7 Volcán Masaya (11)

El Volcán Masaya se ubica en las coordenadas (11.984° N ; 86.161° O), a unos 20 km al sureste de Managua, con una altura de 635 m s.n.m. Es un complejo volcánico compuesto por la Laguna de Masaya y muchos cráteres anidados como San Pedro, Nindirí, Santiago, Masaya y conos (Nindirí, Masaya) (Stephens et al., 2017).

Este volcán ha tenido una actividad atípica para la Cadena Volcánica de Centroamérica, considerando su alto flujo de desgasificación persistente, el efímero lago de lava en el cráter Santiago y la actividad explosiva con poca o ninguna extrusión de magma, lo que sugiere una gran masa de magma por debajo del cráter. El volcán Masaya es un excelente ejemplo de un volcán que alterna entre el comportamiento efusivo y el explosivo. Masaya ha pasado rápidamente de una actividad explosiva repentina a una desgasificación quieta, lo que supone una amenaza para las comunidades cercanas, como el repentino evento explosivo del 23 de abril de 2001 con VEI de 1 (Stephens et al., 2017), un pequeño evento freático (Martin et al., 2010), o el periodo de actividad explosiva y sin lago de lava de 30 de abril al 17 de mayo de 2012, (Stephens et al., 2017).

Es importante mencionar que el Masaya tuvo una actividad de quietud durante al menos 150 años, tiempo en el cual el magma se fue desgasificando. Este volcán es uno de los pocos volcanes que ha producido actividad pliniana. Muy pocas veces produce grandes explosiones (Martin et al., 2010). De acuerdo con Pérez & Freundt (2006) esta caldera es de especial interés volcanológico porque ha producido erupciones basálticas de gran magnitud y altamente explosivas (plinianas y freatomagmáticas).

Los depósitos de este volcán han sido estudiados por diferentes autores, entre ellos: Williams, (1983), Pérez & Freundt, (2006), Wehrmann et al., (2006) y Pérez et al., (2009). De acuerdo con estos vulcanólogos se han identificado inicialmente tres depósitos piroclásticos generalizados que se originaron en Masaya; el Lapilli Fontana, la Triple Capa Masaya o Formación San Judas y la Toba Masaya o Toba El Retiro. Adicionalmente identificaron la capa de 6 ka Tefra San Antonio (Pérez & Freundt, 2006). Un estudio detallado de la Tefra Fontana realizado por Wehrmann et al., (2006) mostró que la fuente de esta precipitación basáltica pliniana de lapilli no se encontraba dentro de la caldera de Masaya como se había interpretado anteriormente (Williams, 1983), sino a unos pocos kilómetros hacia el NO, donde formaría parte de la caldera más antigua. Por lo que es el producto más antiguo conocido de una erupción basáltica pliniana de la caldera de Masaya (Pérez et al., 2009).

La segunda erupción pliniana en la caldera de Masaya produjo la Triple Capa de Masaya (Bice, 1985; Williams, 1983). La Tefra La Concepción al sur de la caldera. La última gran erupción de la caldera de Masaya produjo la Toba de Masaya, un enorme depósito piroclástico freatomagmático (Bice, 1985; Williams, 1983). Esta erupción Surtseyana de gran magnitud terminó en una tercera erupción Pliniana que produjo el extenso Ticuantepe Lapilli, una sucesión estratificada de caídas bien clasificadas de escoria vesicular inmediatamente sobre la Toba Masaya (Pérez & Freundt, 2006). Las erupciones Surtseyanas ocurren cuando el magma en ascenso interacciona de forma efectiva con agua externa (sea superficial o subterránea), dando lugar a erupciones explosivas. Toma su denominación de una erupción submarina ocurrida en 1963 al sur de Islandia que terminó creando una nueva isla que se llamó Surtsey (Pérez-Torrado & Rodríguez-González, 2015).

#### 4.7 Volcán Concepción (14)

El Volcán Concepción es un estratovolcán considerado como uno de los volcanes más altos de Nicaragua, también figura entre los más activos. Su cono simétrico forma la parte noroeste de la isla de Ometepe en el Lago de Nicaragua. Concepción es conectado por un estrecho istmo con el vecino Volcán Maderas. Se ubica en las coordenadas (11.53° N, 85.65° O), con 1610 m s.n.m. Fallas tectónicas con rumbo Norte-Sur que cruzan el volcán están asociados con conos de ceniza y escoria volcánica y maares localizados en los flancos norte y sur del Concepción.

Este simétrico estratovolcán basáltico-dacítico forma la mitad noroeste de la isla de Ometepe. El cráter de la cima, de paredes escarpadas, tiene 250 m de profundidad y un borde occidental más alto. Las fracturas con orientación N-S de los flancos han producido cadenas de conos de salpicadura, conos de ceniza, cúpulas de lava y maares situados en los lados NW, NE, SE y S que se extienden en algunos casos hasta el Lago de Nicaragua. El Concepción se construyó sobre una base de sedimentos lacustres y el cono moderno creció sobre una caldera en gran parte enterrada, un pequeño remanente de la cual forma una ruptura en la pendiente a mitad de camino del flanco norte.

Las frecuentes erupciones explosivas del último medio siglo han aumentado la altura de la cima significativamente por encima de lo que muestran los mapas topográficos actuales y han mantenido la parte superior del volcán sin vegetación (Smithsonian Institution, 2011). En cuanto a su historia eruptiva, el Concepción ha tenido 34 eventos eruptivos iniciando en el siglo pasado aproximadamente desde 1883 hasta la última registrada en 2011, durante este periodo hubo frecuentes erupciones explosivas moderadas, con VEI entre 1 y 2, la mayoría de las cuales se originaron en el pequeño cráter en la cima del volcán, (Smithsonian Institution, 2011).

La actividad volcánica más temprana se registra en los estratos de sedimentos lacustres como depósitos de oleadas y capas de cenizas de composición basáltica y andesítica. La actividad prehistórica posterior se caracteriza por los depósitos de erupción pliniana, subpliniana y estromboliana, de tipo basáltico a dacítico y por los flujos de lava y los domos. Los respiraderos satélites han creado una serie de maeres, conos piroclásticos y flujos de lava asociados. Estos se concentran cerca de la base del volcán, particularmente en una tendencia nort-sur a través del cono (Borgia & van Wyk de Vries, 2003).

Posterior a su investigación Borgia & van Wyk de Vries, (2003) concluyen que los depósitos que se encuentran en el área de influencia de este Volcán corresponden a Sedimentos Lacustres, Depósitos Piroclásticos y Flujos de Lava que han aportado a la construcción del edificio volcánico. También describen los depósitos sedimentos lacustres, a partir de que las unidades estratigráficas inferiores que afloran en Concepción son los sedimentos arenosos, limosos y arcillosos del Pleistoceno-Holoceno del Lago de Nicaragua. Estos sedimentos se vuelven más ricos en arcilla hacia la parte superior de la secuencia con el inicio de la actividad volcánica.

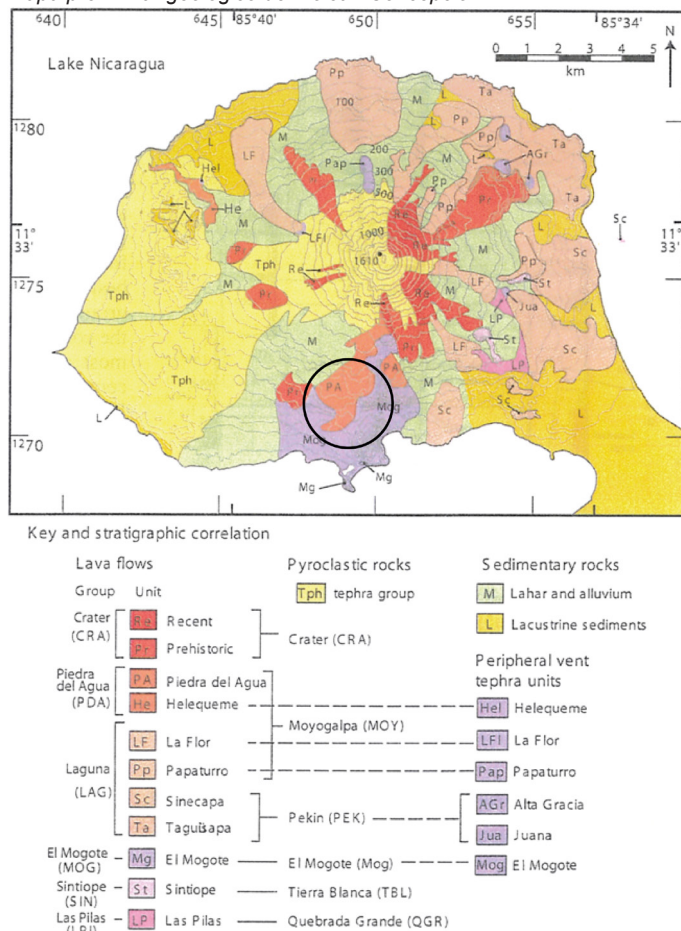
Sin embargo, una fracción significativa de ceniza volcánica que contiene una mezcla con las arcillas, particularmente en las secciones estratigráficas occidentales, a sotavento del volcán, y los flujos de lodo se intercalan con la secuencia lacustre. Al este del volcán se encuentran bloques de lava dentro de las lutitas donde los flujos se han disgregado y hundido en el sedimento arcilloso. Un depósito de oleaje de 5m de espesor es el horizonte volcánico más profundo encontrado. Le siguen areniscas volcanoclasticas gruesas, que se gradúan hacia el sur y el este en arenas y limos laminados; estos están ocasionalmente intercalados con tefras basálticas.

En cuanto a los depósitos piroclásticos menciona que el registro más antiguo de la actividad volcánica se encuentra en las costas noroeste y sureste, que descansan directamente sobre secuencias de barro y piedra. El depósito más característico es una brecha masiva, que contiene inclusiones de piedra de barro, a menudo redondeadas y encajadas en capas concéntricas de material ceniciento, como en los lapilli de acreción. Los niveles superiores del depósito se convierten en lechos cruzados. Hay lapilli masivo negro, no vesicular, afrrico y bombas con superficies coliformes o angulares. Depósitos similares se encuentran en los maeres de la costa sur de Concepción (El Mogote), ver Figura 5.

A partir de estos rasgos, los autores interpretan a este depósito como un oleaje depositado en el fondo del lago, al que llaman de manera distinta, el oleaje de bola de nieve, debido a las grandes bolas en su base. Por encima del oleaje se encuentran arenas lacustres con finas capas de escoria (la unidad Quebrada Grande). Una fuerte discordancia separa los sedimentos lacustres y la unidad Quebrada Grande está separada de la principal secuencia de tefra (la Secuencia de Tierra Blanca), que es más completa al este de Moyogalpa. Allí la parte más baja de la secuencia se caracteriza por escorias de composición basáltica-andesítica separadas por gruesos horizontes de ceniza y suelo. Un depósito similar a estos horizontes de ceniza se ha acumulado a partir de las erupciones de pequeño y mediano tamaño del último siglo. Por analogía, deducen que las capas de ceniza de la secuencia registran fases de crecimiento del cono entre eventos explosivos importantes. Más arriba la secuencia se vuelve más silícica y rica en lítica, culminando en el depósito pliniano de Tierra Blanca, que es más joven que 2720\_+60 años B.P, ver Figura 5.

Una gruesa tefra basáltica de alta alúmina sigue a la oleada de Tierra Blanca. Puede correlacionarse por su estratigrafía y composición química

**Figura 5**  
Mapa preliminar geológico del Volcán Concepción



Nota: En esta figura se muestra la correlación con la estratigrafía propuesta por Borgia & van Wyk de Vries, (2003). El Circulo negro muestra el Flujo de lava, del grupo Cráter.

con una secuencia basáltica mayor que forma los maeres parásitos y los anillos de toba de E1 Mogote, en el lado sur. A El Mogote le sigue a su vez el grupo Pekin, una secuencia de capas de tefra basáltica a andesítica, que se correlaciona con los flujos de lava Tagüisapa y Sinecapa.

Las unidades individuales tienden a ser composítivamente zonificadas con un rango que se hace mayor en lo alto de la secuencia. El grupo Moyogalpa sigue al Pekin, con una serie de depósitos de escoria en bandas, mejor expuestos en Moyogalpa. El grupo Moyogalpa es seguido por capas de ceniza, que se engrosan hacia el cono, volviéndose escoriáceas. Estas se intercalan con las lavas más recientes del Grupo Cráter. Los centros parasitarios de E1 Mogote, Altagracia, Helequeme y Papaturre han erupcionado basaltos de alta alúmina y se correlacionan con la estratigrafía de la Figura 5. Las erupciones más recientes del cráter principal oscilan entre el 48 y el 61% en peso de SiO<sub>2</sub>.

En cuanto a los flujos de lava, Borgia & van Wyk de Vries, (2003) mencionan que muchos afloramientos sólo pueden correlacionarse utilizando medios cualitativos y menos precisos, como la cobertura del suelo y la vegetación, o la cantidad de deformación tectónica. Por lo tanto, no es posible detallar la posición estratigráfica de todas las lavas hasta el nivel de las unidades eruptivas individuales. Considerando esta limitación, se pueden distinguir seis grandes grupos de lavas. El primer grupo de lavas está expuesto cerca de Las Pilas, como se observa en la Figura 5, la cual es de composición basáltica a andesítica. Estas lavas forman un conjunto de coladas totalmente desmembradas por la deformación posterior al desplazamiento y se encuentran en su mayoría como bloques dentro de lutitas contorsionadas o balsas de lava más coherente rodeadas de lutitas. No se pueden identificar los flujos individuales ni su lugar de erupción.

El segundo grupo está formado por un conjunto de flujos dacíticos y domos que aparecen cerca de Sintiope, ver Figura 5. Las coladas



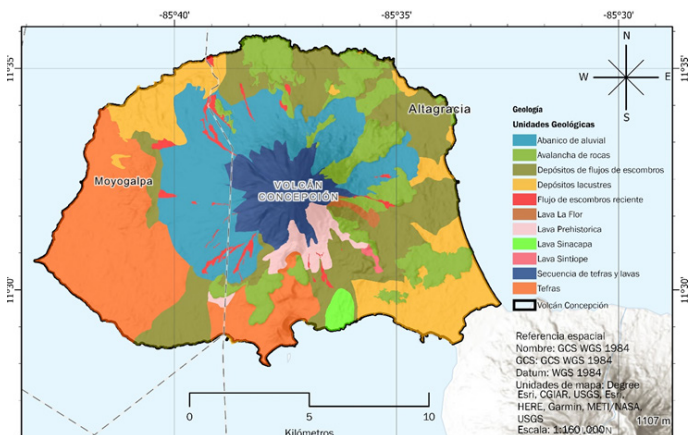
de Sintoipe están desmembradas de forma similar a las de Las Pilas, mientras que los domos han conservado su morfología de tapón. Se han separado de la secuencia más antigua, ya que se pueden correlacionar con la pómez de Tierra Blanca que tiene idéntica composición y petrografía.

Las coladas de lava de E1 Mogote forman una única unidad de composición basáltica (Figura 5). A diferencia de los demás grupos de lava, mantienen un rango composicional muy estrecho. Fueron erupcionados a partir de respiraderos parásitos con tendencia norte-sur en la base sur del volcán. La tefra asociada a estos flujos tiene una composición similar. El siguiente grupo forma un conjunto de flujos que afloran alrededor del lado occidental del cono que desciende hacia el lago (grupo Laguna en las Figuras 5 y 7). Se dividen en cuatro unidades menores, cada una en un sector diferente del cono. En el lado norte del volcán el Papaturro.

Las lavas son basaltos de alta alúmina, muy similares en composición a la unidad de El Mogote. Con respecto al Grupo Piedra del Agua se encuentran una serie de coladas prehistóricas seguidas de flujos de lavas recientes. Éstas se dividen en las que han entrado en erupción desde 1883 y un conjunto prehistórico (Figura. 5). Todas ellas son andesitas silíceas, aunque las tefras que las acompañan van de la andesita al basalto.

Es importante mencionar que de acuerdo con el estudio realizado por Guarín et al., 2017, sobre la susceptibilidad a movimientos en masa en la zona de influencia del volcán Concepción, se encontró que uno de los flujos de lava propuesto por Borgia & van Wyk de Vries (2003) del grupo Piedra del Agua en la Figura 5, corresponde a una Avalancha de Rocas con bloques de hasta 1 metro de altura como se puede observar en la Figura 6 y Figura 7. Actualmente este depósito se encuentra cubierto por vegetación que ha logrado prosperar en el medio de los bloques.

**Figura 6**  
Mapa de Unidades Geológicas



Nota: Tomado y modificado de Guarín et al. (2017). El círculo negro muestra el depósito de Avalancha de rocas.

Las coladas de lava de E1 Mogote forman una única unidad de composición basáltica (Figura 5). A diferencia de los demás grupos de lava, mantienen un rango composicional muy estrecho. Fueron erupcionados a partir de respiraderos parásitos con tendencia norte-sur en la base sur del volcán. La tefra asociada a estos flujos tiene una composición similar. El siguiente grupo forma un conjunto de flujos que afloran alrededor del lado occidental del cono que desciende hacia el lago (grupo Laguna en las Figuras 5 y 7). Se dividen en cuatro unidades menores, cada una en un sector diferente del cono. En el lado norte del volcán el Papaturro.

Las lavas recientes se producen con una frecuencia de 20 años. El último flujo de lava fue en 1957. También, aparecen depósitos de escoria y ceniza recientes, depósitos de pómez y flujos piroclásticos (Paniagua Pérez, 2002).

**Figura 7**

Fotografía que muestra bloques de la Avalancha de Roca que se ubica al sur del Volcán Concepción.



Nota: tomada de Guarín et al., 2017.

De acuerdo con estudios de análisis de Amenaza en la zona de influencia del Volcán Concepción se mencionan: Coladas de Lava, Lluvia ácida, deslizamientos e inundaciones, Caída de cenizas y piroclastos, Terremotos, Flujo de escombros y principalmente Lahares.

## 5. Conclusiones

La actividad volcánica en Nicaragua representa una amenaza latente, puesto que las ciudades más habitadas y turísticas del país se asientan en las zonas de influencia de los volcanes más activos. De modo que la actividad volcánica representa un factor de riesgo muy alto sumado a las amenazas que se desencadenan a partir de la propia actividad volcánica, entre estas; el incremento de la cantidad de gases tóxicos, sismos que pueden desencadenar deslizamientos en los edificios volcánicos, caída de cenizas y otros piroclastos, además de los flujos de lava, o balísticos. Sin dejar de mencionar el impacto que pueda tener en las zonas aún distantes considerando el efecto de la velocidad e intensidad del viento durante una erupción.

Con base a los resultados de Guimarães et al., (2021), el Volcán Concepción se encuentra entre uno de los volcanes con mayor puntuación en el Ranking de Riesgo Volcánico considerado el factor de exposición a la Amenaza, por considerarse que es uno de los volcanes donde la población se encuentra muy cerca de la zona de influencia de la actividad volcánica. También debe considerarse el factor de vulnerabilidad desde el punto de vista de los tipos de construcción de las viviendas y demás infraestructura.

## 6. Referencias

- Avellán, D. R., Macías, J. L., Sosa-Ceballos, G., & Velásquez, G. (2014). Stratigraphy, chemistry, and eruptive dynamics of the 12.4 ka plinian eruption of Apoyeque volcano, Managua, Nicaragua. *Bulletin of Volcanology*, 76(2), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s00445-013-0792-4>.
- Avellán L., D. R., & Macías V., J. L. (2014). Reconstrucción de la erupción pliniana que dió origen a la tefra Apoyeque superior, volcán Apoyeque, Managua, Nicaragua y condiciones pre-eruptivas. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.
- Bice, D. C. (1985). Quaternary volcanic stratigraphy of Managua, Nicaragua: correlation and source assignment for multiple overlapping plinian deposits. *Geological Society of America Bulletin*, 96(4), 553–566. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1985\)96<553:QVSOMN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1985)96<553:QVSOMN>2.0.CO;2)
- Borgia, A., & van Wyk de Vries, B. (2003). The volcano-tectonic evolution of Concepción, Nicaragua. *Bulletin of Volcanology*, 65(4), 248–266. <https://doi.org/10.1007/s00445-002-0256-8>
- Cas, R. A. F., & Wright, J. V. (1987). *Volcanic Successions Modern and Ancient*. In *Volcanic Successions Modern and Ancient*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3167-1>
- Comisión Nacional de Energía. (2001a). Plan maestro geotérmico de Nicaragua. Volumen VI. Evaluación del área de El Hoyo-Monte Galán (Issue 505).
- Comisión Nacional de Energía. (2001b). Plan Maestro Geotérmico de Nicaragua.VII. Evaluación del área del Volcán Cosigüina. <http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/03/vol-II-Volcan-Cosiguina-1.pdf>

- DeMets, C. (2001). A new estimate for present-day Cocos-Caribbean Plate motion: Implications for slip along the Central American Volcanic Arc. *Geophysical Research Letters*, 28(21), 4043–4046. <https://doi.org/10.1029/2001GL013518>
- Encyclopædia Britannica, I. (2023). Volcano: Eruptions, Types, Magma. *Physical Geography of Land*. <https://www.britannica.com/science/volcano/Six-types-of-eruptions>
- Espinoza, E., Saballos Pérez, J. A., Navarro Collado, M., Tenorio Bellanger, V., Olivares Loaisiga, T., Ibarra Carcache, M., Chavarría González, D., Matus Sanchez, D., & Mendoza Rivera, E. (2021). Programa de Monitoreo Volcánico Nicaragüense del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. *Volcanica*, 4(S1), 161–181. <https://doi.org/10.30909/vol.04.S1.163181>
- Frischbutter, A. (2002). Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images. *Geofísica Internacional*, 41(2), 87–102.
- Funk, J., Mann, P., McIntosh, K., & Stephens, J. (2009). Cenozoic tectonics of the Nicaraguan depression, Nicaragua, and Median Trough, El Salvador, based on seismic-reflection profiling and remote-sensing data. *Geological Society of America Bulletin*, 121(11–12), 1491–1521. <https://doi.org/10.1130/B26428.1>
- Geirsson, H., Rodgers, M., LaFemina, P., Witter, M., Roman, D., Muñoz, A., Tenorio, V., Alvarez, J., Jacobo, V. C., Nilsson, D., Galle, B., Feineman, M. D., Furman, T., & Morales, A. (2014). Multidisciplinary observations of the 2011 explosive eruption of Telica volcano, Nicaragua: Implications for the dynamics of low-explosivity ash eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 271, 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.11.009>
- Global Volcanism Program. (2023). [Database] Volcanoes of the World (v. 5.1.3; 13 Oct 2023). In Smithsonian Institution, compiled by Venke, E. Smithsonian Institution, compiled by Venke, E. <https://doi.org/10.5479/si.GVP.VOTW5-2023.5.1>
- Guarín, F., Schliz, M., Rivera, C., Toruño, M., & Martínez, M. (2017). Proyecto de Reducción de Riesgo: Un Análisis de Susceptibilidad, Vulnerabilidad y Gobernanza de Riesgos en el Área de Influencia del Volcán Concepción, Nicaragua. <https://repositorio.unan.edu.ni/12985/1/12985.pdf>
- Guimarães, L. F., Nieto-Torres, A., Bonadonna, C., & Frischknecht, C. (2021). A New Inclusive Volcanic Risk Ranking, Part 2: Application to Latin America. *Frontiers in Earth Science*, 9, 936. <https://doi.org/10.3389/FEART.2021.757742/BIBTEX>
- Hazlett, R. W. (1987). Geology of the San Cristobal volcanic complex, Nicaragua. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 33(1–3), 223–230. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(87\)90064-3](https://doi.org/10.1016/0377-0273(87)90064-3)
- Hodgson, G. (2000). Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua.
- INETER. (2005). Capítulo 3: Geología. Microzonificación Sísmica de Managua. <https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/sis/proyectos/micromana/3-geologia-resx.htm>
- INETER. (2014a). Boletín Vulcanológico Mensual 1999. Volcán Cerro Negro. Boletín Vulcanológico Mensual 1999. <https://webserver2.ineter.gob.ni/vol/bolvol/1999/08/volcan-cerro-negro9908.htm>
- INETER. (2014b). Histórica Volcánica en Nicaragua. Volcán Cerro Negro. Historia Volcánica En Nicaragua. <https://webserver2.ineter.gob.ni/vol/cerronegro/cerneg-his.html>
- INETER. (2014c). Volcán Cosigüina. Volcanes de Nicaragua. <https://webserver2.ineter.gob.ni/boletin/2003/02/volcan-cosiguina0302.htm>
- INETER. (2021a). Boletín mensual Sismos y Volcanes de Nicaragua, Junio 2021. <http://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/sis/bolsis/bolsis.html>
- INETER. (2021b). Boletín Septiembre, 2021 Dirección de Vulcanología.
- INGEMMET. (2011). Tipos de erupciones – Observatorio Vulcanológico de INGEMMET. [http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page\\_id=102](http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=102)
- MacQueen, P., Zurek, J., & Williams-Jones, G. (2016). Connected magma plumbing system between Cerro Negro and El Hoyo Complex, Nicaragua revealed by gravity survey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 327, 375–384. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.09.002>
- Madrid, M. (2020). ¿Qué es el Anillo de Fuego? <https://www.todosismo.com/2020/11/que-es-el-cinturon-de-fuego-del-pacifico.html>
- Martin, R. S., Sawyer, G. M., Spampinato, L., Salerno, G. G., Ramirez, C., Ilyinskaya, E., Witt, M. L. I., Mather, T. A., Watson, I. M., Phillips, J. C., & Oppenheimer, C. (2010). A total volatile inventory for Masaya Volcano, Nicaragua. *Journal of Geophysical Research*, 115(B9), B09215. <https://doi.org/10.1029/2010JB007480>
- McBirney, A. R., & Williams, H. (1964). The origin of the Nicaraguan depression. *Bulletin Volcanologique*, 27(1), 63–63. <https://doi.org/10.1007/BF02597510>
- Paniagua Pérez, S. (2002). Síntesis de Algunos Volcanes Activos y Peligrosos de América Central (Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres (ed.)). CEPREDENAC.
- Pérez-Torrado, F., & Rodríguez-González, A. (2015). ¿Cómo se miden las erupciones volcánicas? El índice de explosividad volcánica. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 23(1), 24–32.
- Pérez, W., & Freundt, A. (2006). The youngest highly explosive basaltic eruptions from Masaya Caldera (Nicaragua): Stratigraphy and hazard assessment. In *Volcanic Hazards in Central America* (Vol. 412, Issue 412, pp. 189–207). Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2006.2412\(10\)](https://doi.org/10.1130/2006.2412(10))
- Pérez, W., Freundt, A., Kutterolf, S., & Schmincke, H.-U. (2009). The Masaya Triple Layer: A 2100 year old basaltic multi-episodic Plinian eruption from the Masaya Caldera Complex (Nicaragua). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 179(3–4), 191–205. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.10.015>
- Protti, M., Giendel, F., & McNally, K. (1995). Correlation between the age of the subducting Cocos plate and the geometry of the Wadati-Benioff zone under Nicaragua and Costa Rica (pp. 309–326). <https://doi.org/10.1130/SPE295-p309>
- Protti, M., Gündel, F., & McNally, K. (1994). The geometry of the Wadati-Benioff zone under southern Central America and its tectonic significance: results from a high-resolution local seismographic network. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 84(1–4), 271–287. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(94\)90046-9](https://doi.org/10.1016/0031-9201(94)90046-9)
- Romero, J., Viramonte, J. G., & Bustillos, J. (2015). Los depósitos de caída de tefra: Una breve revisión sobre su cuantificación y análisis para la clasificación de erupciones volcánicas explosivas, con ejemplos Latinoamericanos. *Pyroclastic Flow*, 5(1), 1–33. [https://www.researchgate.net/publication/283569020\\_Los\\_depositos\\_de\\_caida\\_de\\_tefra\\_Una\\_breve\\_revisión\\_sobre\\_su\\_cuantificación\\_y\\_análisis\\_para\\_la\\_clasificación\\_de\\_erupciones\\_volcánicas\\_explosivas\\_con\\_ejemplos\\_Latinoamericanos](https://www.researchgate.net/publication/283569020_Los_depositos_de_caida_de_tefra_Una_breve_revisión_sobre_su_cuantificación_y_análisis_para_la_clasificación_de_erupciones_volcánicas_explosivas_con_ejemplos_Latinoamericanos)
- Segura, F. F. (2019). Reseña de la Sismicidad en Nicaragua con énfasis en la Depresión Nicaragüense.
- Self, S., Rampino, M. R., & Carr, M. J. (1989). A reappraisal of the 1835 eruption of Cosigüina and its atmospheric impact. *Bulletin of Volcanology*, 52(1), 57–65. <https://doi.org/10.1007/BF00641387>
- Smithsonian Institution. (2011). Report on Concepcion (Nicaragua). *Bulletin of the Global Volcanism Network*, 36(10). <https://doi.org/10.5479/si.GVP.BGVN201110-344120>
- Stephens, K. J., Ebmeier, S. K., Young, N. K., & Biggs, J. (2017). Transient deformation associated with explosive eruption measured at Masaya volcano (Nicaragua) using Interferometric Synthetic Aperture Radar. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 344, 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.014>
- Taddeucci, J., Edmonds, M., Houghton, B., James, M. R., & Vergnolle, S. (2015). Hawaiian and Strombolian Eruptions. In *The Encyclopedia of Volcanoes* (Second Ed, pp. 485–503). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00027-4>
- Tarback, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra. In *Geology* (Vol. 30).
- Tenorio, V. (2011). Boletín Mensual, Sismos y Volcanes de Nicaragua – Junio, 2011, report. In INETER. <https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/vol/bolvol/1999/06/volcan-telica9906.htm>
- Vergnolle, S., & Mangan, M. (2000). Hawaiian and Strombolian Eruptions. In *Enciclopedia of Volcanoes*. Wehrmann, H., Bonadonna, C., Freundt, A., Houghton, B. F., & Kutterolf, S. (2006). Fontana Tephra: A basaltic Plinian eruption in Nicaragua. *Special Paper of the Geological Society of America*, 412(412), 209–223. [https://doi.org/10.1130/2006.2412\(11\)](https://doi.org/10.1130/2006.2412(11))
- Weinberg, R. F. (1992). Neotectonic development of western Nicaragua. *Tectonics*, 11(5), 1010–1017. <https://doi.org/10.1029/92TC00859>
- Williams, S. N. (1983). Geology and eruptive mechanisms of Masaya caldera complex, Nicaragua [Dartmouth College]. 8327813
- Žáček, V., Hradecký, P., Hroch, T., Guarín, F., & Pérez, E. (2020). Geología del Geoparque Río Coco (IGG-CIGEO/UNAN-Managua (ed.); Segunda Ed). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua