

Estado actual del conocimiento en el área de la Subcuenca Hidrográfica Tisma, Apoyo y Manares en la zona del Pacífico de Nicaragua

Por:

Tupak Obando Rivera

Ingeniero en Geología. Master y Doctorado
dentro del Programa Interuniversitario de
Doctorado y Maestría en Geología y Gestión
Ambiental de los Recursos Mineros por la
UNÍA (Huelva, España)

2007

CONTENIDO

I. Introducción

II. Geomorfología del Área

2.1. Geomorfología

2.1.1. Marco Geomorfológico Regional: Su Historia

2.1.1.1. Cordillera Volcánica de Nicaragua

2.1.1.2. Depresión Nicaragüense

2.2. Clasificación Geomofológica local

2.3. Descripción de las Unidades Geomorfológicas Locales

III. Geología

3.1. Geología Regional

3.2. Estratigrafía y Unidades Geológicas locales

3.3. Tectonica Regional

3.4. Geología Estructural

3.4.1. Fallas y Fracturas

3.4.2 Lineamientos

3.4.3. Estructuras de Calderas (Apoyo, Masaya)

IV. Principales Amenazas y Peligros

4.1. Amenaza volcánica

4.1.1. Volcanismo de Nicaragua

4.1.2. Volcanismo de Mombacho

4.1.3. Volcanismo de Apoyo

4.1.4. Volcanismo de Masaya

4.1.5. Zona de alteración hidrotermal

4.2. Amenaza sísmica

4.2.1. Reseña Histórica de la Sismicidad en Nicaragua

4.2.2. Sismicidad de Nicaragua

4.2.3. Sismicidad en la Caldera de Apoyo

4.2.4. Sismicidad en el complejo volcánico de Masaya

Bibliografía recomendada

I Introducción

El presente Informe tuvo por objetivo evaluar la situación actual del conocimiento del área de la Subcuenca Hidrográfica Tisma, Apoyo y Manares en la región del Pacífico de Nicaragua para la planificación física y ordenamientos de territorios

Este trabajo se realizó por la disponibilidad de datos técnicos, es un área de fácil acceso, en esos terrenos se desarrollan obras importantes de ingeniería, y constituye una zona con significativo desarrollo económico, comercial, turístico e industria, en que habitan volumen considerable de persona que habitan en el lugar.

El área tiene forma alargada con extensión variable, comprendida entre los municipios de Masaya, Tipitapa y Granada. El documento incluye como recursos ilustrativos, fotos, mapas, imágenes aéreas, entre otros. Este informe presenta un análisis de la situación actual del área, descripción y planteamientos específicos.

II Geomorfología del Área

2.1. Geomorfología

2.1.1. Marco Geomorfológico Regional: Su Historia

En esta sección se tratan dos de cinco unidades geomorfológicas que conforman la geología histórica de Nicaragua, siendo predominante en el área de este Estudio. Por lo cual, se dedica tiempo y espacio en este documento. Estos son:

- La Cordillera Volcánica de Nicaragua
- La Depresión Nicaragüense.

Es preciso decir que las unidades geomorfológicas hasta la fecha conocida han recibido con el tiempo distintos nombres técnicos (por ejemplo, *Estructuras Morfotectónicas*), siendo descritas por varios autores geólogos de nacionalidad nicaragüense, o bien, extranjera (McBirney and Williams, 1,965; Hunting Geology and Geophysics Ltd, 1,972; Hodgson, 1,976; Julio Garayar, 1,977; entre otros).

2.1.1.1. Cordillera Volcánica de Nicaragua

En la actualidad, los volcanes sobre placas tectónicas en colisión, conforman una cadena lineal de gran longitud, constituyendo un área débil, fluida y apropiada para las cámaras magmáticas que tienen origen a partir de fisuras profundas que conectan con la superficie. El arco volcánico de Nicaragua está desviado conformando variaciones en el rumbo de su alineamiento en dos sectores, cuya distorsión se encuentra próxima a la ciudad de Managua. (Hodgson, 2002)

Hodgson, expresó que la cadena volcánica de Nicaragua se conforma en su sector Noroeste por la Cordillera de Marabios con cinco grandes conos volcánicos, mientras que en su sector Sureste se constituye de seis centros volcánicos.

Según Hodgson, el volcanismo es efusivo al Noroeste y predominante explosivo al Sureste. El volumen promedio de magma emitido por las erupciones alcanzan los 10 km³/km/m.a. (en los últimos 450,000 años)

Ilust. No 1. Cordillera Volcánica del Pacífico.
Cortesía de Ineter



Por otro lado, es preciso mencionar que Nicaragua contiene 18 volcanes mayores, si bien existen muchos otros que se encuentran extintos o son conos incipientes en proceso de evolución. De ellos 12 han mostrado históricamente alguna actividad.

Rodríguez, A. et. al. (2000), expresan que paralela a la Costa del Pacífico de Nicaragua se localiza esta alineación de estructuras volcánicas de dirección Noroeste – Sureste, extendiéndose por 300 km desde el golfo de Fonseca hasta el lago de Nicaragua. Sobre esta línea se pueden contar unas 30 formaciones, entre las que figuran conos en diversos estados de desarrollo, calderas de hundimiento, cráteres, lagunas, conos adventicios, entre otros.

En algunos casos se observan nuevas estructuras montadas sobre viejos edificios volcánicos, extintos o derrubios, como el San Cristóbal, El Hoyo y Momotombo. Otras

veces, una sucesión de cráteres indica el desplazamiento del foco eruptivo sobre la cresta volcánica (Télica y Masaya).

Esta fuente, asegura que la alineación volcánica de Nicaragua inicia en la Península de Cosiguina, con el volcán del mismo nombre, en el extremo noroeste y termina con los dos volcanes de la Isla de Ometepe en el Sureste, especialmente finaliza con el extinto volcán Maderas. Esta línea no este continua ni necesariamente recta.

A su vez, **Rodríguez, A. et. al. (2,000)**, dicen que la flexión de la alineación en el área de Managua corresponde posiblemente a un cambio de inclinación o buzamiento de la parte frontal de la placa Cocos, al subducir debajo de la Placa Caribe, afectando no sólo la alineación volcánica sino la forma del litoral del Pacífico.

Según estos autores, toda la cadena volcánica nacional ha surgido hacia la superficie de la corteza por efectos de la interacción entre las Placas Cocos y Caribe. La fricción entre éstas y el calor intenso que generan sus movimientos subterráneos, derriten porciones de la Placa Cocos.

El material rocoso fundido sometido a tensión y compresión, busca salida a través de zonas débiles de la corteza ascendiendo hasta la superficie donde forma los edificios volcánicos.

2.1.1.2. Depresión Nicaragüense

Según **McBirney, W. (1965)**, este graben constituye depresión tectónica de forma alargada cuyo orígenes se remontan a la Era del Mioceno Superior y Plioceno Inferior hasta Terciario Superior.

La fuente, opina que este Graben tiene de 1 a 2 kilómetros de relleno de sedimentos volcánicos y depósitos aluviales con ritmo de subsidencia estimado en 1.3mm/año con 45 a 50 km de ancho y 500 km de extensión, en cuyo interior se ubican dos grandes lagos de agua dulce, cubriendo el 50% de su superficie.

De acuerdo con la opinión **Hodgson (2,002)**, la Depresión de Nicaragua se extiende paralelamente a la Costa del Pacífico del país, alcanzado en su parte Sur los llanos de la Costa Atlántica de Costa Rica. Este Graben de Nicaragua se ubica paralelo a la cadena volcánica de Nicaragua, sobre la Placa Tectónica de Caribe (más adelante explicado).

Resultado de las colisiones entre las placas de Coco con la Caribe se producen esfuerzo de compresión local que tienen expresión superficial con la aparición de fallas geológicas en sus bordes laterales.

2.2. Clasificación Geomofológica local

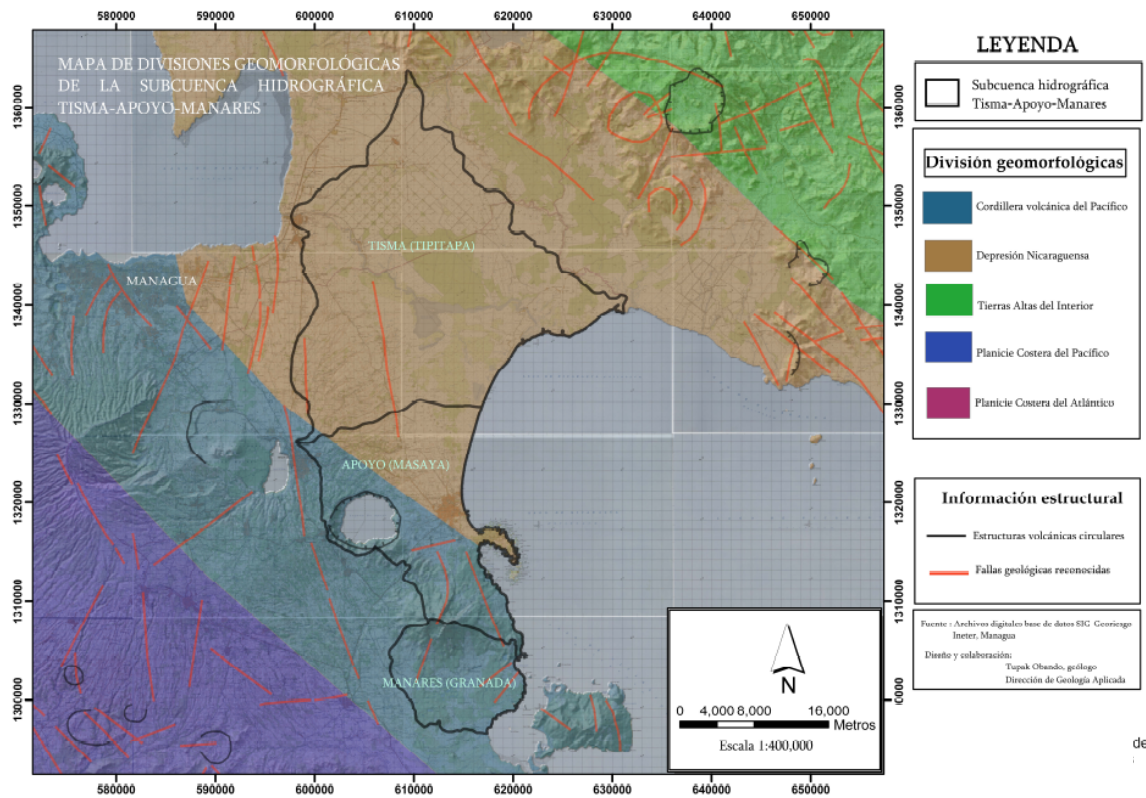
El territorio de interés engloba terrenos de cuatro municipalidades ubicada en la región del Pacífico de Nicaragua, estos son: Tipitapa (Departamento de Managua), Tisma y Masaya (Departamento de Masaya) y Granada (Departamento de Granada).

El presente Estudio, se realiza en conocida Subcuenca hidrográfica Tisma – Apoyo-Manares, situada en estos municipios, cuya tipificación geomorfológica es influenciada por los procesos tectónicos y geológicos vinculados con la zona de interacción de placas tectónicas, actividad volcánica reciente y la activación de fallas geológicas con expresión topográfica superficial marcada en ese territorio investigado, como por ejemplo La Falla Cofradía.

2.3. Descripción de las Unidades Geomorfológicos

Locales

Las unidades geomorfológicas resaltantes son los terrenos llanos y bajos de la municipalidad de Tipitapa, seguido de la caldera volcánica de Laguna de Apoyo en la Ciudad de Masaya, y por último el Volcán Mombacho en la Ciudad de Granada. Estas estructuras del relieve está insertas a la Depresión de Nicaragua, y Cordillera volcánica Nicaragüense, en terrenos cuyas pendientes no supera los 50 grados de inclinación. Todo lo anterior se ilustra en el mapa que sigue.



Ilustr. No 2. Geomorfología local. Diseño y Realización T. Obando

En la Ilustración anterior, se muestran ocho fallas geológicas activas de edad Reciente con forma lineal y curva, siendo su desarrollo preferente Noroeste – Sureste dentro del área de la Subcuenca Hidrográfica Tisma – Apoyo –Manares.

Hay que destacar que la estructura circular de la Laguna de Apoyo con origen volcánico tiene dimensiones variables, ubicándose al Suroeste de Catarina (Masaya).

III. Geología

3.1. Geología Regional

La configuración geológica de Nicaragua tuvo origen en la Era Paleozoica existiendo hasta nuestros días. En su proceso evolutivo, la región de Nicaragua fue afectada por eventos muy característicos como erupciones volcánicas, actividad sísmica, entre otros, no siendo igual en toda la zona del país.

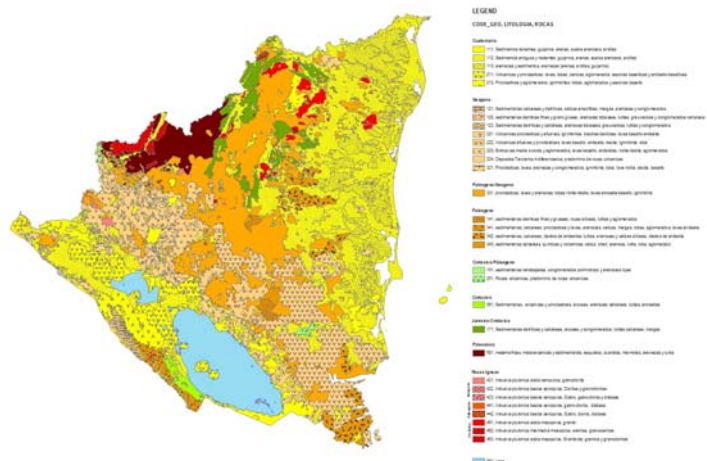
Estos eventos geológicos son las particularidades empleadas para la subdivisión del país en diferentes provincias geológicas.

Una de las diversas clasificaciones disponibles para la descripción de estas provincias, fue la propuesta realizada por el geólogo Nicaragüense Glen Hodgson, debatida y compartida por autores nacionales.

En la actualidad, las clasificaciones geológicas son empleadas en claros propósitos de inversión económicas destinado en proyectos de actuación vinculados, por ejemplo, con la geotermia, hidroelectricidad, explotación petrolera, Ingeniería del Terreno, entre otros.

El territorio nacional ha sido dividido en cinco provincias que reflejan el ambiente geológico del país, las cuales son:

- (1) Provincia de la Planicie Costera del Pacífico
- (2) Provincia de la Depresión o Graben de Nicaragua
- (3) Provincia del Área Central de Nicaragua
- (4) Provincia del Norte de Nicaragua
- (5) Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica.



Ilustr. No 3. Marco Geológico de Nicaragua.

Cortesía de INE

Las provincias geológicas ya referidas, se distinguen en su geomorfología, estratigrafía, geotectónica, geología histórica, y geología económica.

El área de este Estudio se sitúa en terrenos de la Provincia de Depresión de Nicaragua, y Provincia de la Cordillera Volcánica, razón por la cual, se detalla las características geológicas propias de las mismas.

3.1.1 Provincia de la Depresión o Graben de Nicaragua

Comprende el área del graben de Nicaragua, como es conocido, caracterizado por presentar fosas de mar profundo, regiones de plataforma, cadenas de volcanes activos, terremotos y rasgos tectónicos activos. Esta provincia limita al Norte con la Costa de Cosiguina (Golfo de Fonseca); al Sur con Costa Rica (penetrando en los llanos de la Costa Atlántica de Costa Ricas); al Oeste con la Cordillera de Mateare; y al Este con los lagos donde comienza a levantarse las áreas montañosas.

La geomorfología de esta Provincia es típica de relieve bajo, poco ondulado donde se encuentran dos grandes lagos de Nicaragua, comprenden también, elevados conos volcánicos de la cordillera Marabios y los relieves circulares de los cráteres y calderas algunas con lagunas. Este graben se caracteriza por ser una gran cuenca hundida.

La Provincia de la Depresión de Nicaragua presenta el predominio de rocas volcánicas y depósitos sedimentarios con data geológica del Pleistoceno y Reciente. Las rocas más características están comprendidas en la serie piroclástica de la Formación La Sierra y el Grupo Managua, pero hay también flujos lávicos de actividades volcánicas recientes. Todo el conjunto de roca superficial tiene espesor mayor de los 900 hasta 2,000 metros (este último valor, según datos de perforaciones en depósitos piroclásticos). Igualmente, abundan en esta Provincia, los depósitos fragmentarios: arenas, lapillo, basalto escoriáceo, entre otros.

En el territorio de interés se hallan materiales pertenecientes al Grupo Las Sierras (TQps), razón por el cual se describe esta unidad geológica.

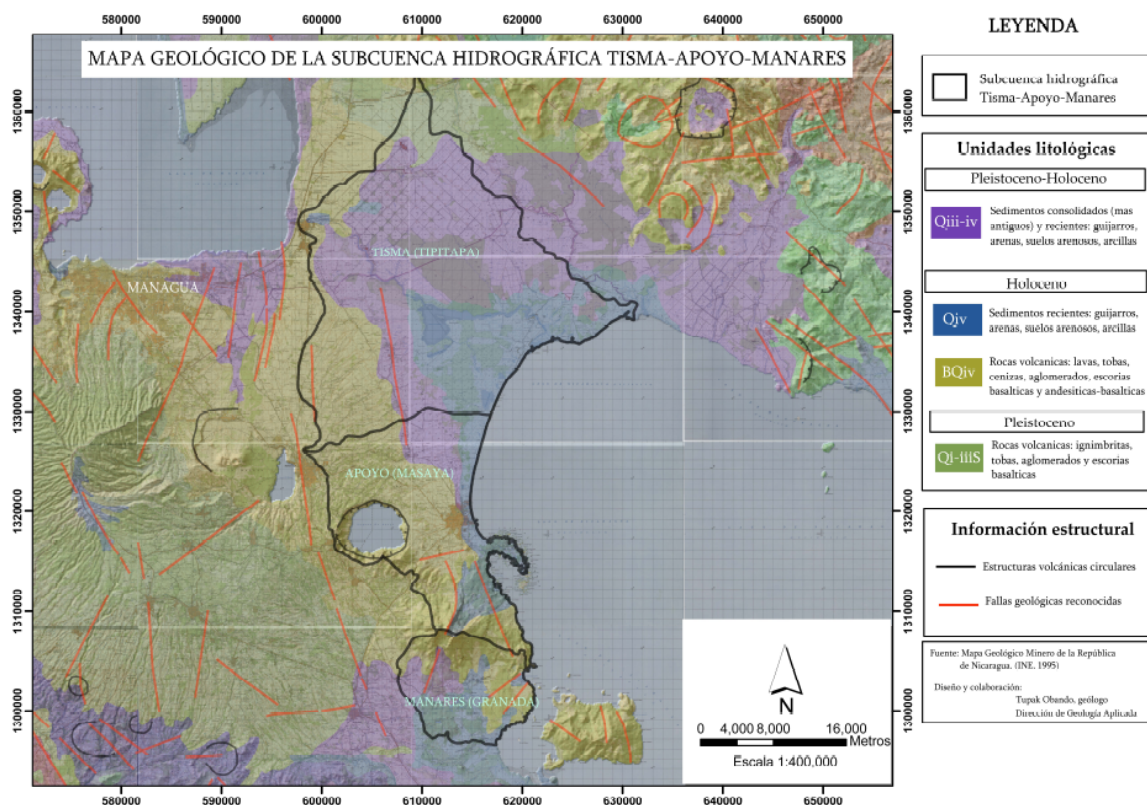
Conformada por depósitos volcánicos recientes, piroclastos, pómez, lapilli, ceniza, flujo de lodo, flujo de pómez, y sedimento fluvial lacustre de 680m de espesor y unos 100,000 años de edad sobre el cual se asienta la ciudad de Managua. Los suelos que se desarrollan sobre el Grupo la Sierra son limoso, arenosos y gravosos poco cohesivos, inconsolidado y heterogéneo conocidos en la estratigrafía de Managua y alrededores como Cuaternario aluvial (Qal) y Cuaternario Coluvial (Qc). Los primeros, provenientes de zonas de ríos o cauces que originan depósitos arenosos y arcillosos aluviales. Los segundos, resultantes de sedimentos provenientes de los edificios volcánicos jóvenes y zonas montañosas de la Sierras alta de Managua. **(Hodgson, G., 2002)**

3.2. Estratigrafía y Unidades Geológicas locales

Estudios realizados por el Instituto Nicaragüense de Energía en el año 1,995 revelan cuatro unidades geológicas que conforman la estratigrafía, las cuales se presentan en mapa abajo.

En este Mapa No x, se muestra el desarrollo espacial de sedimentos consolidados antiguos compuestos por arenas, arcillas y guijarros, representados en zona color violeta. Este material data de edades del Pleistoceno – Holoceno, y cubre la mayor parte del territorio de Tisma (Tipitapa), y porciones pequeñas de terreno al Este de la Caldera de Laguna Apoyo en Masaya.

Asimismo, en la ilustración se presentan la ubicación del material volcánico que componen la estructura del subsuelo local, siendo estos lavas, tobas, cenizas, aglomerados, escorias basálticas y andesíticas-basálticas, las cuales se sitúa en la franja color amarillo. Estos materiales afloran mayormente en la Caldera de Apoyo (Masaya), y partes relativamente menores del Volcán Mombacho en Granada.



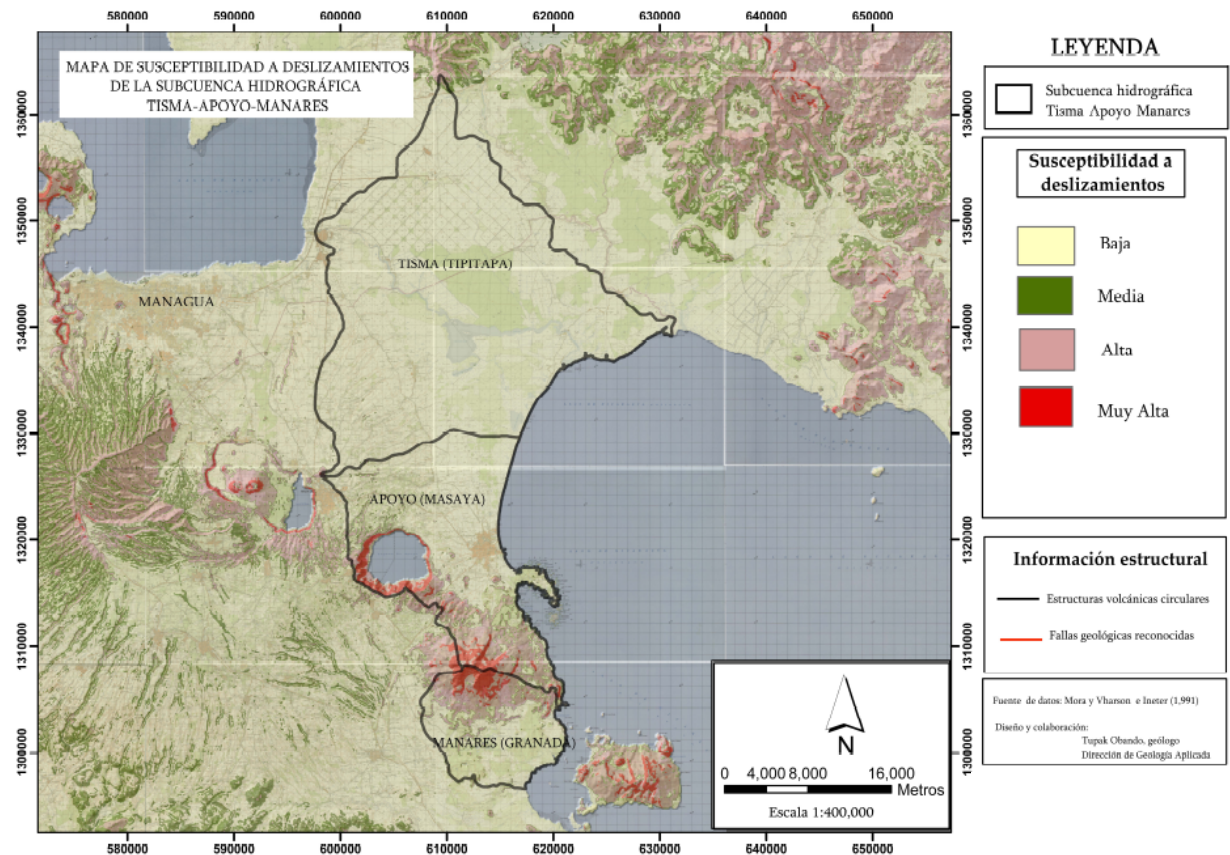
Ilustr. No 4. Unidades geológicas, y partes de los mismos.

Diseño y Realización T. Obando, 2009

Por otro lado, Según estimación del organismo regional Alemán especializado (BGR con sede en la ciudad de Managua, Nicaragua) a través de la Metodología de Mora y Varhson (1,991) señalan una zona de alta, y muy alta susceptibilidad por

deslizamientos en la Caldera de Laguna Apoyo (Masaya), y el Volcán Mombacho (Granada)

Los criterios empleados han sido el relieve relativo (entre 4 y 38 grados) , la litología(desde ligera a profundamente compacto y fracturados), la humedad del suelo, la actividad sísmica (con aceleraciones sísmica entre 0.098 y 5 m/seg²) y la precipitación máxima (entre 100 y 400mm/día). Factores influyentes en la generación de posibles movimientos de laderas superficiales locales



Ilustr. No5. Susceptibilidad relativa por deslizamientos locales.

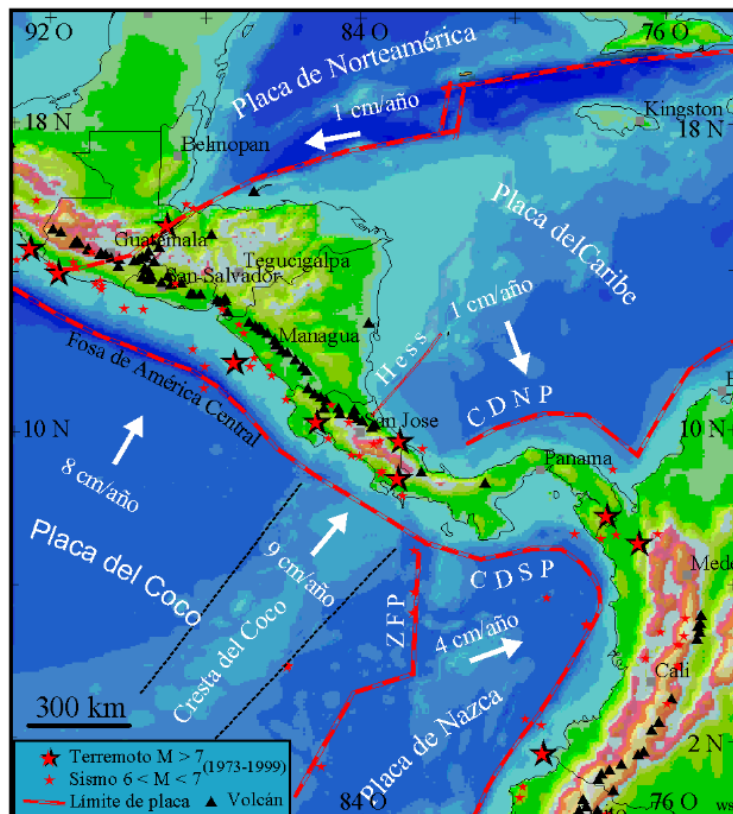
Diseño y Realización T. Obando, 2009

3.3. Tectonica Regional

Estudios realizados (**Ineter, 2000**), considera que la interacción entre las Placas de Cocos y Caribe, una por debajo de otra, ocurre a una tasa de ocho centímetros, aproximadamente, por año. Motivo principal en la generación de sismos importantes con magnitudes hasta de 8 grados Richter en el margen del Pacífico de Nicaragua, especialmente, en sitios de volcanes activos.

Debajo de Managua, la placa subducida ya alcanza profundidades de más de 200 km. En esta profundidad, se funde parte del material de la placa del Coco por las altas temperaturas del manto terrestre. El material fundido de la placa del Coco sube casi

verticalmente y penetra la placa del Caribe a lo largo de una línea casi recta; forma así la cadena volcánica, y causa erupciones volcánicas y sismos superficiales. La cadena volcánica corre en dirección Noroeste-Sureste y es un alineamiento de estrato-conos y escudos volcánicos situados en las tierras bajas. (**Ineter, 2000**)



Ilustr. No 6. Tectónica de Nicaragua. Cortesía de Ineter.

3.4. Geología Estructural

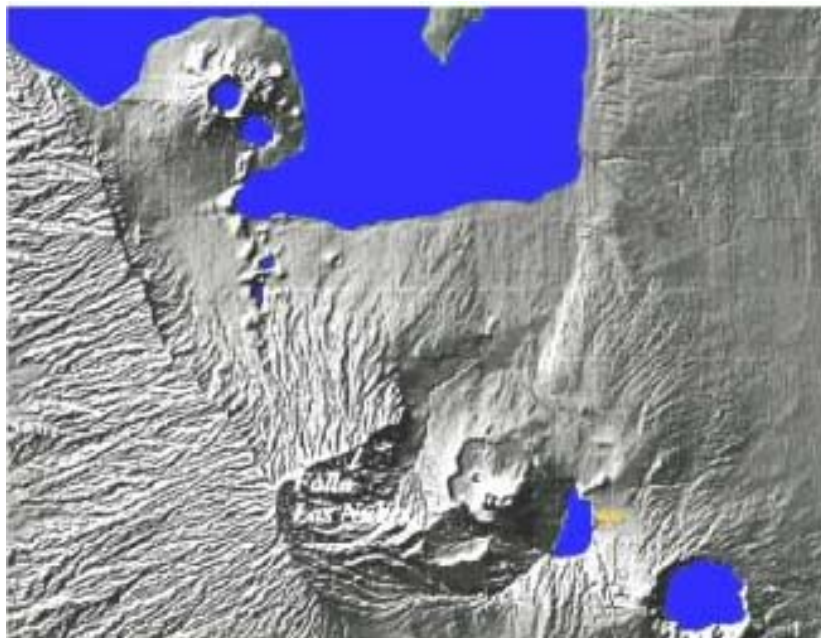
3.4.1 Fallas y Fracturas

El estado de fracturación de los materiales geológicos locales tiene su origen en los esfuerzos tectónicos regionales que generan la interacción de las placas tectónicas en territorio nacional. Ellos determinan la orientación de fracturas superficiales y su desarrollo preferente en el terreno.

Sin embargo, la distribución y/o surgimiento del conjunto de fracturas áreas relativamente amplias como la seleccionada en el presente de trabajo están en función de la litología, su resistencia mecánica y condición física puntual.

3.4.2 Estructuras de Calderas (Apoyo, Masaya)

Hace 23,000 años tuvo origen la caldera de la laguna de Apoyo con dimensiones de 6,5 km de diámetro, expeliendo flujos de pómez que alcanzaron espesores de 37 metros en áreas próximas al centro de emisión, y a distancias mayores alcanzaron a sepultar con una capa de 15 metros de espesor el terreno donde hoy se asienta la ciudad de Granada.



Ilustr. No 7 Caldera de Apoyo (Catarina, Masaya) y sus alrededores
Cortesía de Ineter

IV.Principales Amenazas y Peligros

4.1. Amenaza volcánica

4.1.1. Volcanismo de Nicaragua

La actividad volcánica de Nicaragua se remonta a la Era del Cretáceo superior con la presencia de rocas volcánicas intercaladas en conglomerados sedimentarios de una de las formaciones geológicas que aflora en la región Norte del país, conocida por el nombre de Formación Tototalpa.

Algunos especialistas (Rivera, P., 1962; Myers, R., 1999), aseguran, también, la ocurrencia de rocas volcánicas en estratos sedimentarios que datan de la Era Mesozoica, encontrado en la Formación geológica Metapán en la cuenca del Bocay.

Por otro lado, Dengo, G. (1968), advirtió que la historia tectónica de América Central durante las Eras Paleozoica y Mesozoica muestra la existencia de actividades volcánicas de tipo ofiolíticas.

A la fecha, han sucedido episodios volcánicos intensos sobre toda la Provincia Central, Depresión de Nicaragua y Provincia de la Costa del Pacífico, datando estos eventos del Terciario Superior y Cuaternario al presente, con clara evidencia superficial manifestada a través de la presencia de conos volcánicos, cráteres circulares, actividad fumarólica y fuente termales en el país.

Las erupciones volcánicas resultantes de los intensos episodios eruptivos conllevo la expulsión al exterior de rocas de composición ácida (tobas y riolita), y en menor escala rocas básicas (basalto).

Las rocas volcánicas predominantes en el país son: andesita, dacita, ignimbritas, tobas, riolitas, basaltos y rocas piroclásticas (aglomerados, tobas, pómez, entre otros)

Estas rocas volcánicas se asocian a tres grupos importantes que reciben su denominación por su posición geográfica en donde ocurren: Grupo Matagalpa, Grupo Coyol y Grupo La sierra, y un cuarto grupo con el nombre de Formación Tamarindo, todas estas, datan de la Era del Cretáceo y el Terciario, siendo fiel testigo de la actividad volcánica de aquel entonces.

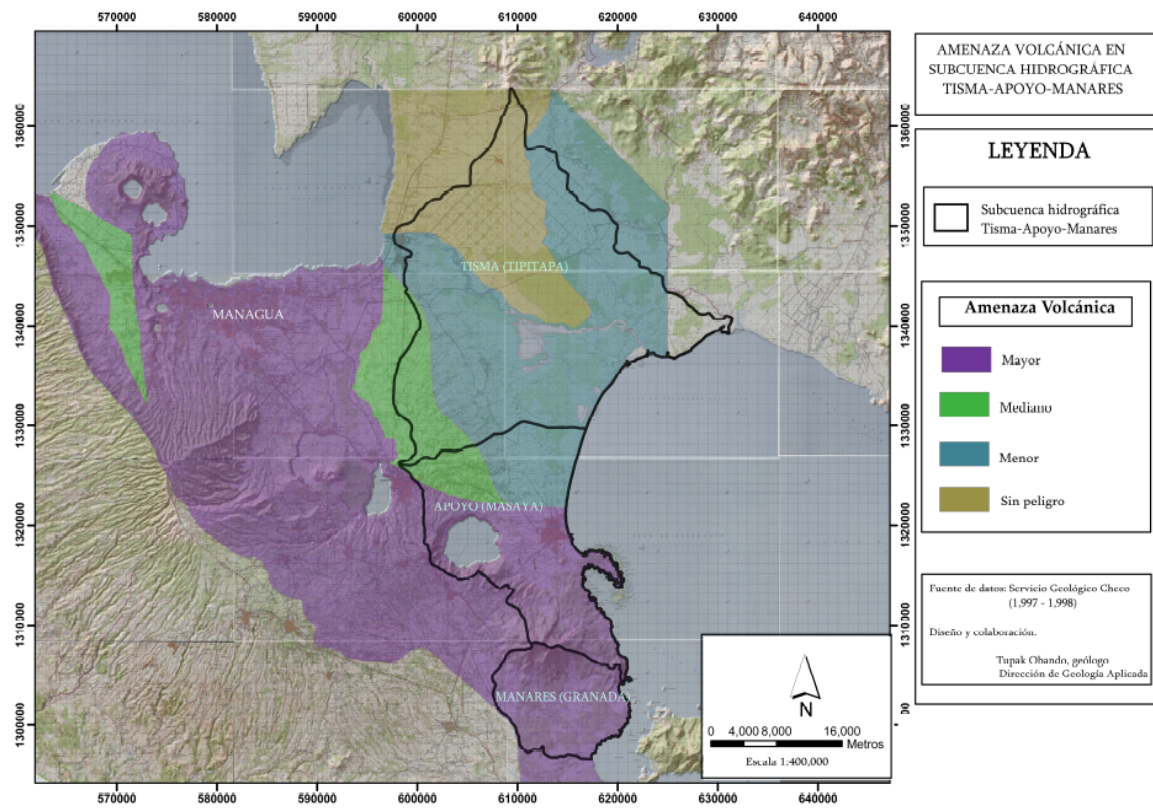
A su vez, la actividad volcánica conocida se remonta de la Era del Cuaternario, siendo activa en algunos centros volcánicos ubicados en la Costa del Pacífico, como el Cerro Negro, Telica, Momotombo y otros.

La Región del Pacífico de Nicaragua, presenta una Cadena Volcánica que forma una línea de conos y cráteres, se extienden desde la Península de Cosigüina al Oeste, hasta la Isla de Ometepe al Sur. Esta alineación se debe a que los Volcanes están dispuestos a lo largo de la grieta, fractura o falla que rompe la corteza terrestre hasta la profundidad de 10 kilómetros donde se encuentra el magma. A lo largo de la Cadena Volcánica se encuentran Volcanes activos, siendo éstos:

4.1.2. Volcanismo de Mombacho

El volcán Mombacho, a pesar de no haber sido activo en tiempos históricos, tiene el potencial de producir desprendimientos de masas y lahares. Prueba de esto es el evento ocurrido en el tiempo histórico en el año 1570. El evento fue desencadenado por intensa lluvia, siendo su naturaleza similar al Volcán Casita. El flujo de material al Sur del volcán inundó y arrasó con el poblado en El Mombacho, ocasionando pérdida de 400 personas. El poblado ya no existe y se desconoce su ubicación exacta. Otro deslizamiento gigantesco en el Volcán Mombacho ocurrió en tiempos geológicos y generó las isletas de Granada.

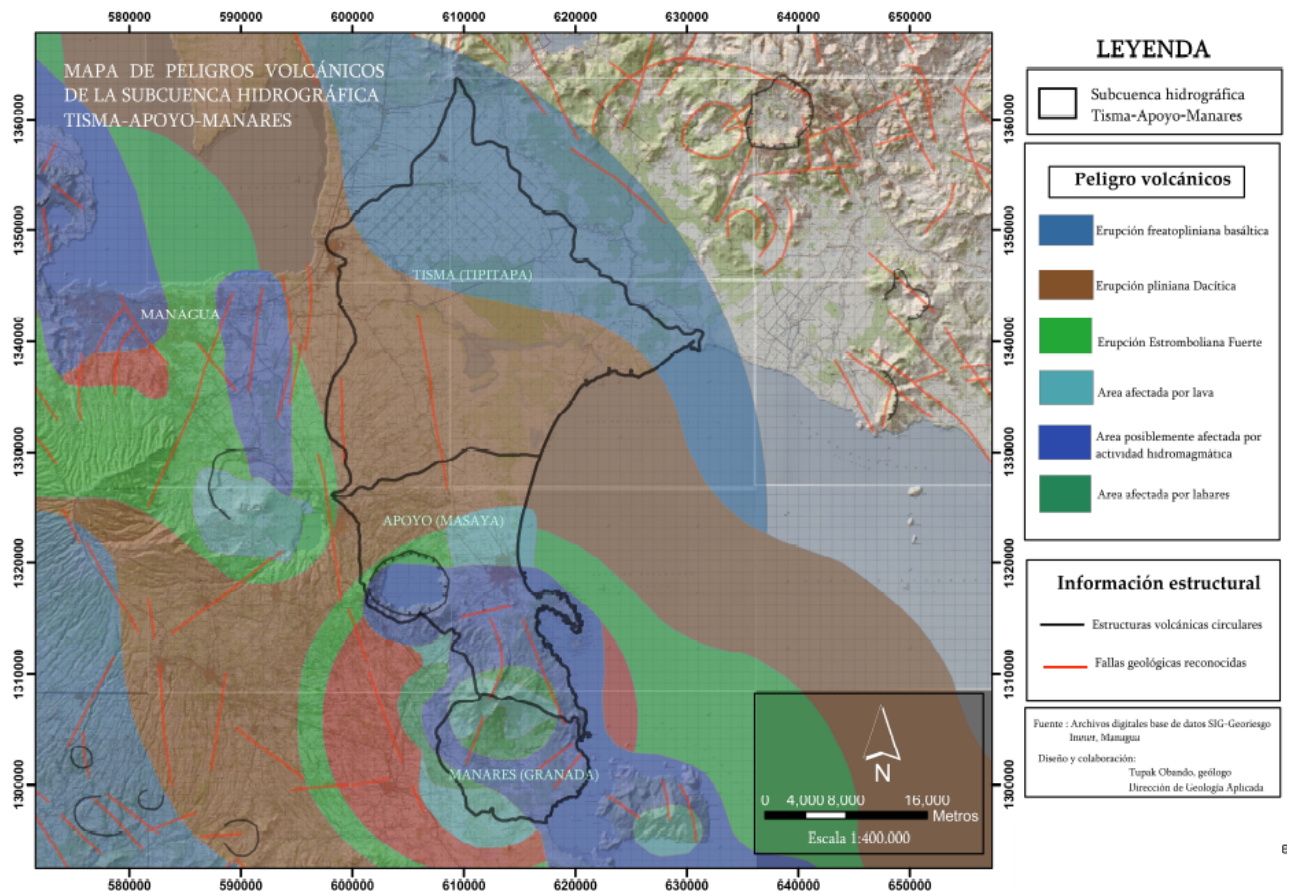
Según los recientes datos del Servicio Geológico Checo han revelado entre los años 1,997 y 1,998 que la zona con mayor calificación de amenaza volcánica (Mapa No x) están comprendida en las áreas, de Caldera de Laguna Apoyo (Masaya), y El Volcán Mombacho (Granada).



Ilustr. No 8. Susceptibilidad relativa ante amenaza volcánica.

Diseño y Realización T. Obando, 2009

De acuerdo con datos aportados por la Dirección de Georriesgo adscrita a la Dirección General de Geofísica del Ineter, indican seis tipos de peligros volcánicos presentes en el área del Estudio, entre estos encontramos episodios eruptivos en forma de flujos de lavas, lahares, y la emisión de material fragmentario tal como se ilustra en el mapa que sigue.



Ilustr. No 9. Peligros volcánicos. Diseño y Realización T. Obando, 2009

4.1.3. Volcanismo de Apoyo

Las evidencias geológicas muestran que el volcanismo en Apoyo ha tenido 4 fases bien diferenciadas:

FASE1: Antes de la formación del relieve actual de Apoyo en la zona estaban depositándose grandes masas de piroclastos clasificados como Las Sierras. El origen de estos depósitos aún no está del todo esclarecido pero según Hradecký et al (1998), uno de los centro eruptivos estaba situado en Apoyo. Estos autores identifican una serie de depósitos relacionados con el colapso de una posible Caldera anterior a la actual que llaman Grupo Caldera Pre Apoyo (CAP).

FASE2: En una primera etapa predominaban las erupciones basálticas y andesíticas tipo hawaiano, construyéndose el edificio volcánico Pre-Caldera. Adyacentes a este edificio, que podría estar constituido por dos centros eruptivos principales (como parece evidenciar la distinta composición entre la lavas del sector Oeste y el sector Sureste), se produjeron edificios secundarios con un estilo eruptivo distinto, estromboliano en el borde oeste (cerro pacaya) y peleano en el Sur (domos dacíticos de El Cerrito, El Cerritiro y Veracruz) , en una fase terminal..

FASE3: Tras un periodo de inactividad durante el que seguramente se diferenció la cámara magmática de Apoyo (el magma fue evolucionando de básico –composición basáltica – a ácido –composición dacítica -) hasta que entró en erupción explosiva de tipo plineana y freato-magmáticas. Se produjeron dos grandes eventos hace unos 22.000 a 25.000 años (Sussman, 1985, Kutterolf et al, 2007). Según el estudio Kutterolf et al (2007) se depositaron al menos 19 km³ de materiales piroclásticos (aproximadamente 6.000 millones de toneladas), aunque se aproxima más a 60 km³ incluyendo los depósitos encontrados en el mar cuenta alcanzando distancias más de 400 km., alturas de columnas eruptiva entre 28 y 35 km. y una tasa de descarga de masa entre 0.3-7 x 10⁸ kg/s (es decir que cada segundo se expulsaba por el centro eruptivo del Volcán Apoyo 300.000 tonelada de piroclastos). La ultima de estas dos erupciones supone la de mayor dimensiones registrada hasta el momento en toda Nicaragua (Kutterolf et al 2007). Estos autores calculan que el volumen de tefras expulsadas es 5 veces mayor que el volumen del edificio volcánico de Apoyo.

FASE4: Tras estas actividades el Complejo Volcánico de Apoyo han mantenido una escasa actividad. Se han encontrado numerosas zonas de alteración hidrotermal (comentadas a continuación) entre las que destaca la presencia de agua de hasta 97 °C según Zúñiga et al (2004), y de 62°C según el estudio paralelo sobre hidrogeología que se ha estado realizando (Vázquez-Prada et al, 2007). Esta información atestigua que existe una actividad volcánica que sigue activada en la zona.

Tras el terremoto del 2000 hubo muchos rumores entre la población sobre fenómenos como burbujeo en la laguna, que tras un inmediato estudio INETER descartó como infundadas (INETER, 2000). Esta institución realizó en aquel entonces mediciones de la temperatura de la Laguna y fuentes termales obteniendo temperatura mucho más

elevadas que en actualidad. Si las mediciones se realizaron en condiciones similares indicaría que alguna afectación tuvo el terremoto en la salida de gases caliente a la superficie, ya que la temperatura de todos los puntos muestreados aumentó, incluida la propia laguna (37°C para la Laguna es un aumento realmente muy alto con su temperatura habitual).

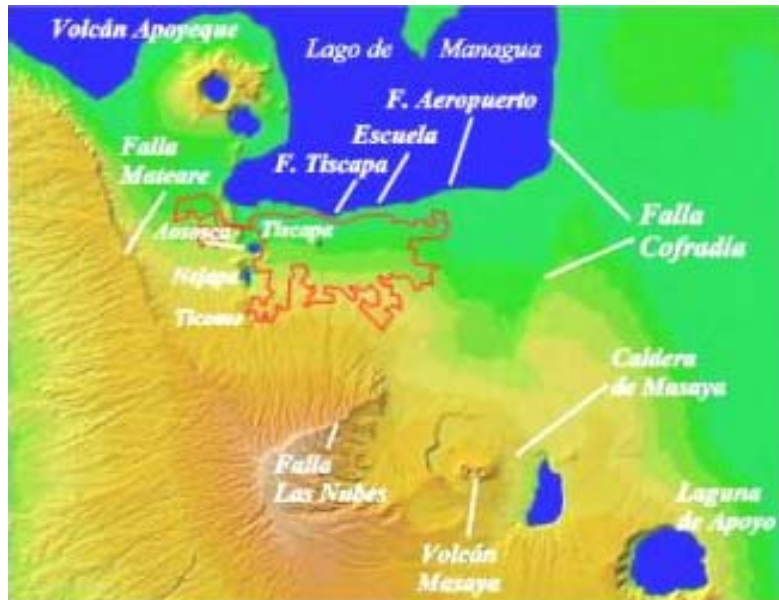
Ilustr. No 10. Datos comparativos de temperatura del agua en la Caldera de Apoyo después del terremoto del 2000 y en la actualidad

Temperatura en agua	Laguna de Apoyo	El Hervazal	Zona de Estancia Adriana
Julio 2000 (INETER)	37°C	80°C	55°C
Abril 2007 (Vázquez-Prada et al)	31°C	62°C	39°C

Tal y como indican varios autores (Sussman, 1982, INETER, Kutterof et al, 2007) el Volcán Apoyo está todavía activo. Kutterolf et al (2007) describen a Apoyo como un volcán con un periodo relativamente largo de retorno, del orden de los 104 años (decenas de miles de años), cuyo sistema magmático está aún activo aunque con los datos existentes es difícil predecir cuando puede reactivarse. Tanto estos autores como Sussman (1982) identifican una serie de pequeños depósitos explosivos previos a los dos grandes eventos de Apoyo, de lo que se puede inferir que si en el futuro Apoyo entra en erupción seguramente habría una serie de pequeñas erupciones previas, precursores de un posible evento mayor. Igualmente la reactivación vendría acompañada de otros indicativos previos como aumento de sismos y flujos de gases.

4.1.4. Volcanismo de Masaya

El Complejo volcánico de Masaya se mantiene en una actividad cuasi permanente. El complejo es una enorme caldera con múltiples cráteres, de los cuales, el cráter Santiago mantiene una actividad fumarólica constante, con explosiones esporádicas, sobre todo de origen freático.



Ilustr. No 11. Complejo Volcánico Masaya.

Cortesía de Ineter

Las últimas dos erupciones que se dieron en el complejo volcánico del Masaya, fueron en 1670 y 1772, las cuales originaron los dos flujos de lava que cubren el piso Norte de la caldera. Estos flujos de lava abandonaron la caldera y recorrieron una distancia de hasta 7 Km. en dirección Norte, hasta las cercanías del cerro Mosintepe.

En la Tabla que sigue se detalla la historia eruptiva desarrollada por el volcán Masaya en los últimos cuatrocientos años hasta el año 1,997.

Ilustr. No 12. Registros histórico de los eventos eruptivos del Volcán Masaya.

Fecha	Depósitos -tefra- (m³)	Daños	Observaciones	Altura de columna (km.)
1524	<10 ⁴		Actividad central. Lago de lava	<0.1
1551	<10 ⁴		Actividad central. Lago de lava	<0.1
1570	<10 ⁴		Actividad central. Lago de lava	<0.1
1670	(1x10 ⁷)		Actividad central explosiva. Flujo de lava.	3-15
1772	(1x10 ⁶)	Propiedades y otras infraestructuras humanas	Actividad central explosiva. Flujo de lava. Fisuras radiales	1-5
08 de Junio de 1852	(1x10 ⁶)		Actividad central explosiva. Flujo de lava. Fisuras radiales. Las aguas de la laguna de Masaya expelen gases	1-5
1853	(1x10 ⁴)		Actividad central explosiva freática.	0.1-1
1856	(1x10 ⁶)		Actividad central explosiva	1-5
1858	(1x10 ⁶)		Actividad central explosiva	1-5
27 de Enero de 1859			Erupción de cenizas con duración de pocas horas	
1902	(1x10 ⁶)	Propiedades y otras infraestructuras humanas	Actividad central explosiva	1-5
1904	(1x10 ⁶)		Actividad central explosiva	1-5
1906	(1x10 ⁶)	Propiedades y otras infraestructuras humanas	Actividad central explosiva. Fisuras radiales	1-5
1913	(1x10 ⁴)		Actividad central. Lago de lava	0.1-1
1919	(1x10 ⁶)	Propiedades y otras infraestructuras humanas	Actividad central explosiva	1-5
1946	(1x10 ⁴)		Actividad central explosiva. Lago de lava.	0.1-1
1965	(1x10 ⁴)	Propiedades y otras infraestructuras humanas	Actividad central explosiva. Lago de lava. Flujo de lava.	0.1-1
1987	(1x10 ⁴)		Actividad central explosiva freática.	0.1-1
1989	(1x10 ⁴)		Actividad central explosiva. Lago de	0.1-1

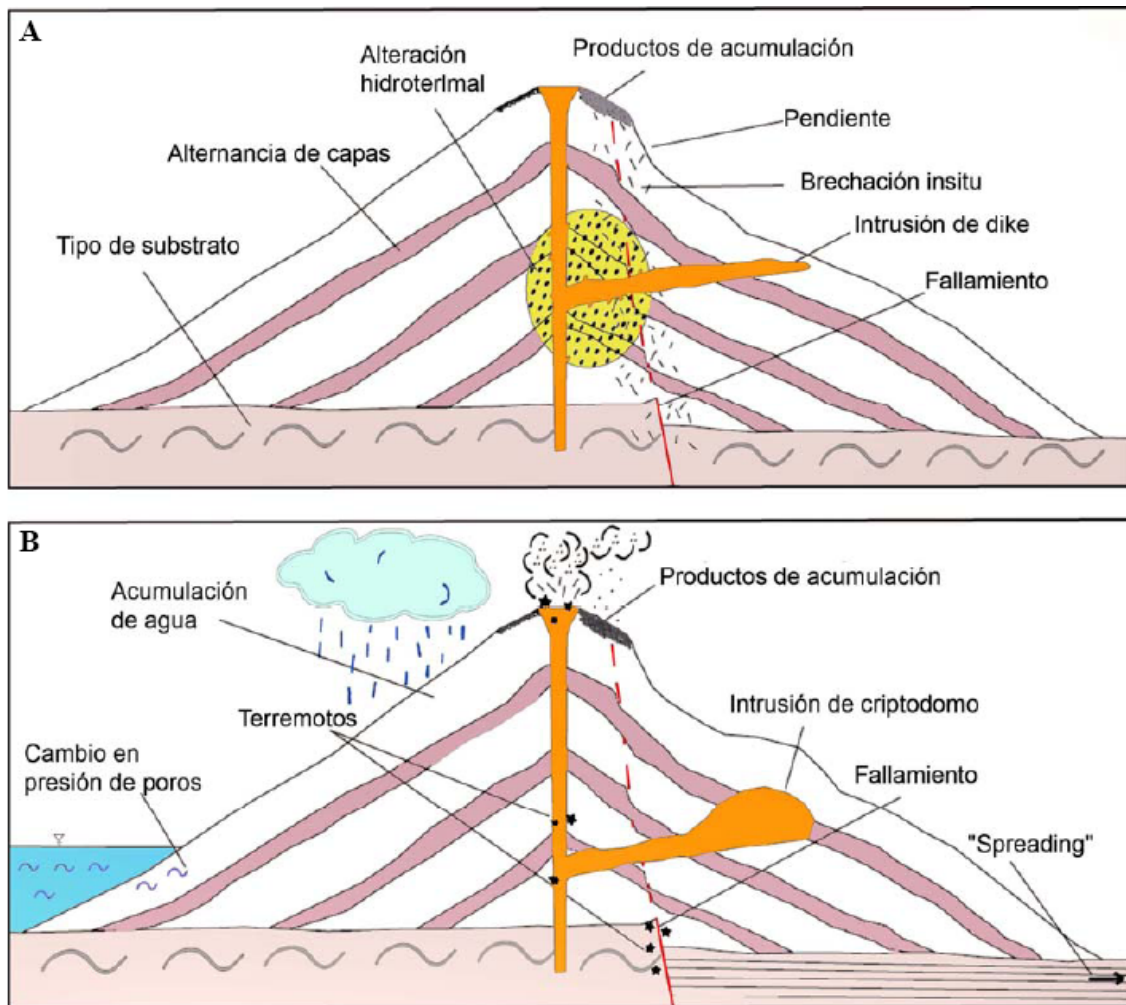
			lava. Flujo de lava.	
1993	(1x10 ⁴)		Actividad central explosiva. Lago de lava.	0.1-1
1997			Actividad central explosiva. Flujo de lava escoriacio.	

Cortesía de Ineter

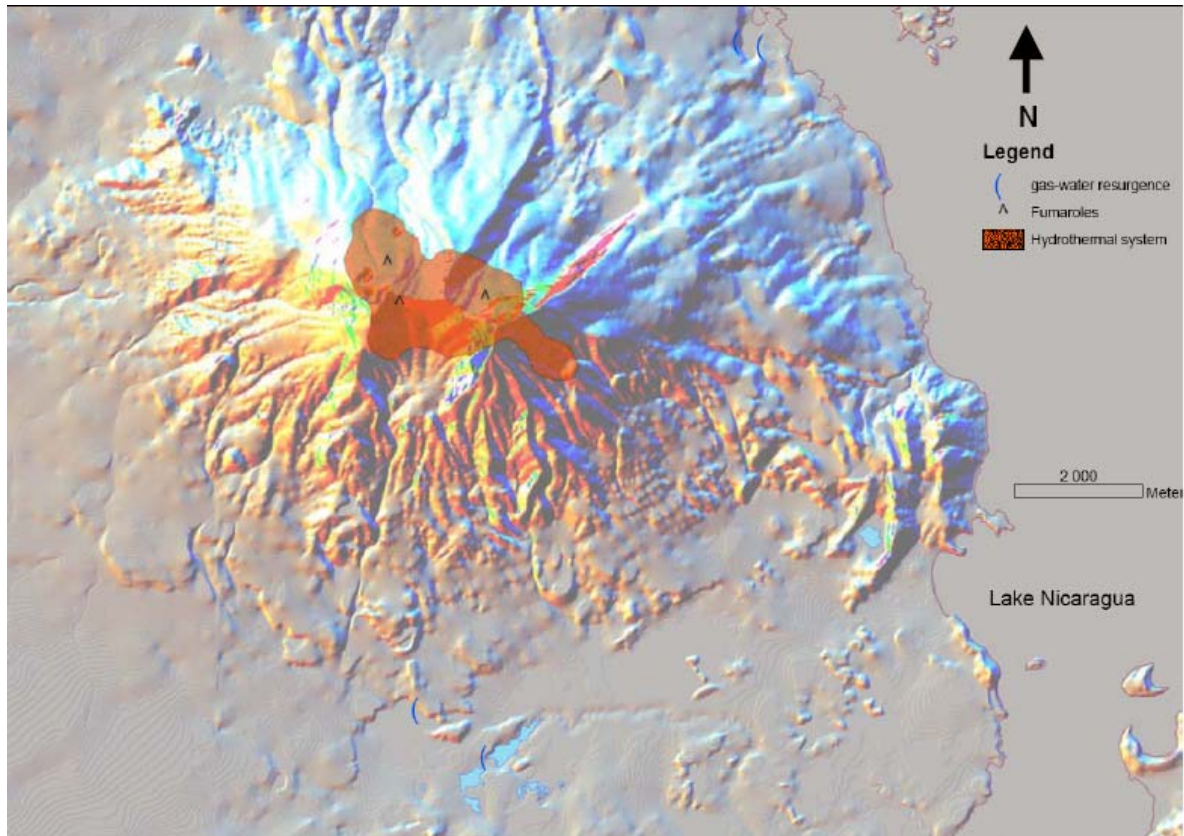
4.1.5. Zona de alteración hidrotermal

- Volcán Mombacho

Pilato, M. (2,005), define el hidrotermalismo como la circulación de fluidos presurizados y de alta temperatura generada a proximidad de fuentes de magma superficial. Son enriquecidos en materiales corrosivos, los cuales alteran progresivamente la roca, y suben la presión de poros, debilitando zonas del edificio tal como se ilustra en la Figura No 1 a y b, y Mapa No x:



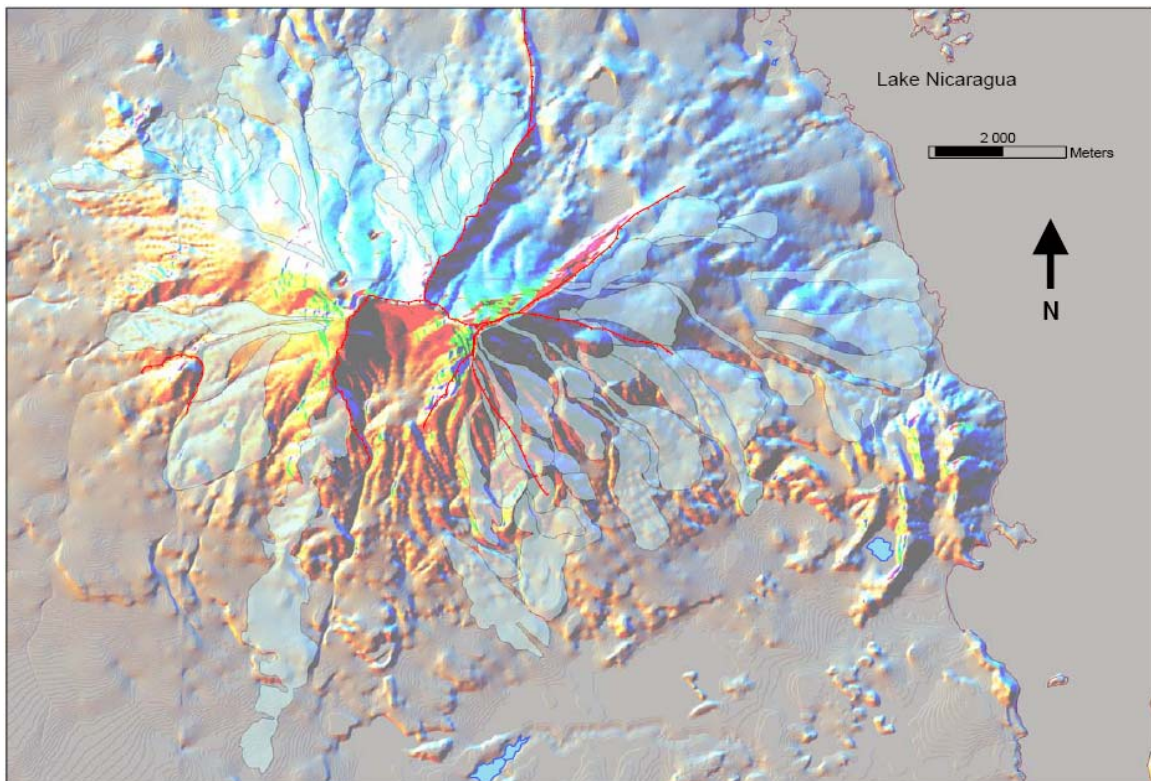
Ilustr. No 13. Mecanismo de colapso volcánico. a) Mecanismo de debilitamiento. b) Mecanismo por desencadenamiento. (Pilato, M, 2,005)



Ilustr. No 14 Mostrando influencia y emplazamiento de sistema hidrotermal.

(Pilato, M, 2,005)

Este autor, expresó que las zonas de resistencia baja se crean y debido a la gravedad, el volcán se deforma, se desestabiliza y fallas inversas aparecen en su base.



Ilustr. No 15. Fracturas y fallas geológicas (trazos color rojo) en superficie de estructura volcánica. **(Pilato, M, 2,005)**

o Caldera de Laguna Apoyo (Cortesía de Eveling Espinoza)

La Alteración Hidrotermal se define como los cambios mineralógicos, texturales y químicos de una roca producidas ante la presencia o circulación de soluciones transportadas por agua que está a una temperatura por encima de la media mensual ambiental. En zonas volcánicas, este aumento de temperatura suele estar causado por la subida de gases calientes por fisuras que alcanzan zonas saturadas en agua.

Se han identificado 29 puntos de alteración hidrotermal en la Caldera de Apoyo lo que es un claro indicio de que la actividad volcánica está aún activa

**Ilustr. No 16. Puntos de Alteración Hidrotermal (PHT)
encontrados en la RNLA Cortesía de Eveling**

ID	X	Y	MUNICIPIO	Precipitados	OBSERVACIONES
PHT-01	607628	1319510	Granada	Si	Huele a azufre
PHT-02	607623	1319476	Granada	Si	
PHT-03	607498	1316433	Diriá	si	
PHT-04	607353	1316311	Diriá	si	
PHT-05	607077	1316276	Diriá	si	
PHT-06	606787	1316357	Diriá	si	Mucho azufre
PHT-07	606432	1316298	Diriá	si	
PHT-08	605459	1316079	Diriá	si	
PHT-09	606770	1315204	Diriá		roca alterada
PHT-10	606760	1315210	Diriá		roca alterada
PHT-11	607575	1315607	Diriá		roca alterada
PHT-12	605443	1316077	Diriá		roca alterada
PHT-13	604810	1315852	Diriá		roca alterada
PHT-14	605004	1315848	Diriá		roca alterada
PHT-15	605362	1315979	Diriá		roca alterada
PHT-16	607563	1316464	Diriá		roca alterada
PHT-17	607419	1316357	Diriá		roca alterada
PHT-18	608305	1314358	Diriomo		roca alterada
PHT-19	608668	1314692	Diriomo		roca alterada
PHT-20	606157	1320410	Granada		roca alterada
PHT-21	607628	1319510	Granada		roca alterada
PHT-22	607747	1319450	Granada		roca alterada
PHT-23	606827	1316344	Diriá		roca alterada
PHT-24	606353	1316394	Diriá		roca alterada
PHT-25	603208	1316396	SJO	si	El hervazal Agua a 62 °C
PHT-26	603515	1316498	SJO	si	Acrillas multicolores
PHT-27	602590	1317472	Catarina		Pozo Estancia Adriana a 39°C
PHT-28	608830	1318875	Granada		Pozo con presencia hidrotermal 40-50°C
PHT-29	608634	1318482	Granada		Pozo con presencia hidrotermal 40-50°C

Los efectos de la actividad hidrotermal en la caldera de Apoyo se pueden reconocidos por los siguientes indicios:

- **Presencia de aguas termales:** Existe una zona preferencial de ocurrencia de este fenómeno, en El Hervazal, en San Juan de Oriente. En esta zona (punto PHT-25, foto 35, tabla 4) los pobladores excavan pequeños agujeros hasta alcanzar el nivel freático que está a menos de 1 metro en verano y prácticamente superficial en invierno. La temperatura mediada en el 2007 fue de 62 °C (Vázquez-Prada et al, 2007). Esta zona hidrotermal en la que se presencia mineralizaciones sulfurosas se extiende unos 50 metros hasta el límite con el municipio de Diriá (coordenadas 604810E-1315852N). Durante ese estudio también se reportó otras dos zonas, una situada en la propiedad “Estancia de Adriana” (coord.602590E-1317472N) con

temperaturas de 39°C y otras cerca del borde de caldera de Granada con temperaturas reportadas por una compañía perforadora de pozos de entre 40 y 50°C (Vázquez-Prada et al, 2007). Existe otra posible zona situada en el límite Catarina-Granada cerca de las fincas Montecristo y Cuadra-Richarson aunque no ha podido ser confirmada hasta la fecha.



Ilustr. No 17. Pequeña excavación para alcanzar las aguas termales del Hervazal a orillas de la laguna. Foto E. Espinosa

- **Presencia de mineralizaciones:** Cuando existen subida de gases volcánicos calientes pero en la zona el agua no es superficial suelen producirse migraciones de elementos químicos, principalmente Azufre y Cloro que al entrar en contacto con la atmósfera precipitan formando minerales de color blanco (abundancia de Cloro), amarillo (abundancia de Azufre) o verdoso (ver foto 36). Los puntos característicos son costa de Vistalagos (punto PHT-12 y PHT- 13, tabla 4) y costa de Diriá (punto PHT-03 y PHT04).



Ilustr. No 18. Precipitados sulfurosos y de otras sales debido a la presencia de hidrotermalismo a orillas de la Laguna de Apoyo, en Diriá. Foto E., Espinosa

- **Presencia de alteración en las rocas:** La presencia de flujos ascendentes calientes también queda evidenciada cuando al llegar a una formación rocosa las condiciones físico-químicas de ésta se ven transformadas. Lo más característico es la disgregación del material en arena o arcilla y la aparición de graduaciones de colores. Estas transformaciones se deben a que en condiciones de alta temperatura y con presencia de vapor de agua, muy común en emanaciones volcánicas, la meteorización o alteración de la roca se acelera de gran manera. El cambio de coloración se produce por una migración y concentración de los distintos elementos químicos que componen la roca creando una zonificación. La zonas donde se acumula el Hierro en su forma Fe^{3+} será más susceptible a la oxidación y por lo tanto presenta colores rojizos; La zonas donde se acumula el Hierro en su forma Fe^{2+} , son más susceptible a reducirse por lo que presentará colores verdosos; las zonas con acumulación de Manganese se oxidan produciendo un color violeta; las zonas de coloración amarillenta corresponde a una acumulación de Azufre y la blanca a acumulación de Cloro. Los lugares característicos son el límite Diriá-SJO (PHT-26, tabla 4) y la bajada del Cerro la Ardilla. Al tacto estas rocas presentan una textura arcillosa.



Ilustr. No 19. Rocas con afectación hidrotermal. Límite SJO y Diriá.
Foto de E. Espinoza

4.2. Amenaza sísmica

4.2.1. Reseña Histórica de la Sismicidad en Nicaragua

La historia sísmica de Nicaragua se remonta casi cinco siglos atrás hasta la actualidad, conocimiento que ayuda a tomar medidas correctas para prevenir desastres en el futuro. El testimonio de estos acontecimientos ha sido grabado en periódicos, libros hasta memoria pasada de la persona que vivían en aquel entonces y que su experiencia se ha transmitido de generación en generación.

En breve se presenta eventos sísmicos importantes y fuertes ocurridos en territorio nacional, y la descripción de sus efectos.

Ilustr. No 20. Sismos fuertes en Nicaragua

1528	Destrucción de León Viejo (primera capital)
1609	Sismos fuertes en León Viejo (éxodus de la población), Erupción del volcán Momotombo
1648	Terremoto fuerte en León (ciudad nueva)
1663	Terremoto afecta León (VIII) y Granada (VII), Cambio del cauce del río San Juan
1835	Sismos fuertes acompañan la erupción catastrófica del volcán Cosigüina
1844	Terremoto destruye Rivas (VIII), San Juan del Norte (VII), Cambios del río Tipitapa
1844	Terremoto en San Juan del Norte (VIII)
1848	Terremoto, erupción del volcán Momotombo
1850	Terremoto fuerte en León (VII)
1859	Terremoto en Guatemala, El Salvador, Nicaragua. Tsunami
1865	Sismos entre los dos lagos, cambios en el río Tipitapa
1885	Terremoto fuerte en León (VIII-IX), Managua (VII), Chinandega (VII)
1898	Terremoto fuerte en León (VII-VIII), Managua (VII-VIII), Chinandega (VII)
1916	Temblo fuerte en Rivas (VI-VII)
1916	Terremoto fuerte en Nicaragua. M=7.3
1923	Terremoto en Jinotega (VI-VII)
1926	Terremoto fuerte en Managua (VII-VIII), León (VI-VII), Granada, Masaya, Chinandega, San Juan del Sur (todos VI)
1931	Terremoto fuerte destruye Managua (VIII)
1950	Terremoto fuerte en Costa Rica, Nicaragua y El Salvador (M=7.7), Tsunami
1951	Terremoto abre una ladera del Volcán Cosigüina. Avalancha de lodo destruye Potosí
1956	Terremoto fuerte en Nicaragua
1958	Terremoto fuerte en Managua (V-VI), Mateare (VIII)
1967	Temblo fuerte en Managua (V)
1968	Terremoto en Managua, Colonia Centroamérica (VIII), Granada (IV), Masaya (IV)
1972	Terremoto destruye Managua (VIII-IX, M=6.2), 10.000 muertos
1985	Terremoto en el Lago de Nicaragua, destrucciones menores en Rivas
1992	Terremoto M=7.2 en el Océano Pacífico. Maremoto (Tsunami) causa destrucción en toda la costa. 178 muertos
2000	Terremotos M=5.4 en la Laguna de Apoyo y M=5.2 en Masaya. 5 muertos. Destrucción de casas en Masaya y otras ciudades cerca de la Laguna de Apoyo. Puede obtener más información aquí .
2005	Terremoto M=5.6 en la Isla de Ometepe.

Cortesía de Ineter

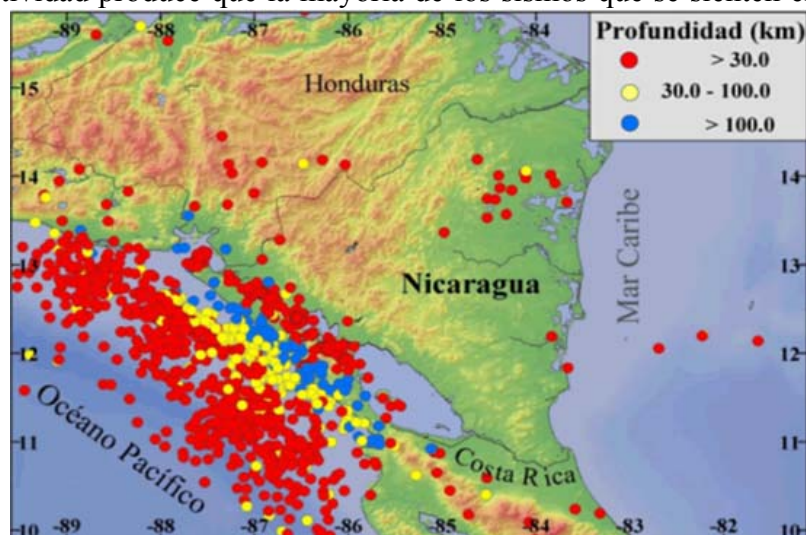
De acuerdo con los datos de Ineter, la intensa actividad sísmica en Nicaragua tienen origen en la zona de subducción en el Océano Pacífico, siendo capaz de causar destrucción en distintas etapas de la historia, no limitándose a una ciudad en particular, sino a todo el litoral del Pacífico.

Por otro lado, investigaciones realizadas, han revelado que físicamente menos fuertes pero no obstante destructivos por su poca profundidad y cercanía a las poblaciones fueron los sismos que ocurrieron en la zona de la cadena volcánica (León viejo 1610, Diriomo 1739, Granada 1922, Managua 1931, San Cristóbal-Telica 1938, Mateare 1955, Managua 1968, Managua 1972, Rivas 1985).

4.2.2. Sismicidad de Nicaragua

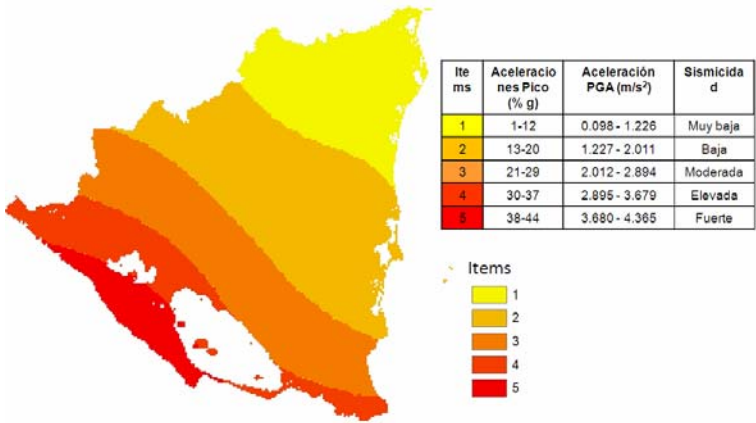
La fuente sísmica de mayor peligrosidad para Nicaragua, particularmente para el área del Estudio es la zona de interacción de placas tectónicas a lo largo de la costa del Pacífico. La continua actividad produce que la mayoría de los sismos que se sienten en esa región, puedan generar eventos con magnitudes mayores que 4 en escala Richter, siendo eventos de considerable importancia.

Ilustr. No 21
Sismicidad nacional
Cortesía de Ineter



Una segunda fuente generadora de sismos, está relacionada con el comportamiento de los volcanes de la Cordillera de Los Maribios, donde es posible esperar sismos intensos en cercanías de los centros volcánicos. La relativa lejanía del área, con el sitio de estudio disminuye el riesgo sísmico y la posibilidad de afectación por sismos destructivos.

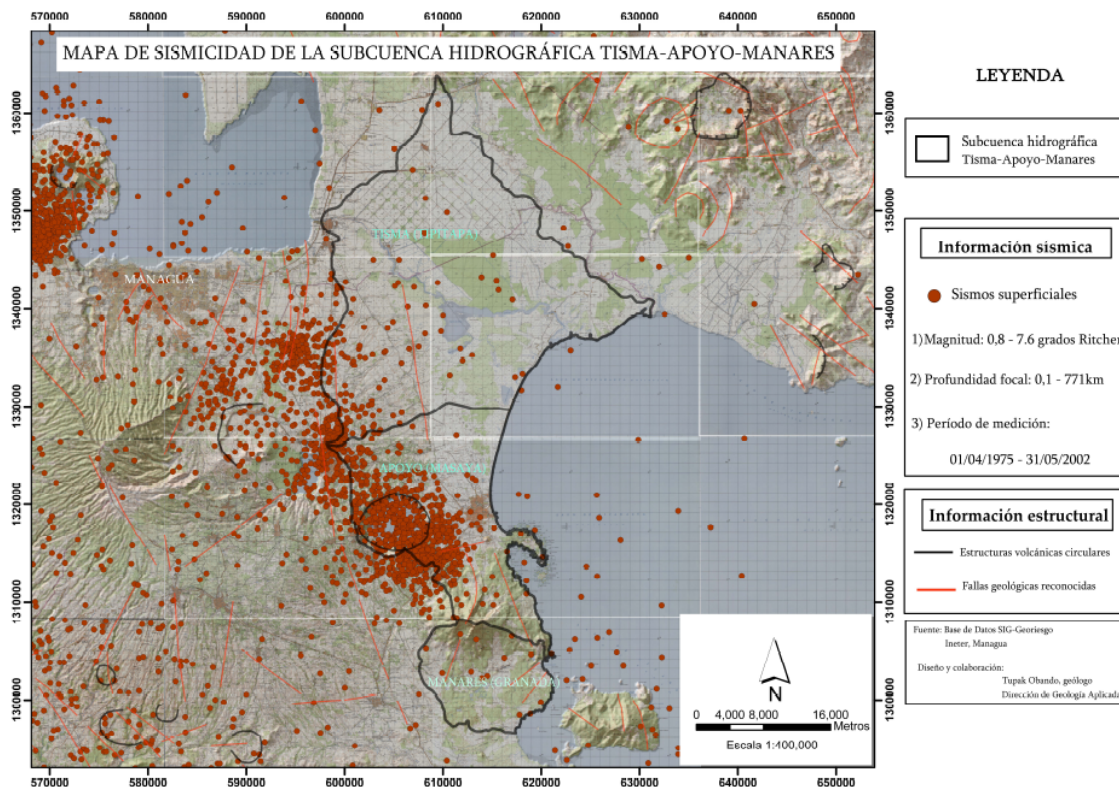
Sin embargo, con la finalidad de disminuir la frecuencia de escenarios fatídicos, catástrofe y muerte en el país, el GSHAP (1999), programa de investigación sísmica logró encaminar esfuerzos en pro de la determinación de la amenaza sísmica en Nicaragua basado en el valor de aceleración máxima de la onda sísmica en roca, o valor PGA, (Peak Ground Acceleration, sus siglas en inglés) tal como se ilustra en Mapa No 6.



Ilustr. No 22. Mostrando máximas aceleraciones de roca previsibles según Climent. (GSHAP, 1999)

En la Ilustración anterior, se define para el área del Estudio un PGA de 3 a 4 m/s² g (zona color naranja), valores que corresponden a grado de amenaza sísmica ALTO, para sismos asociados con la convergencia de placas Cocos y Caribe.

Los datos encontrados en base de datos SIG de la Dirección de SIG-Georiesgo del Ineter para los años de 1975 y 2,002 han revelado mayores concentraciones de sismos superficiales en la Caldera de Laguna Apoyo con magnitud menor a 7,6 grados Richter y profundidad que alcanza máximos de 771 km (Véase Mapa No 7)



Ilustr. No 23. Sismicidad superficial local. Diseño y Realización T. Obando, 2009

4.2.3. Sismicidad en la Caldera de Apoyo

Previo a dar inicio a este epígrafe, es preciso mencionar que mayores detalles sobre la sismicidad de las estructuras volcánicas, Caldera de Laguna de Apoyo, y de Masaya están disponibles a través de acceso público On Line del Ineter:

<http://www.ineter.gob.ni/geofisica/boletin/2000/07/index0007.htm>

Continuando, algunos expertos considera la Laguna de Apoyo como un ambiente de caldera volcánica en terrenos abruptos y escarpados con pendientes ≥ 35 grados de inclinación, en cuyo alrededor se destacan poblados como Catarina, Diriá, San Juan de Oriente, Diriomo, entre otros.

La sismicidad local es relativamente densa y activa según registros de epicentros medidos entre los años de 1975 a 2,002. La ubicación espacial de los sismos en la Caldera de Apoyo se ilustra en el Mapa No 4.

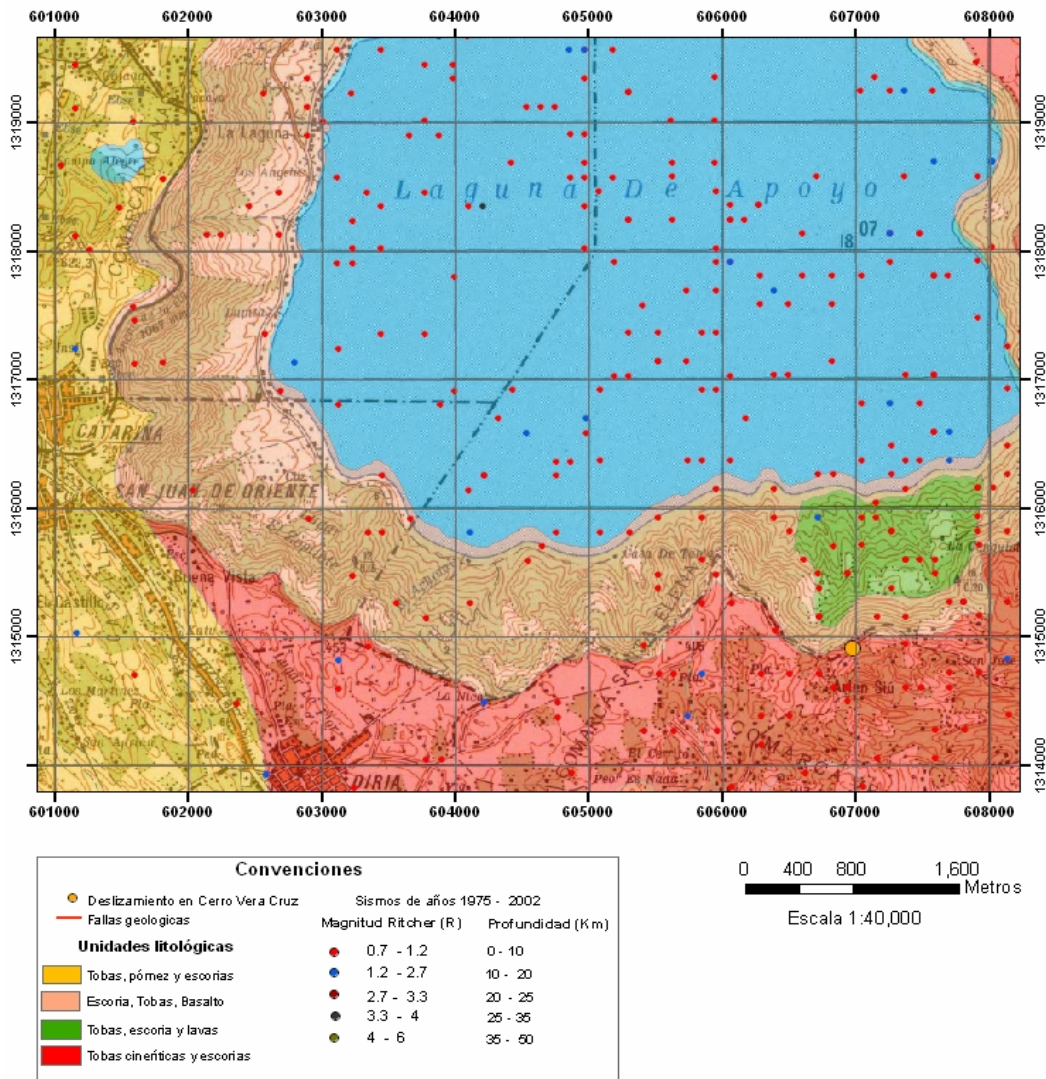
De acuerdo a Datos del SIG de la Dirección de Georiesgo del Ineter, la Caldera de Apoyo presenta alta concentración de epicentros en su interior y fuera de estas, sobre

todo, en terrenos al sur de la caldera (Zona color rojo del Mapa No 4), en donde encontramos materiales volcánicos fragmentarios de tamaño y forma diversas tales como tobas y escoria volcánica, y rocas basalto.

La sismicidad superficial (< 50 km de profundidad) de la Caldera de Apoyo presentan magnitudes relativamente altas (≥ 5 grados Richter), especialmente, en el sector Noreste-Suroeste, y Noroeste – Sureste, en que tienen expresión elementos lineales asociados con fallas geológicas activas, o bien, esta sismicidad es debida a la incidencia directa de la actividad de esta estructura volcánica.

Según **Obando, T. (2,006)**, estas fuentes generadoras de sismos crean condiciones de inestables del terreno que hacen del lugar un área susceptible a nuevos e inminentes movimientos de laderas locales.

El grado de amenaza sísmica para la Caldera de Apoyo es ALTO con valores de aceleraciones máxima en roca (PGA) de 3.7 m/s² según el Programa Sísmico conocido por las siglas en inglés GSHAP (1,999).



Ilustr. No 24. Mostrando epicentros superficiales en la Caldera de Apoyo (Catarina, Masaya). Cortesía de Ineter

Por otro lado, **Hodgson (2,002)**, expresó que la actividad sísmica en la Laguna de Apoyo, y Masaya tuvo comienzo el día 06 de Julio del 2,000 a las 1:30 pm con epicentro al Noroeste de esta, a 6 km al Sureste de Masaya, con magnitud de 5.4 grados Richter, y a un kilómetro de profundidad, ocurrido por la reactivación de falla geológica de rumbo Noreste – Suroeste.

Según Hodgson, otro sismo fuerte de magnitud 5,2 grados Richter ocurrió a las 6:19 pm del día 07 de julio de ese mismo año, ubicándose su epicentro debajo de la ciudad de Masaya a una profundidad de 2,3 km causando daños en la misma.

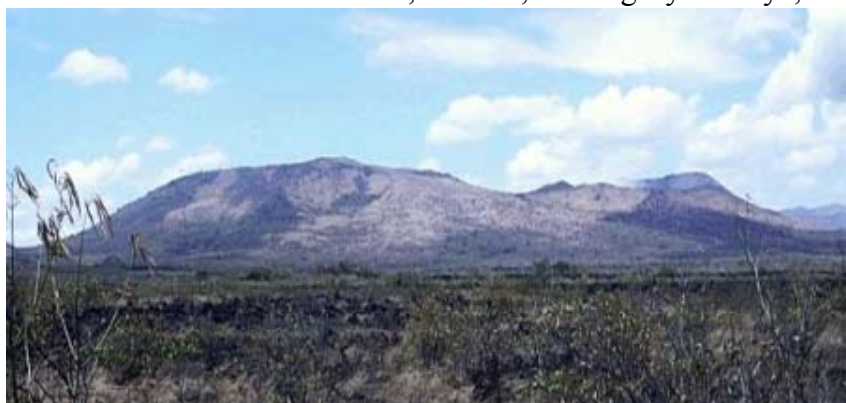
Es necesario mencionar que el comportamiento sísmico histórico solicita ser, todavía más, investigado a la luz de nuevos conocimientos de la Ingeniería Sísmica con miras a establecer su relación y manejo dentro de modernos métodos y técnicas destinadas al diseño y ejecución de obras de ingeniería en fase de construcción

4.2.4. Sismicidad en el complejo volcánico de Masaya

Este complejo volcánico se localiza en el Departamento de Masaya, a 25 Km. de la ciudad de Managua. El cráter activo del Santiago, se ubica a 7 Km. de la ciudad de Masaya, con coordenadas geográficas $11^{\circ}.95'N - 86^{\circ}.15'O$, a 635 metros de elevación.

Es una caldera alargada de 11.2 x 6.0 Km con eje mayor de orientación NO – SE. El piso de la caldera es relativamente plano, bordeado por sus lados por pendientes pronunciadas donde su punto de mayor altura se localiza al SE, en el lugar conocido como “El Ventarrón”. Dentro de la porción NE de la caldera se localizan una serie de venas volcánicas, cuyo punto máximo alcanza los 400 m sobre el piso de la caldera.

Sobre esta vena se formaron los cráteres San Pedro, Nindirí, Santiago y Masaya, los cuales son la fuente de dos flujos de lava históricos ocurridos en 1670 y 1772 los cuales cubren la parte Norte del piso de la caldera. La caldera del Masaya es del tipo Glen Coe.



Ilustr. No 25. Complejo volcánico Masaya. Cortesía de Ineter.

Bibliografía recomendada

Hodgson, G. (2,002). Geología Histórica Regional e Historia Geológica Estructural Tectónica simplificada de Nicaragua y América Central. 2da edición. UNAN-Managua. 155p.

Luna, E. y L. Espinoza (2,003). Medio Ambiente y Minería. Revista Minera N°1. Ministerio Fomento, Industria y Comercio (MIFIC). Managua. 20p

McBirney, W. (1965). Rhyolite magma of Central America: Bull. Volc. V. 29. p. 435 – 448.

Obando, T. (2,006). Evaluación de amenaza por derrumbe en Caldera de Laguna Apoyo. Reporte técnico. Dirección General de Geofísica, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Ineter). Managua. 8p.

Rodríguez, A. et. al. (2,000). Desastres Naturales de Nicaragua. 1ª edición. HISPAMER. Managua. 278p.

Garayar, J. (1,977). Geología y depósitos de minerales de una parte de las mesas de Estelí, cordillera norte y montañas de Dipilto. Catastro No 10. Managua, Nicaragua.

Hodgson, G. (1976). Reporte geológico de la Cuenca de Río Bocay. Caliza – Bocay. Servicio Geológico Nacional (SGN).

Hunting Geology and Geophysics Ltd (1,972). Side looking Radar Survey of Nicaragua. Westinghouse Electronic Corporation. Baltimore. USA.

Datos aportados por trabajos Cortesía de Ineter

Datos aportados por trabajos Cortesía de Eveling Espinosa, y V. Tenorio