



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

Facultad de ciencias e ingeniería
Departamento de Tecnología

**«Caracterización Geo-estructural de los termales de
Tipitapa, Managua, Nicaragua»**

TESIS MONOGRÁFICA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

ELABORADO POR:

- Br. Yarholl Francisco Hernández Altamirano.
 - Br. Jordy José Mendieta Ocampo

TUTOR: PhD. Carlos Ariel Rubí Téllez

ASESOR: MSc. Gema Velásquez

Managua, Julio 2020

**Caracterización Geo-estructural de los termales de
Tipitapa, Managua, Nicaragua**

Dedicatoria

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, su gracia y conocimientos para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, Francisco Hernández y Juana Antonia Altamirano Bobadilla, quienes con tanto amor han sabido formarme con buenos, hábitos y valores, los cuales me han ayudado a salir adelante y lograr mis objetivos brindándome un apoyo inmensurable.

Especialmente a mi abuela Hipólita del Carmen Bobadilla Gutiérrez, por brindarme su apoyo y consejos todo este tiempo.

Yarholl Francisco Hernández Altamirano

Dedicatoria

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente nuestro trabajo a **Dios**.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, su favor y conocimientos para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, Patricia María Ocampo Hernández y José Tomas Mendieta Mendoza, por el apoyo incondicional durante el transcurso de mis estudios, por tanto, amor y esfuerzo han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, los cuales me han ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

Jordy José Mendieta Ocampo.

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios, por darnos la vida, la salud, la sabiduría y el conocimiento, para poder culminar una de las principales metas en nuestra vida, como es nuestra carrera profesional y a nuestra familia que, con su eterno apoyo nos han llenado de sus consejos y sus motivaciones para hacer posible este propósito.

Queremos agradecer de manera muy especial al **PhD. Carlos Rubí Téllez**, por sus esfuerzos y dedicación. Su conocimiento, su orientación, su manera de trabajar, su persistencia, por dedicarnos su tiempo y sus motivaciones han sido fundamentales para nuestra formación como geólogos.

A nuestros amigos María Morales, Wendy Santana, Danny Carballo, Francisco Reyes Rosas, Oscar Ruiz, Juan Salinas, Karelía Sandigo, Carlos Espinoza, Eliezer Quiroz, Ena Merlos, Heissel García, Gerardo Miranda, Uriel Somarriba, Sergio Lezama, Rudy Cano, David Valle, Arleth Martínez, Cristhian Vega, Yessner Nagera, Josse Reyes, Msc. Suazo. Por su valiosa amistad y ayuda incondicional en todos estos años en la carrera.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), alma mater de la ciencia por formarnos para un futuro como Ingenieros en Geología.

Al IGG-CIGEO/UNAN-Managua (Instituto de Geología y Geofísica) por ofrecernos su incondicional en distintas áreas de nuestra tesis.

Agradezco de igual manera a todas esas personas que de una u otra manera aportaron para el desarrollo del proyecto, a los maestros quienes brindaron sus conocimientos durante estos 5 años. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Resumen

La presente investigación se desarrolla en el marco de una caracterización geo-estructural de los termales de Tipitapa y sus alrededores. Se evaluaron las condiciones geo-estructurales y térmicas, por medio de levantamientos geológicos en los afloramientos y lineamientos de la falla Llanta Perdida, y por medio de las estructuras geológicas se logró determinar dirección y extensión del campo térmico del área de estudio. Así también, para evaluar la temperatura de las aguas superficiales subterráneas del sitio se realizaron varias mediciones de T° y pH en el mes de Abril del 2020.

Del análisis de los datos en los distintos pozos de agua caliente así como los manantiales superficiales, se logró obtener sus temperaturas, pH y composición química. Además de determinar que el flujo de calor de las aguas subterráneas tiene una dirección Noroeste y están asociados a varios lineamientos asociados a la falla Llanta Perdida en un radio de 500 m de dicha falla.

En el área de Tipitapa no es posible identificar más fallas en la superficie, sin embargo, sí es posible marcar zonas de debilidad en las rocas, que se observa por el lineamiento de fuentes hidrotermales muestreadas. La primera de rumbo N-S que coincide con el rumbo de la falla Llanta Perdida y la segunda zona que está asociada a la emanación hidrotermal más importante en el margen del río Tipitapa que abastece a los baños Termales, señalando una posible zona preferencialmente fracturada en dirección Noreste.

Contenido

Capítulo I	1
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 Ubicación y vías de acceso	5
1.5.1 Vías de acceso	7
Capitulo II	9
2.1 Marco Referencial	9
2.1.1 Antecedentes	9
2.2 Marco Teórico	11
2.2.1 Marco Geotectónico Regional	11
2.2.2 Geología Regional de Nicaragua	14
2.2.2.1 Provincia Geológica de Las Planicies de la Costa del Pacifico ...	16
2.2.2.2 Provincia geológica del Norte	16
2.2.2.3 Provincia Geológica Central	17
2.2.2.4 Provincia de los llanos de la Costa Atlántica	17
2.2.2.5 Provincia Geológica de La Depresión de Nicaragua	18
2.2.2.5.1 Cordillera Volcánica de Nicaragua	18
2.2.3 Termalismo Regional de Nicaragua	23
2.2.4 Riesgo Sísmico y Volcánico en la ciudad de Tipitapa	28

2.2.5	Definición de Geología	31
2.2.5.1	Ramas de la Geología	31
2.2.6	Fallas y Fracturas	31
2.2.6.1	Tipos de fallas	32
2.2.6.1.1	Fallas normales.....	32
2.2.6.1.2	Fallas inversas	32
2.2.6.1.3	Fallas horizontales (desgarre).....	32
2.2.6.1.4	Fallas oblicuas o mixtas	33
2.2.7	Hidrotermalismo.....	34
2.2.7.1	Aguas térmicas	34
2.2.7.2	Fuente hidrotermal	35
2.2.7.3	Alteraciones hidrotermales.....	35
2.2.7.3.1	Propilítica	35
2.2.7.3.2	Argílica Intermedia	35
2.2.7.3.3	Sericítica o cuarzo-sericítica	35
2.2.7.3.4	Argílica avanzada.....	36
2.2.7.3.5	Potásica	36
2.3	Hipótesis	37
Capítulo III		38
3.1	Diseño metodológico	38
3.1.1	Tipo de estudio	38
3.1.2	Área de estudio.....	38
3.1.3	Población y Muestra	38
3.1.4	Definición y Operacionalización de variables	39

3.1.5	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de información y datos.	40
3.1.5.1	Trabajo de gabinete	40
3.1.5.2	Trabajo de campo	40
3.1.5.3	Elaboración de mapa base.....	41
3.1.5.4	Instrumentos y equipos de medición.....	41
3.1.5.5	Plan de procesamiento y análisis de datos	41
3.1.5.6	Trabajo de laboratorio	41
3.1.5.7	Elaboración del Informe Final.....	41
Capítulo IV	42
4.1	Análisis y discusión de los resultados	42
4.1.1	Geología Local y Estructural.....	42
4.1.1.1	Unidades litológicas en la zona.....	45
4.1.1.1.1	Grupo Las Sierras miembro inferior (TQpsi)	45
4.1.1.1.1.1	Aglomerados del grupo las Sierras (TQasi)	45
4.1.1.1.1.2	Depósito de toba afanítica (TQpsi)	50
4.1.1.1.1.3	Flujo volcánico (TQlsi)	50
4.1.1.1.2	Depositos cuaternarios	51
4.1.1.2.3.2	Suelo Reciente (Hs).....	51
4.1.1.2.3.3	Suelo Fósil (Hsf2)	51
4.1.1.2.3.4	Suelo Fósil (Hsf1)	51
4.1.1.2.3.5	Flujo de ceniza (Pcf)	52
4.1.1.2.3.6	Toba meteorizada (Htp).....	52
4.1.1.2	Análisis estructural	54
4.1.1.2.1	El sistema de fallas Cofradía	55

4.1.1.2.1.1	Sismicidad instrumental asociada al sistema de fallas Cofradía.	56
4.1.1.2.1.2	Descripción del sistema de falla Cofradía.....	61
4.1.1.2.1.3	Lineamientos	69
4.1.2	Análisis de los datos térmicos.....	70
4.1.2.1	Descripción y análisis del área hidrotermal.....	75
4.1.2.1.1	Manantiales Termales de Tipitapa	76
4.1.2.1.2	Pozo Pollo Estrella.....	76
4.1.2.1.3	Pozos de la Planicie.....	76
4.1.2.1.4	Pozos al Sur de la ciudad de Tipitapa.....	77
4.1.2.2	Origen de las aguas termales en Tipitapa.....	77
4.1.2.3	Clasificación de las aguas termales	79
Capítulo V	83
5.1	Conclusiones	83
5.2	Recomendaciones	85
Bibliografía	86
Anexos	89

Índice de Figuras

Fig. N° 1 Mapa de Ubicación del Área hidrotermal de la ciudad de Tipitapa.....	6
Fig. N° 2 Mapa de las diferentes vías de acceso a la zona de estudio.	8
Fig. N° 3 Mapa Geotectónico de Centroamérica.....	13
Fig. N° 4 Mapa de las provincias geológicas de Nicaragua.	15
Fig. N° 5 Cordillera Volcánica Cuaternaria.....	20
Fig. N° 6 Tipos de fallas.	33
Fig. N° 7 Perfil topográfico trazado en la zona el Cocal, Suroeste del pueblo de Tipitapa.	58
Fig. N° 8 Perfiles topográficos 5 y 6 localizados entre los pueblos de Tipitapa y San Benito.....	60
Fig. N° 9 Esquema geomorfológico del sector Cofradía- El Cocal.	62
Fig. N° 10 Esquema geomorfológico del sector El Cocal – Punta de Plancha.....	65

Índice de Foto

Foto N° 1, A) Aglomerado del grupo las Sierras, B) Facie Tipitapa tobas con lixiviación de CaCO_3	46
Foto N° 2, A) Clasto diorítico en un aglomerado con alteraciones ferrosas y CaCO_3 , B) Clastos alterados por las emanaciones térmicas del sauna en el balneario termales de Tipitapa.....	46
Foto N° 3 Alteraciones en los aglomerados del grupo las Sierras, al Noreste del sauna. Foto A) Malaquita y lixivitaciones de CaCO_3 , Cu y Fe, Foto B) Óxidos de hierro y Lixiviación de CaCO_3 , Foto C) y D) Óxidos Ferrosos.	47
Foto N° 4 Clastos de mayor tamaño en los aglomerados del grupo las Sierras. Localizados al N de los termales de Tipitapa en el margen Sureste del rio.	48
Foto N° 5, en la foto A) y B) se muestran clastos de composición basalto-andesíticos mientras que en las fotos C) y D) se muestran las alteraciones comúnmente vistas en los depósitos.	49

Foto N° 6 Deposito de toba afanítica meteorizada, localizada en la finca de los Vilches.....	50
Foto N° 7 Depósito de lodo volcánico (TQfsi)	51
Foto N° 8 Depósitos de ceniza en contacto con suelos fósil y suelo reciente	52
Foto N° 9 Flujo de ceniza en contacto con una toba meteorizada que sobreyace el suelo fósil.	53
Foto N° 10 Suelo fósil 1 (Hsf1)	53
Foto N° 11 Ignimbritas aglomeráticas fracturadas (TQpsi) del grupo las Sierras. .	54
Foto N° 12 Deposito ignimbrítico aglomerático (TQpsi) altamente fracturado.....	55
Foto N° 13 A) Escarpe de la falla de Cofradía al Norte del pueblo de este nombre, siendo unos de los sitios donde se observa la mayor altura de este escarpe	64
Foto N° 14 Escarpe erosivo paralelo a la costa en El Cocal. Se indica la base del escarpe erosivo y la hipotética ubicación de la de la traza del ramal principal de la falla de Cofradía, donde se abrió una trinchera.....	67
Foto N° 15 Escarpe de falla.	68
Foto N° 16 Agua térmica de mayor temperatura en el balneario Termales de Tipitapa.	73
Foto N° 17 Hervidero localizado en la parte sur del río Tipitapa.	74
Foto N° 18 Pozo de agua térmica con T° de 37.6°C y pH de 8.6.....	75

Índice de Tablas

Tabla 1 Coordenadas del área hidrotermal en estudio.....	5
Tabla 2 Fuentes termales en Nicaragua	27
Tabla 3 Vulnerabilidad sísmica y volcánica, (INETER, 2004).....	30
Tabla 4 Operacionalización de variables.....	39
Tabla 5 coordenadas de los afloramientos geológicos del área de estudio (WGS 1984 Zona 16N).	45
Tabla 6 Coordenadas tomadas cada 5m del escarpe entre la carretera vieja panamericana y la nueva.	68
Tabla 7 Coordenadas tomadas cada 5m del escarpe localizado en la finca de la familia Vilches.	69
Tabla 8 Pozos y manantiales superficiales de agua térmica muestreados, en el periodo de Abril-Mayo del 2020.....	80
Tabla 9 Pozos de agua fresca muestreados, en el periodo de Abril-Mayo del 2020.	81
Tabla 10 Análisis químicos de las aguas termales de Tipitapa.	82

Índice de Anexos

Anexo N° 1 Mapa de ubicación de pozos de agua caliente y fresca muestreados.	91
Anexo N° 2 Mapa de estructuras geológicas y fuentes hidrotermales.	92
Anexo N° 3 Mapa Geo-estructural del área de estudio	93
Anexo N° 4 en las fotos A) y B) se muestran los aglomerados meteorizados por la actividad biológica del área.	94
Anexo N° 5 en las fotos A) y B) se muestra el depósito aglomerático con alteraciones ferrosas y un matriz cenizas más visible, el tamaño y la distribución de clastos es menor comprado con las fotos 1,2 y 3.	95
Anexo N° 6 Depósitos ignimbríticos en los márgenes del río Tipitapa.....	96

Capítulo I

1.1 Introducción

Para el estudio de la caracterización geo-estructural de los termales de Tipitapa se tomó en cuenta un estudio del plan maestro de Nicaragua, el cual se ejecutó en el año 2000, por la Comisión Nacional de Energía e INE. Esto último con el propósito de elaborar un mapa que permita asociar el campo hidrotermal de la ciudad de Tipitapa al fallamiento local; donde los principales objetivos son: identificar, elaborar y delimitar cada una de las unidades litológicas y estructuras geológicas; definir sus tipos de alteraciones hidrotermales. Esto tomando en cuenta la escasez de información actualizada del área.

El área de estudio cubre una extensión total de 9km². Mientras que el área hidrotermal es de 4x3 km (12km²) y su punto focal el balneario “termales de Tipitapa” está ubicada en el municipio de Tipitapa en el extremo Suroeste del lago de Managua (Xolotlán). Con una población de más de 48,000 habitantes. La zona de estudio se sitúa en la hoja topográfica de Tipitapa (**2952-I**). Geológicamente el área de estudio está compuesta por rocas volcánicas terciario-cuaternaria, perteneciente a la provincia geológica de la depresión de Nicaragua.

Litológicamente el área de estudio está compuesta por: capas de rocas piroclásticas del complejo volcánico Masaya, rocas ignimbríticas, aglomeráticas del grupo las Sierras, depósitos lacustres en el margen del lago Xolotlán y depósitos holocénicos.

La caracterización geo-estructural se logró elaborar a través de tres actividades, las cuales corresponden primeramente a trabajos de gabinete al ordenar la información, recopilar datos y mapas de antiguos autores. Luego se realizó la etapa de campo, visitando las zonas hidrotermales de Tipitapa y tomando muestras. Gracias al trabajo de mapeo hay enriquecimiento en información para las generaciones venideras, en la elaboración de los mapas se procedió al procesamiento de datos con ayuda de software ArcGIS 10.5.

1.2 Planteamiento del Problema

Se han realizado diversos estudios geo-científicos en las últimas décadas de autores como, Catastro e Inventario de Recursos Naturales de Nicaragua (1971), Servicio Geológico Nacional (1959), Dames y Moore (1978). Además en 1993, Japan International Cooperation Agency (JICA), Hradecky (1998) y algunos autores como la Comisión Nacional de Energía e INE (2001), Texas Instruments Incorporated (1970), entre otros, realizaron estudios sobre el termalismo en Tipitapa. Estos estudios han sido generalizados correspondiendo a geología, morfología, estructural, edafología y desde el punto de vista geotérmico las emanaciones hidrotermales en Tipitapa.

A pesar de que existen diversas emanaciones hidrotermales que han sido estudiadas en la ciudad de Tipitapa, no se ha determinado si el origen está asociado a un fallamiento local o actividad volcánica. Por consiguiente, existe la necesidad de determinar las estructuras locales y así definir el movimiento, propagación y extensión de los fluidos hidrotermales del área en estudio.

Con relación a la problemática antes mencionada se necesita un estudio geo-estructural detallado que asocie las emanaciones hidrotermales de Tipitapa, que podría realizarse utilizando el método geofísico potencial espontáneo para detallar y delimitar los aspectos geo-estructurales y el origen de los fluidos hidrotermales.

Por consiguiente la formulación del problema se basa en la siguiente pregunta ¿se puede determinar el origen del hidrotermalismo de Tipitapa caracterizándolo desde el punto de vista geológico y estructural?

1.3 Justificación

El termalismo se puede definir como conceptos relacionados con los usos del agua mineromedicinal o mineral natural ya sea termal o no de mar o lago salado con todos los elementos que la acompañan, es decir, el clima, los sedimentos de esas aguas o derivados como pueden ser los gases que de ellas se desprenden. Se pueden formar por actividad volcánica o movimientos tectónicos (Comision Nacional de Energia, 2001).

Es de vital importancia la identificación de aguas termales ya que poseen un sin número de usos ya sea medicinales, técnicos, higiénicos, sociales y hoteleros al servicio de la utilización terapéutica. En Nicaragua existe un potencial que no se ha explotado en referencia a aguas termales, la mejor muestra e infraestructura que trata explotar este recurso se encuentra localizado en San Francisco Libre; donde se ubica una clínica en base a aguas termales. Cabe destacar que en toda la región del Pacifico, por lo general, se encuentran emanaciones hidrotermales que tienen potencial para ser explotada turística y medicinalmente.

La presente investigación surge de la necesidad de estudiar el origen del termalismo en Tipitapa, con el propósito de identificar y delimitar el termalismo del área. La mayor temperatura se encuentra en las piscinas de los termales de Tipitapa con un valor que varía entre 60°C a 75°C, la cual es el mayor punto de referencia donde se encuentra un sistema de falla local que es el que se infiere que origina el termalismo de la zona; la investigación busca proporcionar información que será de utilidad para toda la comunidad mejorando el conocimiento y aprovechamiento del fluido hidrotermal en Tipitapa.

1.4 **Objetivos**

1.4.1 Objetivo General

- Caracterizar geo-estructuralmente los termales de Tipitapa, Managua-Nicaragua.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las principales estructuras geológicas por medio de la elaboración de un mapa de fallamiento del área de estudio.
- Elaborar un mapa de fuentes termales y unidades litológicas de la zona de estudio.
- Determinar los tipos de alteraciones hidrotermales en el área en estudio.

1.5 Ubicación y vías de acceso

El área de Tipitapa está en el extremo Suroeste del lago de Managua (Xolotlán), en la zona plana y de colinas suaves surcada por el río Tipitapa, que separa el lago de Managua del lago de Nicaragua. Al centro del área de estudio, en la orilla meridional del río, se encuentra la ciudad de Tipitapa, con una población de más de 48,000 habitantes. La zona de estudio se sitúa en la hoja topográfica de Tipitapa **(2952-I)**. **(Ver Fig. N°1) y (Tabla N°1)** que abarca un área de 4x3 km (12km).

Tabla 1 Coordenadas del área hidrotermal en estudio

Vértices del área	Norte	Este
A	597000	1350000
B	597000	1346000
C	600000	1346000
D	600000	1350000

La ciudad de Tipitapa limita al Norte con las ciudades de la Trinidad, al Sur con el municipio de Masaya y la capital Managua, al Oeste con lago Xolotlán, Santa Lucia y San Francisco Libre, y al Este con la ciudad de Teustepe.

Caracterización Geo-estructural de los Termales de Tipitapa

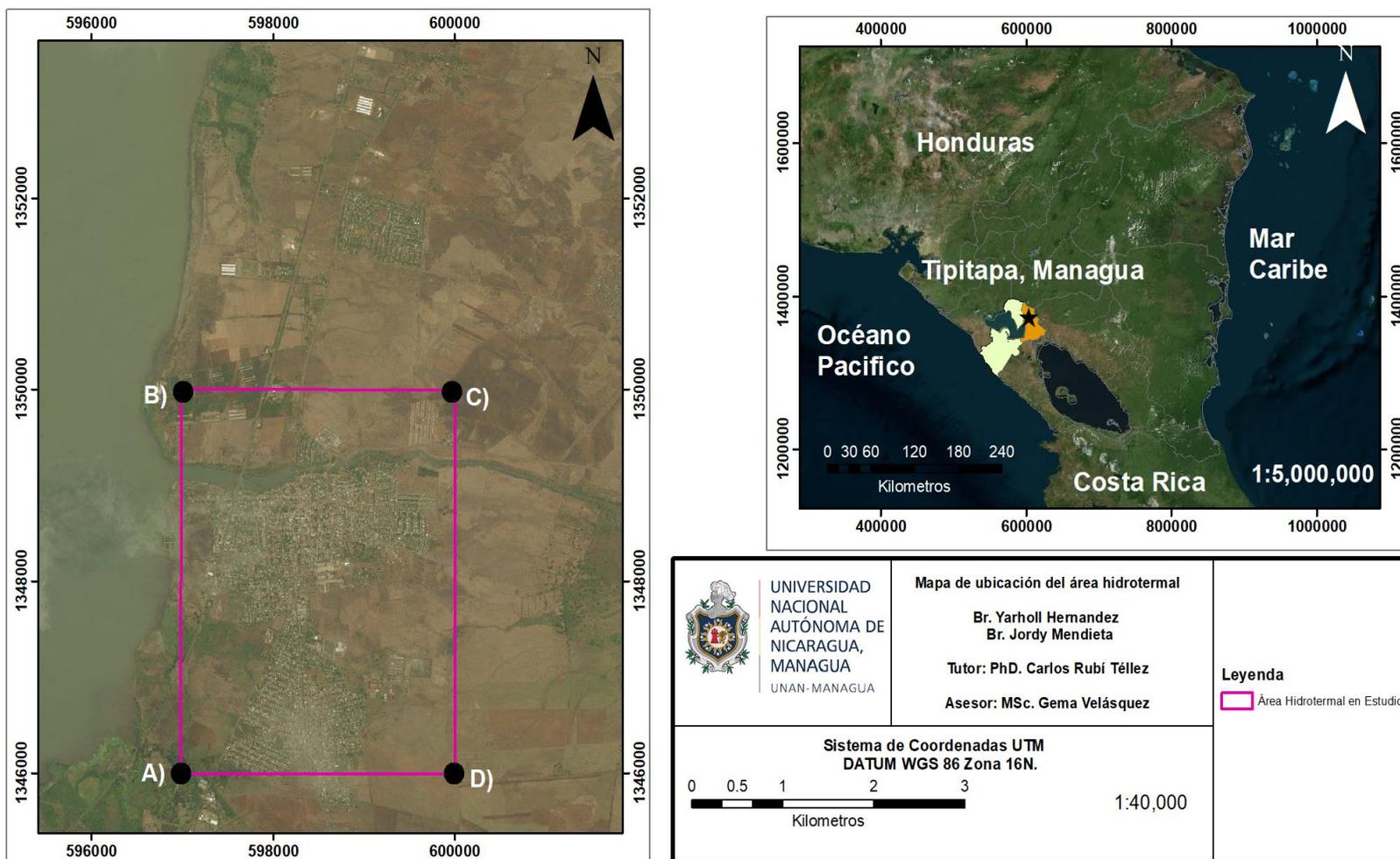


Fig. N° 1 Mapa de Ubicación del Área hidrotermal de la ciudad de Tipitapa.

1.5.1 Vías de acceso

Ruta N°1 Saliendo de Managua (**ver Fig. N° 2**):

- Se llega a Tipitapa a través de la carretera Panamericana, que atraviesa el municipio y circula en la margen Norte de su ciudad principal. Desde Managua, se sale por la carretera Norte; en las afueras de la ciudad hay una pequeña rotonda desde donde sale a la derecha la carretera vieja a Tipitapa (que llega al centro de la ciudad), y a la izquierda la Panamericana.

Ruta N°2 Desde Masaya (**ver Fig. N° 2**):

- Se llega a Tipitapa a través de la carretera Nic-11 (Tipitapa-Masaya), desde la avenida Nindirí gira a la derecha en la carretera Masaya-Granada siguiendo ese camino se encontrará a la izquierda la carretera Tipitapa Masaya; siguiendo recto llegará eventualmente al centro del municipio de Tipitapa.

Caracterización Geo-estructural de los Termales de Tipitapa

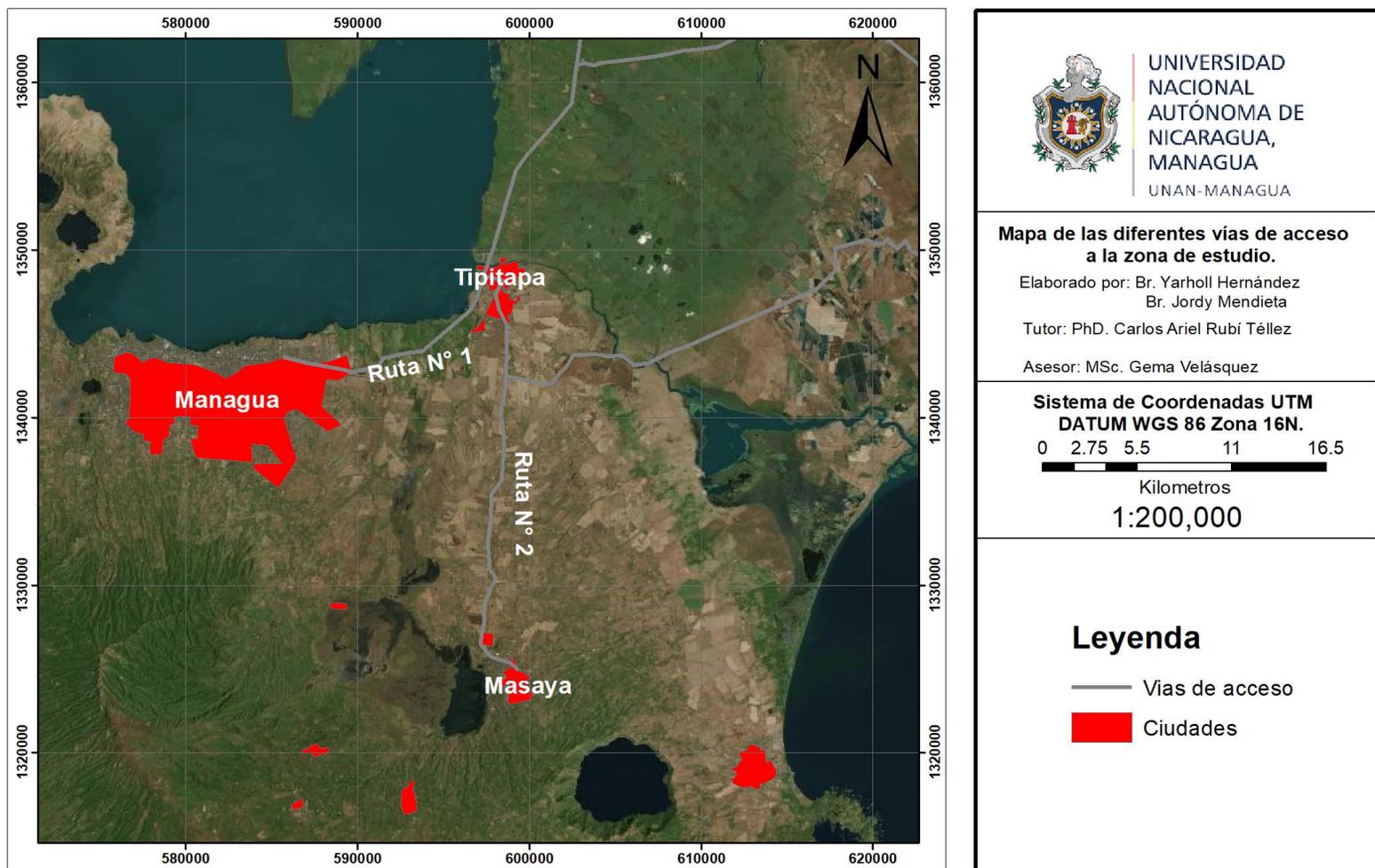


Fig. N° 2 Mapa de las diferentes vías de acceso a la zona de estudio.

Capítulo II

2.1 Marco Referencial

2.1.1 Antecedentes

Existen ciertos estudios concernientes al desarrollo del conocimiento y comprensión de la geología y termalismo de Tipitapa. Entre estos estudios se mencionan:

Servicio Geológico Nacional (1959) *Boletín N°3, Ministerio de economía*. Realizaron un estudio generalizado sobre distintos aspectos geológicos en Nicaragua tales como; reconocimiento de zonas mineralizadas, investigaciones geoelectricas, fuerzas endógenas, distribución de fuentes termales. Asociándolo a este trabajo el informe aporta información sobre la geología estructural y las manifestaciones termales de Tipitapa, así como su estratigrafía y datos de laboratorio geoquímicos.

Ortega, C. (1971). *Geología de las regiones del volcán Masaya y planicie de Tipitapa*. El principal aporte de este documento asociado a este trabajo, se relaciona al análisis de estructuras (fallas cofradía y el graben del aeropuerto), estratigrafía, litología del grupo las sierras y depósitos volcánicos del tipo lava y avalancha del volcán Masaya, así como depósitos cuaternarios, coluviales y aluviales sobreyaciendo las planicies de Tipitapa como sus facies ignimbríticas, características morfológicas que el documento subdivide en tierras altas, tierras medias y tierras bajas, este último en el caso de Tipitapa.

Dames y Moore (1978). *Informe final del estudio geológico de las ciudades del sistema metropolitano Tipitapa-Granada-Masaya-Carazo (Diriamba-Jinotepe-Dolores)*. Estos autores realizaron un estudio geológico detallado de las ciudades mencionadas. En el caso de interés "Tipitapa" realizaron diversos sondeos y trincheras para el estudio de sistema de fallamiento local y regional (falla Cofradía, rama Nadadero". "falla Cofradía, rama Enaluf y falla Llanta Perdida, entre otros) que son de suma importancia para los objetivos de este informe. Además estudiaron la

estratigrafía y litología del área, realizaron mapas estructurales y describieron los lineamientos del sitio.

Comisión Nacional de Energía, INE (2000). *Plan maestro geotérmico de Nicaragua, Evaluación del Área de Tipitapa*. Realizaron una investigación de cuerpos de agua donde analizan el potencial geotérmico de la zona de Tipitapa, para ello estudiaron el fallamiento local y regional, perfiles eléctricos, así como el tipo de roca que contiene y transmite el fluido hidrotermal, la geología superficial circundante. Además de todo lo relacionado a la naturaleza, localización y extensión del fluido hidrotermal midiendo temperatura y haciendo cálculos reserva en la zona, para obtener su factibilidad y potencial para la explotación de la energía a gran escala. Entre sus hallazgos detectaron varias anomalías geotérmicas en distintos puntos de la ciudad de Tipitapa.

Rivera, T. (2007). *Estado del conocimiento en el área de la subcuenca hidrográfica Tisma, Apoyo y Manares en la zona del Pacífico de Nicaragua*. Elaboró un estudio que abarcó la geomorfología local y regional de la zona perteneciente a la depresión de Nicaragua, así como parte de la cordillera volcánica Nicaragüense. La relación con este trabajo, la descripción de unidades geológicas, estratigráficas y litológicas locales. Además del fallamiento, fracturamiento local y regional, los lineamientos de las estructuras volcánicas y por último la descripción de estructuras caldéricas como Masaya y Apoyo.

Rubí, C. (2008). *Paleosismología en la falla de Cofradía, Managua, Nicaragua*. En esta tesis de doctorado el autor se enfoca en el sistema de fallas cofradía y los lineamientos del oeste del municipio de Tipitapa como son la falla llanta perdida que corta la ciudad de Tipitapa y escarpes de tipo erosivos, localizados entre la nueva y vieja carretera panamericana. Se realizaron 5 trincheras de las cuales 2 (el Cocal y la Vaquería están ubicadas en el municipio de Tipitapa) y se obtuvieron los perfiles geológicos de la pared Norte y Sur de la trinchera el cocal.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Marco Geotectónico Regional.

Nicaragua se encuentra ubicado en el borde Oeste de la placa Caribe, próximo a la placa Cocos la cual por ser más densa se hunde debajo de la placa Caribe formando la fosa Mesoamericana (**Ver Fig. N°3**), una región sísmicamente activa, lo cual por este proceso de convergencia de placas reflejan la gran cantidad de volcanes activos y otros ya extintos (Segura, 2007).

La placa del Caribe limita al Norte con la placa Norteamericana, en un sistema de fallas transformantes denominada Polochic-Motagua de movimiento lateral izquierdo, hacia el Sur limita con la placa Sudamericana, al Este con la fosa de Puerto Rico y las zonas de subducción de las Antillas menores, al Oeste con la placa Cocos. Esta placa subduce hacia el Noreste por debajo de la placa Caribe, a lo largo de la trinchera Meso-Americana (Peacock et al. 2005).

En el lugar de convergencia entre las dos placas, la placa Cocos de tipo oceánico se dobla bajo la placa Caribe de tipo continental y se forma una zona de contacto y de fricción entre los dos fragmentos litosféricos generando la actividad volcánica y sísmica (Strauch, 2000).

En el istmo Centroamericano la placa del Caribe está dividida en varios elementos estructurales; el bloque Chortis que conforma América Central del Norte y de naturaleza continental y el bloque Chorotega de América Central Sur, de naturaleza oceánica. Se ha postulado que el Escarpe Hess de rumbo Noreste localizado en la parte Sur de Nicaragua, marca el límite entre los dos bloques dentro del Mar Caribe (Venable, 1994)

América Central, en su basamento, está constituida por bloques tectónicos de diferentes naturalezas, cuyos márgenes son complejos cinturones tectónicos activos que han evolucionado a lo largo del cenozoico y se caracterizan por un fallamiento horizontal, plegamiento compresional, empuje y deformación (Dengo y Case, 1990).

El bloque Maya de naturaleza continental, tiene un basamento metamórfico de alto grado y rocas intrusivas datadas del paleozoico, así como una secuencia volcánica y rocas sedimentarias del paleozoico.

El bloque Chortis, parte de la placa del Caribe desde el Terciario Temprano (Pindell y Barrett 1990), incluye el sur de Guatemala, Honduras, El Salvador y la parte más septentrional de Nicaragua. Se caracteriza por un basamento metamórfico de baja ley pre-jurásico de afinidad continental cubierto por una secuencia sedimentaria marina mesozoica poco profunda con unidades volcánicas locales y una pila volcánica terciaria. Está delimitado por el bloque maya, parte de la placa de América del Norte, en el norte y el bloque Chorotega (América Central Sur), parte de la placa del Caribe, en el sur.

El bloque Chorotega difiere del bloque Chortis en la naturaleza de su basamento, la composición de sus rocas volcánicas, la naturaleza de la secuencia mesozoica y su secuencia más continua de vulcanismo (Venable, 1994). El bloque Chorotega está subyacente completamente por la corteza oceánica, compuesto por una secuencia de ofiolitas de edad Cretácica, constituidas por basaltos en almohadillas, gabros, peridotitas y peridotitas serpentinizadas, sobreyacidas por sedimentos con abundantes restos de fósiles (radiolaritas) (Dengo y Case, 1990).

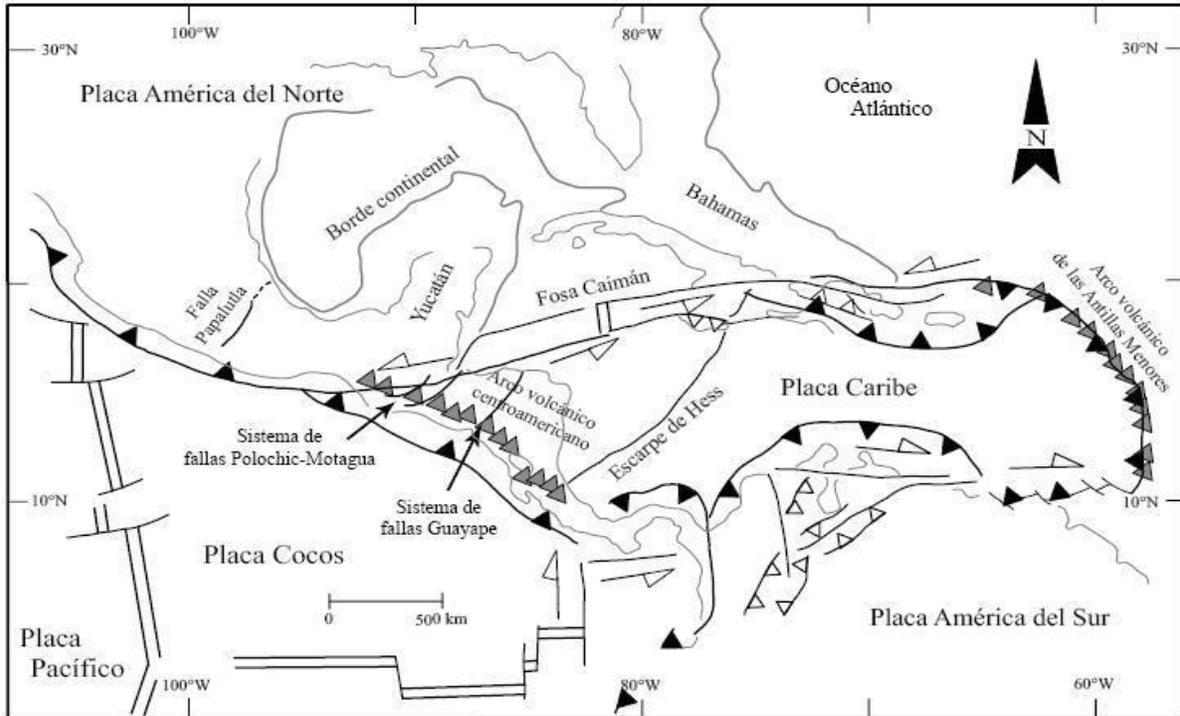


Fig. N° 3 Mapa Geotectónico de Centroamérica.
Fuente: (Acton et al. 2000)

2.2.2 Geología Regional de Nicaragua

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. (Rivera, 2007).

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 (**Ver Fig. N°4**) que reflejan el ambiente geológico del país, (McBirney A. & William H., 1965) y (Hodgson, 1978), las cuales son:

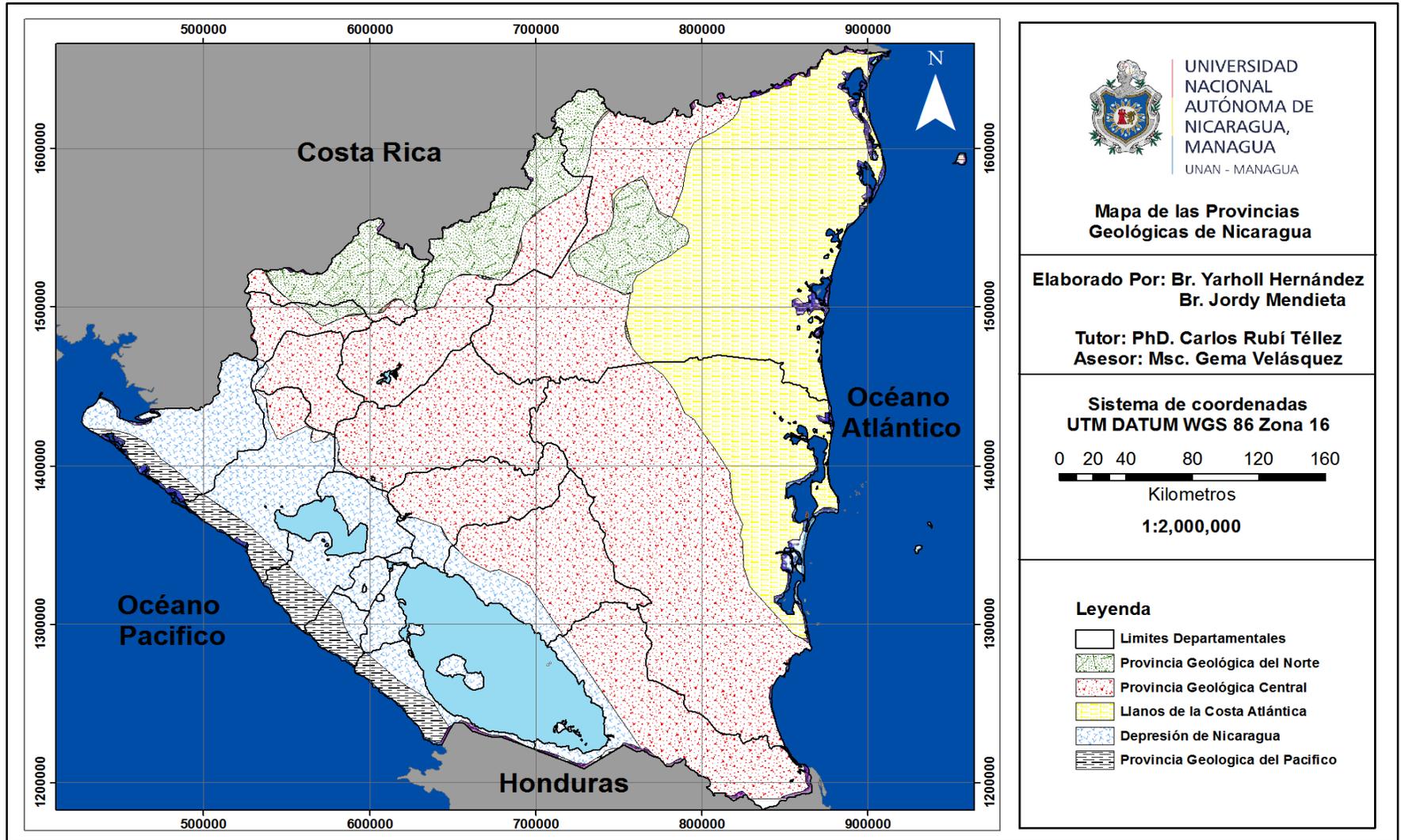


Fig. N° 4 Mapa de las provincias geológicas de Nicaragua.
Modificado de: (Hodgson, G; 1972)

2.2.2.1 Provincia Geológica de Las Planicies de la Costa del Pacífico

Constituye una estrecha franja de terrenos paralelos a las costas del pacífico, con un ancho inferior a los 30 km (Parsons Corporation, 1972). Desde el punto de vista geológico estos terrenos están formados por sucesiones de sedimentos marinos poco profundos como: detritos y rocas volcanoclasticas con intercalaciones de lava, con rango de edad desde el cretácico tardío al mioceno (Daniel y Mario, 2017).

Esta provincia está constituida por seis formaciones geológicas de diferentes edades, las cuales son: formación Rivas (cretácico superior), formación Brito (eoceno), formación Masachapa (oligoceno), formación el Fraile y Tamarindo (mioceno) y formación el Salto (plioceno). Zoppis B. y Del Guidice. (1958). Geomorfológicamente esta provincia comprende relieve moderado a abrupto, cerros en forma de cresta angosta y larga, con fuerte inclinación hacia el mar a veces onduladas y dislocadas, también se presentan numerosas cuevas, características de rocas estratificadas de diferentes tipos (Martínez, 2012).

2.2.2.2 Provincia geológica del Norte

En el área que comprende la región Noroeste – Noreste de Nicaragua, fue señalada por Hodgson en 1988, como la provincia geológica del Norte, la cual abarca la plataforma Paleozoica, la Mesozoica cuenca de río Bocay y áreas del Norte de los terrenos altos del interior. La provincia está compuesta por rocas metamórficas, consideradas como las más antiguas del país, comprende rocas de bajo grado de metamorfismo, tales como mármol, cuarcitas, pizarras y otras rocas meta-sedimentarias (Hodgson, 2000).

Garayar J. en 1972 menciona que las rocas metamórficas aflorantes en Nicaragua, son de bajo grado de metamorfismo que comprende: filitas, mica-esquistos, cuarcitas, pizarras, mármoles, esquistos calcáreos – hornbléndicos – anfibolíticos y lo relaciona con el basamento cristalino metamórfico de Guatemala. Dentro de esta provincia geológica son incluidas las formaciones de origen sedimentario formación Totogalpa (Tot) y formación Metapán (Km) (Castro, 2017).

2.2.2.3 Provincia Geológica Central

En 1965, McBirney et al, en el estudio de la historia volcánica de Nicaragua, subdividió las rocas volcánicas de la región Central en dos grandes grupos y un tercer grupo inferido subyacente, los dos superiores el Coyol y el Matagalpa fueron diferenciados uno del otro por la composición litológica y la geomorfológica (el Coyol con un relieve en mesas y mesetas escalonadas y el Matagalpa con relieves de cerros irregulares u ondulados, de topografía suave, rocas buzantes y deformadas), señalando que estas dos secuencias de rocas tienen grandes extensiones, en todo el área Central - Noreste de Nicaragua. Las rocas de estos grupos han sido descritas como del terciario medio superior.

Posteriormente en 1982 el grupo Matagalpa fue subdividido por Hodgson, en dos secuencias de rocas, crono-litoestratigraficos, se mantuvo el del grupo Matagalpa y se introdujeron el término del Pre-Matagalpa, y dentro de este se estableció un nuevo grupo correspondiente al grupo río Saiz. La geomorfología del grupo comprende terrenos de altas montañas, severamente deformados, zonas de fuerte flexiones y arqueadas, relieves de fuertes declives, muy fracturada dando la característica de bloques fallados, cuyas disposiciones de los bloques aparentan reflejar pliegues (Sevilla, 2016).

2.2.2.4 Provincia de los llanos de la Costa Atlántica

Según Hodgson, G. (2000) esta provincia está litológicamente constituida por depósitos aluvionales de grandes espesores y cubriendo gran parte de la provincia impidiendo el afloramiento de las rocas sedimentarias del pleistoceno que fueron depositadas en las cuencas y en el banco de Nicaragua, comprende y comprende:

- Formación Bragman`s Bluff (plio-pleistoceno), formación Martínez (pleistoceno-mioceno medio), formación Mosquítia (mioceno Inferior), formación Punta Gorda (Eoceno), formación Touche (paleoceno).

2.2.2.5 Provincia Geológica de La Depresión de Nicaragua

El termino de depresión es el más apropiado para asignar a la estructura de este macro rasgo morfológico que el concepto estrictamente definido en un graben. La depresión del graben de Nicaragua, forma parte de la zona marginal del pacifico de América Central, la cual está caracterizada por presentar fosa de mar profunda, regiones de plataformas, cadenas de arcos de islas activos y rasgos tectónicos activos (Rivera, 2007).

Está caracterizada por el predominio de rocas volcánicas, depósitos piroclásticos y sedimentos del plioceno y reciente. Las rocas más características están comprendidas en la serie piroclástica de la formación las Sierras y el grupo Managua. Pero también hay flujos lávicos de actividad reciente. También dentro de la depresión existe la presencia de ventanas de ignimbritas y lavas básicas del grupo Coyol (Sevilla, 2016).

2.2.2.5.1 Cordillera Volcánica de Nicaragua

La cordillera volcánica cuaternaria, que se desarrolla al interior de la depresión Nicaragüense, es parte del arco volcánico Centroamericano, originado por los procesos de subducción de la placa de Cocos a lo largo de la fosa Centroamericana. Dicha cordillera se compone por un total de unos 40 edificios, los cuales en su mayoría aparecen agrupados a constituir complejos volcánicos que representan unidades morfológicas distintas y generalmente separadas entre sí por sectores con ausencia, o presencia muy reducida, de actividad volcánica (**Ver Fig. N°5**). La causa de estas agrupaciones no ha sido todavía determinada, pero es probable que dependa de condiciones estructurales profundas, que originaron una génesis no uniforme y diferentes modalidades de subida de los magmas (Comision Nacional de Energia, 2001).

Entre los diferentes complejos volcánicos, Van Wyk de Vries (1993) identificó la presencia de tres tipos fundamentales:

Escudos-volcánicos: los cuales son generalmente ubicados en proximidad de zonas de fallamiento transversales a la cordillera volcánica y están ellos mismos cruzados por importantes fallas. Estos incluyen varios conos y cráteres, a menudo esparcidos en un radio de unos 5-15 km desde el centro principal. Su elevación es generalmente modesta (menor de 1,050 m.s.n.m.) y sus laderas son suavemente inclinadas (15-20°). Se componen principalmente por lavas en forma de amplias y delgadas coladas que se extienden hasta distancias de 15 km desde el centro del complejo, mientras que los productos piroclásticos son esencialmente limitados a las zonas alrededor de los cráteres.

Estrato-volcanes: normalmente alejados de importantes zonas de falla y limitadamente afectados por fallamiento de origen tectónico. Las deformaciones de estos edificios son, en su mayoría, atribuibles a fenómenos de inestabilidad gravitacional. Presentan en general un edificio principal y pocos conos secundarios. Su elevación es mayor que los escudos-volcánicos, alcanzando hasta los 1,700 m.s.n.m. Estos volcanes presentan en general una parte superior del cono principalmente compuesta por depósitos piroclásticos y caracterizada por inclinaciones de hasta 30°, y una parte inferior con abanicos de coladas lávicas, depósitos de escombros y de lahar intercalados con delgadas capas de piroclastos.

Complejos ácidos: relacionados con la evolución de cámaras magmáticas intracrustales que generan magmas muy diferenciados y erupciones fuertemente explosivas. Se presentan en forma de amplios escudos compuestos por productos piroclásticos (pómez e ignimbritas) y subordinadamente lávicos, de composición variable entre basáltica y dacítica. En estos edificios es frecuente la presencia de amplias calderas.

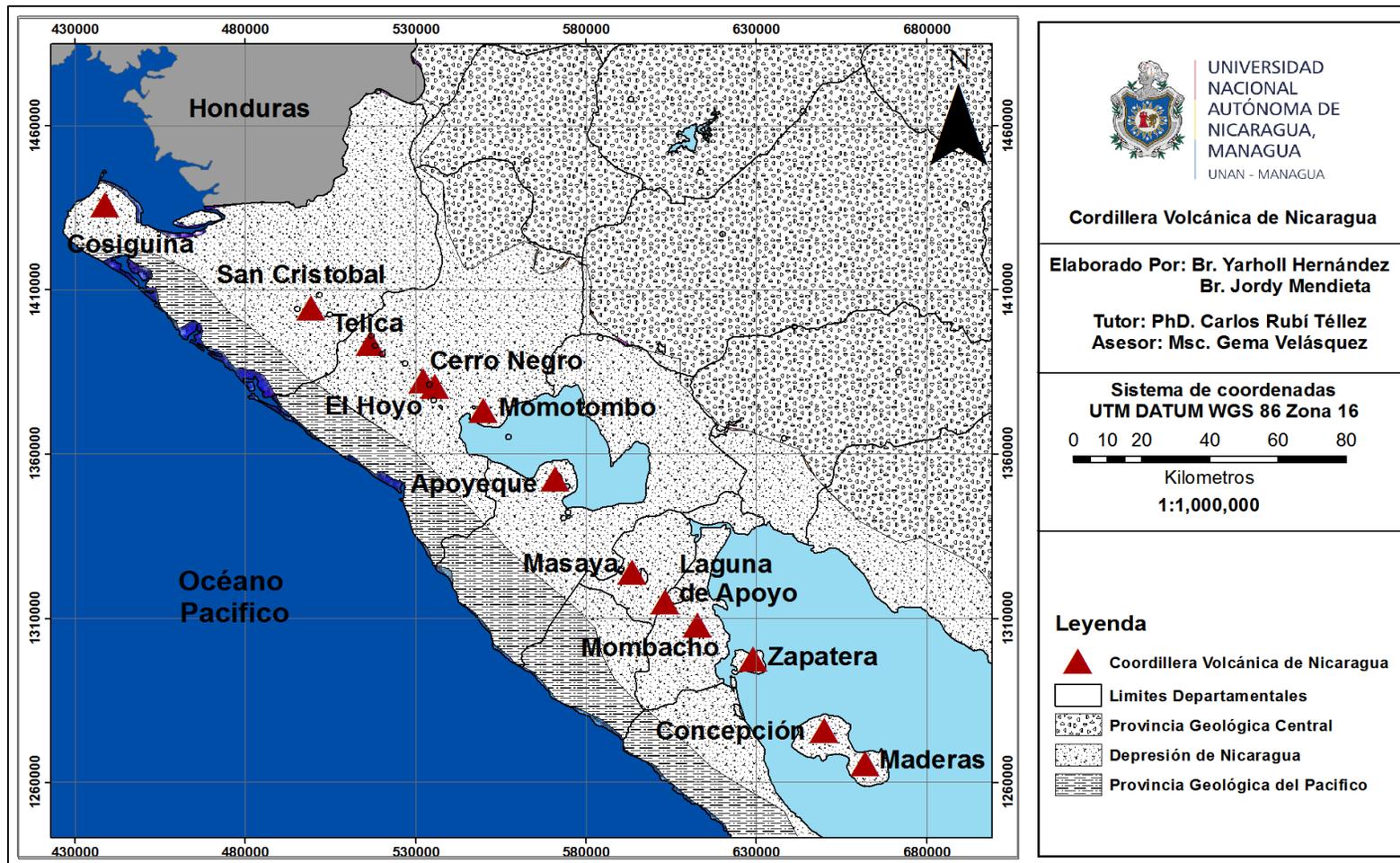


Fig. N° 5 Cordillera Volcánica Cuaternaria.

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 (Rivera, 2007).

Caldera Masaya

El complejo de Masaya es un centro volcánico compuesto por flujos de lava basálticas y piroclástos, afectado por un colapso caldérico de 11 km de largo por 6 km de ancho, con el eje mayor orientado Noroeste-Sureste siguiendo la dirección del eje de la cordillera volcánica cuaternaria. Según (Hradecky, 1998), la caldera de Masaya es la más reciente de cuatro calderas que se formaron a partir del pleistoceno Inferior con la caldera de Carazo, siguiendo en el pleistoceno inferior y medio con la Estrella, en el pleistoceno medio con las Nubes y finalmente, en el pleistoceno superior con la caldera de Masaya.

A cada caldera asocia a un proceso volcánico cuyos productos dieron lugar a grupos de rocas que definió grupo Masaya, grupo las Nubes, grupo La Estrella y grupo Carazo, por su asociación genética con cada una de estas calderas.

En su interior, en la parte media Noreste, la caldera de Masaya presenta un edificio casi circular formado por los volcanes Masaya, al Este, y Santiago (o Nindirí) con una estructura cónica integrada por diversos flujos de lava interestratificados con piroclásticos. El volcán Masaya además de su cráter presenta una pequeña chimenea llamada San Juan. El volcán Santiago (o Nindirí) por su parte presenta un cráter más viejo central (cráter Nindirí) con otros dos cráteres laterales al Sureste y Noreste. El cráter Santiago, al Sureste, es más joven que el Nindirí y actualmente manifiesta una intensa actividad fumarólica con emisiones de gases volcánicos en cantidades muy grandes. El cráter San Pedro, al Noroeste, es también más joven que el cráter Nindirí, pero es inactivo (Comision Nacional de Energia, 2001).

La caldera Masaya es uno de los sistemas volcánicos más activo de Nicaragua y de interés vulcanológico muy especial, ya que ha producido grandes erupciones basálticas altamente explosivas (pliniana y freatomagmáticas) en el pasado (Williams S.N, 1983) así como (Ehrmann et al. 1983). Dentro de la caldera Masaya, se han originado ciertos conos a través de una serie de fuentes eruptivas principalmente semicircular que incluye a los conos Masaya y Nindirí, que a su vez albergan los cráteres Masaya, Santiago, Nindirí y San Pedro. Las paredes de los cráteres indican que han ocurridos varios episodios de formación de conos y cráteres (Van Wyk de Vries, 1993).

Fuera de la caldera nos encontramos con dos estructuras volcánicas el Coyotepe en la parte Nor-Oriental de la caldera y la Barranca un poco más al Sur del primero, los dos nos dan una clara idea de estructura de Volcanes Cineríticos. (Ortega, 1971)

El cráter Nindirí está relleno de lavas que constituyeron varios lagos de lava, notablemente en los años de 1570, 1670 y en 1852, aunque luego de la emisión de lavas de 1670, el piso del cráter se hundió a través de un sistema de fracturas circulares, visibles en la actualidad debido a que cortan los cráteres San Pedro y Santiago (Van Wyk de Vries, 1993).

Estudios de (Williams S.N, 1983) y (Bice D.C, 1985) indican que la caldera de Masaya es el producto de una serie de erupciones explosivas de composición basáltica, que incluyen erupciones ignimbríticas plinianas. Previamente a la formación de la caldera, se infiere que se formó un volcán en escudo, de poca altura y distinto a los que normalmente dominan en el eje volcánico nicaragüense.

La evolución del complejo de Masaya se considera es producto de la diferenciación de un sistema magmático abierto en una cámara magmática somera. Los procesos que han operado en esta cámara, son la cristalización fraccionada y una mezcla con magmas basálticos menos desarrollados como los que han salido por los conos cineríticos en la vecindad de la caldera (Comision Nacional de Energia, 2001).

En sus paredes internas se notan intercalaciones de flujos lávicos. El fondo del cráter está ocupado por un manto negro de lava solidificada. La última emisión

fumarólica comprendió el periodo entre 1946 y 1959 terminado con la oclusión del intercrater por un derrumbe de las paredes. En la actualidad se nota actividad fumarólica, pero de muy poca emisión (Ortega, 1971).

Las erupciones basálticas altamente explosivas que han ocurrido en la caldera del Masaya, han producido cuatro principales depósitos: tefra San Antonio, tefra Concepción, triple capa Masaya, y la toba Masaya. Estas grandes erupciones dejaron depósitos con volúmenes que van de 0,2 km³ de la tefra Concepción a 3.9 km³ para la toba Masaya, cubriendo áreas mínimas de 600 a 1600 km², alcanzando magnitudes de la masa eruptiva entre 4.3 y 5.9 y un índice de explosividad volcánica (VEI) de 3-4 (Pérez, 2006).

2.2.3 Termalismo Regional de Nicaragua

Se consideran seis tipos de aguas; las aguas suspendidas (suspended waters), las aguas de profundidad (ground waters), el agua residual o (relic water), el agua de constitución, el agua geotermal y por ultimo las aguas endógenas o juveniles (Servicio Geológico Nacional, 1959).

Las aguas suspendidas: Son las contenidas en zonas de evaporación y de aeración. Por zona de evaporación se debe entender aquella zona donde las gotas de agua, exógenas, que penetran en el terreno pueden volver por evaporación a la atmosfera.

Zona de aeración es aquella donde las aguas vadosas se alternan con el aire en los huecos del terreno. Es claro por eso que a la primera zona corresponden las aguas del suelo vegetal (soil waters), mientras que a la segunda las aguas peliculares (film waters), las vadosas o sea las aguas exógenas traídas hacia abajo por la gravedad, las freáticas suspendidas (perched waters) o sea la reunión de aguas arriba de estratos o lentes impermeables de la zona de aeración y el agua capilar.

Las aguas de fondo: Son las que ocupan la zona de saturación. Se diferencian por lo menos tres tipos; agua freática: el agua del primer estrato acuífero principiando del suelo; agua artesiana o en presión: delimitada superior e inferiormente por

bancos impermeables; agua de fondo fija (fixed ground water) o agua inmóvil no recuperable con bombeo.

Las aguas residuales o fósiles: Son aquellas incluidas en las rocas y en los minerales desde su formación, como las aguas saladas de los yacimientos de petróleo o aquellas de los cristales de cuarzo.

Las aguas de constitución: Son aquellas de combinación química con otras sustancias, para formar compuestos químicos de diversos orígenes.

Las aguas geo-termales: Son las aguas que yacen a tales profundidades que, por efecto de calentamiento geotérmico, toman temperaturas superiores a la temperatura media externa (Fuentes geo-Termales).

Las aguas endógenas o juveniles: Son las que se formaron en el interior de la tierra, por combinación de hidrógeno y oxígeno a altas temperaturas. Cuando salen a la superficie al estado líquido tenemos las fuentes termales y si salen al estado de vapor tenemos las fumarolas. En particular se dice agua plutónica aquella que derive de un magma profundo que se esté consolidando y volcánica la que sale de las lavas en fase de consolidación, sea a la superficie como a pequeñas profundidades (Servicio Geológico Nacional, 1959).

Según Arguello, G. (2010) Las aguas termales superficiales se pueden clasificar según su temperatura de la siguiente forma:

Aguas termales frías (menos de 20 °C)

Aguas hipotermas (20-35 °C)

Aguas mesotermas (35-45 °C)

Aguas hipertermas (45-100 °C)

Aguas supertermas (100°C en adelante)

Por otra parte A. Desio (1949) distingue las siguientes categorías de aguas termo-minerales considerándolas desde un punto de vista geológico

Aguas termo-mineral juvenil: plutónicas, volcánicas

Aguas termo-minerales vadasas: geotermales, vadasas volcánicas

Aguas termo-mineral mixto, plutónico-vadoso, volcánico-vadoso, geotermal-vadoso.

Aguas termo-minerales, congénitas; (fósiles)

La presente clasificación no es de fácil aplicación práctica por la dificultad de identificar los diferentes tipos de aguas. A. Desio (1949) sugiere algunos caracteres orientativos para reconocer los diferentes tipos de aguas.

Aguas termo-minerales juveniles: a) composición química muy a menudo diferente de aquella de las rocas de donde provienen; b) presencia de compuestos considerados de origen magmático; c) composición química, régimen térmico e hidráulico uniforme.

Aguas termo-minerales vadasas: a) composición química conforme a aquella de las rocas de donde provienen; b) composición química, régimen térmico e hidráulico variable con relación a las condiciones meteorológicas locales (Servicio Geológico Nacional, 1959).

Aguas termo-minerales congénitas (fósiles): Normalmente saladas por la presencia de NaCl; a menudo contienen también cantidad relevante de Br y de J. Podemos recordar que por lo general la presencia de ácido bórico encontrado en las aguas, aunque en notables porcentajes junto a gases raros, constituye un elemento favorable para la Hipótesis de una derivación magnética juvenil del fluido mismo.

Lista de las fuentes termales encontradas en el territorio de Nicaragua. Características generales

En las investigaciones de las fuentes termales se siguió un criterio para separar las manifestaciones directamente ligadas al volcanismo de las que son solo indirectamente, no siendo visibles en la superficie aparatos volcánicos (**ver tabla N°2**). Las fuentes del Primer grupo, que son distribuidas más o menos a lo largo del límite occidental del “graben”, coinciden como ya es conocido con la línea de los volcanes activos de Nicaragua, mientras que las del Segundo grupo son colocadas a lo largo del límite oriental de la antes dicha fosa tectónica. El tercer grupo son las fuentes fuera de las áreas volcánicas del Pacífico, ligadas a una actividad magmática profunda que todavía no ha sido suficientemente aclarada por las incompletas informaciones geológicas (Servicio Geológico Nacional, 1959).

La descripción de las fuentes termales se presenta en el esquema siguiente:

Fuentes termales localizadas en el territorio nacional		
Limite occidental de la fosa tectónica	Limite oriental de la fosa tectónica	Fuera del área del Océano Pacifico
Larreynaga (Chinandega)	El Limón (León)	Ayapal (Rio Bocay, Jinotega)
El Charco (León)	San Francisco del Carnicero (Managua)	Aranhue7 (Nueva Segovia)
San Jacinto (Telica, León)	Laguna de San Francisco del Carnicero (Managua)	Macuelizo (Nueva Segovia)
La Paz Centro (León)	Teustepe (Boaco)	Santa Rosa (Condega, Estelí)
Jiloá (Managua)	Juigalpa (Chontales)	Peso Real (Matiguás, Matagalpa)
Las Pocitas (Managua)	San Pedro de Lóvago (Chontales)	El Molino (Sébaco, Matagalpa)
Tipitapa (Managua)	El Castillo (Río San Juan)	Muy Muy (Matagalpa)
Santa Teresa (Carazo)	San Miguelito (Río San Juan)	El Tempisque (Dario, Matagalpa)
Laguna de Apoyo: (Granada)		Río Mico (El Rama, Zelaya)
Agua Caliente (Isletas de Granada)		Aguas Calientes (Bluefields, Zelaya)

Tabla 2 Fuentes termales en Nicaragua

2.2.4 Riesgo Sísmico y Volcánico en la ciudad de Tipitapa

Evaluación de la Amenaza Sísmica Las principales fuentes sísmicas que afectan al municipio son:

- La cadena volcánica, estructura muy fracturada, donde se originan numerosos sismos con magnitudes hasta de (M=6.5), ubicada al Oeste del sitio.
- La zona de subducción en el océano Pacífico donde pueden ocurrir sismos hasta con magnitudes (M=7 a 8) originados por el choque entre las placas tectónicas Coco y Caribe.
- Un sistema de fallas geológicas y lineamientos que pasan al Suroeste del sitio relacionadas con el sistema de fallas activo, conocida como Cofradía y el sistema de fallas del río Tipitapa, (Hradecky et al, 1998).

Amplificación del suelo: La geología local muestra un basamento compacto, representado por ignimbritas y tobas consolidadas del grupo las Sierras (TQps), la parte más superficial está representada por una capa de suelo moderno poco potente, constituido por arenas limosas de color pardo a rojizo, que indica que los estratos rocosos están a poca profundidad. Se señala que aunque en el sitio no se midió la amplificación del suelo, se asume, por experiencias de estudios realizados en ciudad Sandino y Managua, que la amplificación del suelo es baja. Esto significa que las condiciones del terreno son Aptas para la construcción de las viviendas proyectadas. (INETER, 2004)

Fallas geológicas: Próximo al sitio se localizan varias estructuras tectónicas y lineamientos asociados al sistema de fallas activas conocida como Cofradía, ubicada al Suroeste del sitio y sistema de fallas del río Tipitapa, (Hradecky et al, 1998).

DAMES & MOORE, 1978, no detectaron fallamiento al Norte del río Tipitapa, y según (Hradecky et al, 1998) hacia el Norte de este río no hay mucha afectación por procesos tectónicos. En el sitio, según archivo de INETER, no se realizó el 'Estudio Geológico por Fallamiento Superficial a pesar de la complejidad tectónica de este municipio.

Nivel de Amenaza: ALTO. Este nivel de amenaza debe ser tomado en cuenta para el desarrollo del municipio; aplicando estrictamente el Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-83).

Evaluación de la Amenaza Volcánica

Para la evaluación de la amenaza volcánica, un factor importante a considerar es la distancia de las fuentes volcánicas, así como la dirección predominante del viento. El Municipio Tipitapa se encuentra relativamente próximo a la cadena volcánica (volcán Masaya), pero contrario a la dirección predominante del viento con respecto a ésta, por lo tanto, la probabilidad de afectación por amenaza volcánica en esta región es relativamente baja. (INETER, 2004)

Los volcanes más próximos al sitio son Apoyeque, a 27 km. al Oeste y volcán Caldera de Apoyo a 25 km. al Suroeste del sitio. El municipio de Tipitapa, sería afectado solo en caso de erupciones extremadamente fuertes.

La cadena volcánica en sentido general, manifiesta su mayor grado de amenaza en dirección Noroeste hasta Suroeste, según la dirección predominante del viento.

Nivel de Amenaza: BAJO

A continuación en la tabla N° 3 se evalúan las amenazas volcánicas y sísmicas de la ciudad de Tipitapa.

Amenaza	Evaluación Existente	Nivel de amenaza	Informe/Estudios
1. Amenaza sísmica		Para el Municipio	
Aceleración máxima en roca	Si	Alto Gshap: 3.54 m/s ²	GSHAP, 1999
Amplificación del suelo	No	Bajo	Observación en el campo
Fallas geológicas	Si	Alto	Catastro 1972.
2. Amenaza Volcánica		Para el Municipio	
Cenizas volcánicas	Si	Bajo	Estudio geológico de riesgo natural y vulnerabilidad en volcán Momotombo y Apoyeque Servicio Geológico Checo, INETER, 2001.
Flujos piroclásticos	Si	Bajo	Estudio Geológico para reconocimiento de Riesgo Natural y Vulnerabilidad en el área de Masaya y Granada, INETER - Servicio Geológico Checo, 1998.
Flujos de lava	Si	Bajo	Estudio geológico del riesgo natural y vulnerabilidad en Volcán Momotombo y Apoyeque Servicio Geológico Checo, INETER, 2001.
Lahares	Si	Bajo	Estudio geológico del riesgo natural y vulnerabilidad en Volcán Momotombo y Apoyeque Servicio Geológico Checo, INETER, 2001.

Tabla 3 Vulnerabilidad sísmica y volcánica, (INETER, 2004).

2.2.5 Definición de Geología

La geología es la ciencia del planeta Tierra. En particular se ocupa de los materiales que lo integran (rocas, sedimentos, etc.), de su estructura (estratos, pliegues, fallas, etc.), de los procesos que los forman y modifican (magmatismo, litificación, metamorfismo) y de su historia (geología histórica). En este último aspecto, la geología reconstruye la sucesión de paisajes que han existido (Paleogeografía) y de su relación con la evolución biológica (Paleontología). Varias ciencias tienen una relación estrecha con la geología, como la Mineralogía, la Geofísica, la Geoquímica y la ya citada Paleontología.

Esta ciencia posee numerosas e importantes aplicaciones prácticas, entre ellas la exploración y explotación de yacimientos de combustibles fósiles, minerales metálicos e industriales, la investigación de sitios para la construcción de grandes obras de ingeniería, la exploración de aguas subterráneas y campos geotérmicos, la prevención de riesgos naturales (volcánicos, sísmicos, etc.) y los estudios geoambientales.

2.2.5.1 Ramas de la Geología

Las disciplinas integradas en las ciencias Geológicas son: Petrología (ígneas, metamórficas y sedimentarias), Geoquímica, Cristalografía y Mineralogía, Metalogía (yacimientos minerales), Geología de Minas, Geodinámica (tectónica y geología estructural), Geotecnia, Geofísica, Geomorfología, Geología Marina, Geología Ambiental, Estratigrafía, Sedimentología, y Paleontología (Oyarzun, 2009).

2.2.6 Fallas y Fracturas

Las fallas son discontinuidades en rocas a lo largo de las cuales existe un desplazamiento diferencial significativo, constituyen la deformación frágil más frecuente en Geología, y por lo tanto se trata de uno de los elementos más representados en Geología Estructural. Pueden tener longitudes desde pocos metros hasta centenares de kilómetros, como por ejemplo la de San Andrés en California. Los movimientos repentinos de las fallas son normalmente los responsables de la mayoría de los terremotos (Tarbuck & Lutgens, 2005).

También se pueden definir como una ruptura de un bloque geológico a través de un plano, denominado plano de falla, que implica desplazamiento relativo de los bloques de manera paralela a dicho plano. Las fallas son producidas por cizalla simple sobre un bloque geológico.

Fracturas: Término general que incluye fallas y diaclasas. Las fracturas son consecuencia del comportamiento frágil de las rocas respecto a los esfuerzos deformativos anisótropos. (Oyarzun, 2009)

2.2.6.1 Tipos de fallas

Según el tipo de desplazamiento que tengan los bloques uno respecto a otro, así como que se trate de movimientos en la vertical u horizontal (**Ver Figura N° 6**), pueden definirse los siguientes tipos de falla: (Geoxnet, 2011)

2.2.6.1.1 Fallas normales

Se originan por un desplazamiento vertical causados por esfuerzos extensivos, cuando el bloque de techo se desplaza hacia abajo con respecto al bloque de muro.

2.2.6.1.2 Fallas inversas

Son desplazamientos verticales producidos por esfuerzos compresivos, cuando el bloque de muro se desplaza hacia arriba con respecto al bloque de techo.

2.2.6.1.3 Fallas horizontales (desgarre)

Son planos de fractura con desplazamiento en la horizontal paralela a la dirección de la falla. Se dan en todas las escalas, pueden recorrer desde centenares de kilómetros y afectar a toda la corteza o tratarse de pequeños accidentes que acompañan a los pliegues.

2.2.6.1.4 Fallas oblicuas o mixtas

Por último, también podemos hablar de fallas con desplazamientos combinados, tanto verticales como horizontales. A este tipo de desplazamiento se le llama *oblicuo*. Si bien, todo desplazamiento de fallas puede registrar ambas categorías, por lo general prevalece una de ellas, para ser denominado como vertical u horizontal. En ciertos casos, el movimiento contrario de fallas geológicas puede generar un sistema de alineaciones montañosas. Cuando esto ocurre, hay bloques que se elevan y bloques que se hundén, producto de esta interacción. A los bloques que se elevan se les denomina *horst*, y a los bloques que se hundén se les denomina *grabens*.

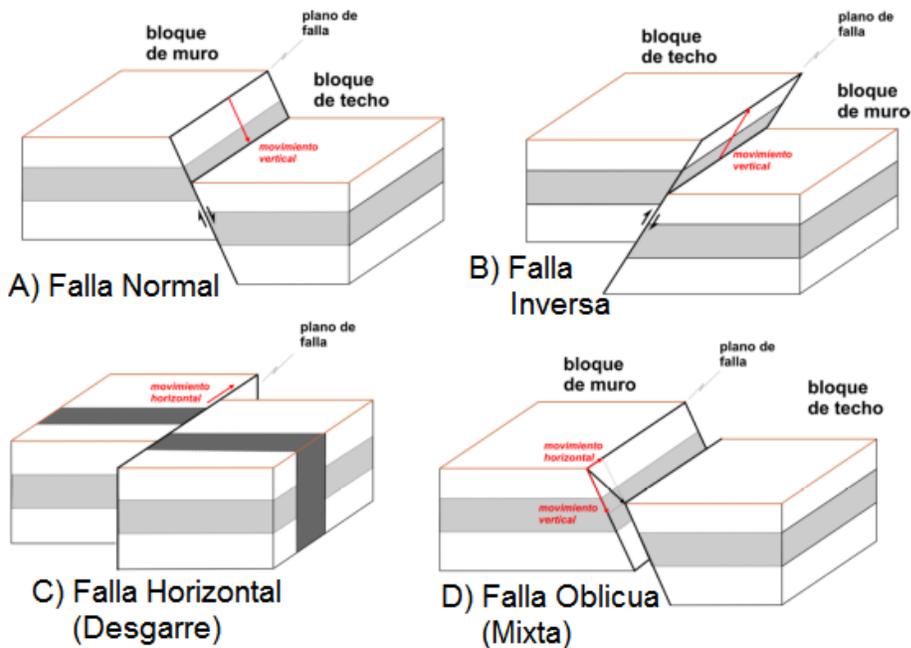


Fig. N° 6 Tipos de fallas.

Fuente: (Universidad Autonoma Madrid, Departamento de Geologia y Geoquimica, 2015)

2.2.7 Hidrotermalismo

Se refiere a todos los procesos y fenómenos naturales vinculados al agua caliente; como se menciona y explica a continuación:

2.2.7.1 Aguas térmicas

Las aguas termales son aguas con una elevada cantidad de minerales que brotan del suelo de manera natural y a una temperatura que supera en 5°C la temperatura registrada en la superficie. Muchas veces las aguas termales se ubican en la zona de fallas geológicas, las cuales penetran las aguas subterráneas que, al alcanzar mayor profundidad, se calientan. Luego regresan a zonas superficiales ya más calientes (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Clasificación de los sistemas térmicos superficiales según su temperatura:

- Aguas frías (menos de 20 °C)
- Aguas hipotermas (20-35 °C)
- Aguas mesotermas (35-45 °C)
- Aguas hipertermas (45-100 °C)

Clasificación según su composición:

- Aguas ferruginosas: presentan fundamentalmente hierro en su composición.
- Aguas cloruradas: con alto contenido de cloro.
- Aguas sulfuradas y sulfurosas: contienen abundantemente azufre.
- Aguas sulfatadas: aparte de azufre pueden incluir sodio, calcio, magnesio o cloro en su composición.
- Aguas bicarbonatadas: con bicarbonato. Frías y alcalinas.

2.2.7.2 Fuente hidrotermal

Una fuente hidrotermal o fumarola es una grieta en la superficie terrestre del cual fluye agua térmica (caliente). Las fuentes hidrotermales se encuentran comúnmente en lugares que son volcánicamente activos donde el magma está relativamente cerca de la superficie terrestre. Estas fuentes son abundantes en la corteza terrestre porque es geológicamente activa y tiene cantidades grandes de agua subterránea (María garcía, 2016).

2.2.7.3 Alteraciones hidrotermales

La alteración hidrotermal es un proceso geológico en donde sedimentos o rocas sufren los efectos de la circulación de fluidos de agua a altas temperaturas que son químicamente activos. La alteración hidrotermal afecta la composición mineral y la velocidad de ciertas reacciones, la cual ocurre a relativamente bajas temperaturas y presiones (María garcía, 2016).

2.2.7.3.1 Propilítica

Presencia de epidota y/o clorita y ausencia de un apreciable metasomatismo catiónico o lixiviación de alcalis o tierras alcalinas; H₂O, CO₂ y S pueden agregarse a la roca y comúnmente se presentan también albita, calcita y piritita. Este tipo de alteración representa un grado bajo de hidrólisis de los minerales de las rocas y por lo mismo su posición en zonas alteradas tiende a ser marginal.

2.2.7.3.2 Argílica Intermedia

Importantes cantidades de caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas amorfas, principalmente reemplazando a plagioclasas; puede haber sericita acompañando a las arcillas; el feldespato potásico de las rocas puede estar fresco o también argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg de las rocas. La alteración argílica intermedia representa un grado más alto de hidrólisis relativo a la alteración propilítica.

2.2.7.3.3 Sericítica o cuarzo-sericítica

Ambos feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) transformados a sericita y cuarzo con cantidades menores de caolinita. Normalmente los minerales máficos también están completamente destruidos en este tipo de alteración.

2.2.7.3.4 Argílica avanzada

Gran parte de los minerales de las rocas transformados a dickita, caolinita, pirofilita, diásporo, alunita y cuarzo. Este tipo de alteración representa un ataque hidrolítico extremo de las rocas en que incluso se rompen los fuertes enlaces del aluminio en los silicatos originando sulfato de Al (alunita) y óxidos de Al (diásporo). En casos extremos la roca puede ser transformada a una masa de sílice oquerosa residual.

2.2.7.3.5 Potásica

Alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita. Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico (cambio de base) con la adición de K a las rocas. A diferencia de las anteriores este tipo de alteración no implica hidrólisis y ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas (principalmente en el rango 350°-550°C. Por esta razón, frecuentemente se refiere a la alteración potásica como tardi-magmática y se presenta en la porción central o núcleo de zonas alteradas ligadas al emplazamiento de plutones intrusivos (María garcía, 2016)

2.3 Hipótesis

Si se analizan los parámetros geo-estructurales de la zona en estudio se podría determinar si el origen de las fuentes termales está asociado a un esquema estructural local o tiene un origen volcánico. Por consiguiente, se puede delimitar el campo termal local para potenciar el aprovechamiento que actualmente posee.

Capítulo III

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de estudio

Consiste en una investigación de tipo descriptiva, puesto que se realizó una descripción de las principales estructuras para una caracterización Geo-estructuralmente en los termales de Tipitapa, por lo tanto, busca responder como es y cómo ocurrieron estos eventos.

El enfoque del estudio es cuantitativo porque presentamos datos en base a mediciones numéricas que nos ayudaron a medir o calcular diferentes estructuras como lo son: fallas, fracturas, tipos de roca, etc.

3.1.2 Área de estudio

El área de estudio total es de 9km², mientras que el área hidrotermal comprende 4x3km; de esta área los Termales de Tipitapa son las fuentes de mayor T°. con coordenadas UTM N 598785, E 1349152 ubicado en el Municipio de Tipitapa y con hoja topográfica No. 2952-I Tipitapa, Departamento de Managua, Nicaragua.

3.1.3 Población y Muestra

El universo de este estudio se completó en el Municipio de Tipitapa serán los 3km² y el tipo de muestra del estudio son las estructuras (fallas, geomorfología, litología, etc.) y las fuentes termales donde emerge agua mediante fumarolas.

3.1.4 Definición y Operacionalización de variables

Objetivo general	Objetivo específico	Variable conceptual	Subvariables	Variable Operativa Indicador	Técnicas de recolección de datos e información y actores participantes
Caracterizar Geo-estructuralmente los termales de Tipitapa	Identificar las principales estructuras geológicas a través de la elaboración de un mapa que permita asociarlo a fallamiento del área de estudio.	Estructura Geológicas	Discontinuidades estructurales	-Lineamientos -Geoformas -Fallas -Fracturas	Mapa estructural
	Determinar las alteraciones hidrotermales debido al termalismo del área de estudio.	Alteraciones Hidrotermales	Factores condicionantes Geológicos	-Tipo de roca -Alteraciones -Hidrotermalismo	Laboratorio
	Analizar la distribución y propagación hidrotermal mediante un mapa geológico de fuentes termales.	Distribución y propagación.	Litología y Emanaciones hidrotermales	-Tipo de roca -Tipo de Suelo -Fluido hidrotermal	Mapa litológico y de manifestaciones Termales

Tabla 4 Operacionalización de variables

3.1.5 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de información y datos.

La metodología, técnicas e instrumentos que se utilizó para la recolección de datos de esta investigación propuesta, consta de:

3.1.5.1 Trabajo de gabinete:

Se consultó, documentos, informes, reportes, diarios, artículos hechos anteriormente por otros autores, que estén relacionados a la investigación, esto incluye:

- Visitas a instituciones o centros de documentación especiales que se pueda encontrar información del tema propuesto, estos centros pueden ser: INETER, CIGEO-UNAN-Managua, alcaldía de Tipitapa, MTI, SINAPRED, Enacal, MEM.
- Recopilación de Documentos: se recopilará mayor cantidad de documentos encontrados previamente elaborados, en el área de estudio tales como: tesis, artículos, estudios u otros trabajos.

3.1.5.2 Trabajo de campo:

Consistió en tomar, analizar e interpretar datos, esta etapa incluye:

- Reconocimiento de Campo: se realizó un reconocimiento general de campo para identificar estructuras de interés y se identifican superficialmente los tipos de Rocas presentes en los afloramientos que posiblemente se han descrito en investigaciones anteriores.
- Levantamiento Geológico: se describieron a detalle las diferentes unidades de rocas presentes en el afloramiento y se hizo un seguimiento a profundidad para caracterizar la geomorfología del sitio.
- Tomar fotografías: Fotografiar los afloramientos y estructuras mejor expuestas, además de posibles hallazgos de movimientos de masa o áreas inestables.

La segunda etapa de estudio consistió en la realización de descripciones de afloramientos geológicos superficiales, identificación y análisis de parámetros estructurales y morfológicos. En la toma de datos de los pozos para delimitar el campo termal y su asociación a fallamiento.

3.1.5.3 Elaboración de mapa base:

En este paso se elaboró el Mapa base donde se representa las fuentes termales litológicas y estructurales a escala 1:40,000 que se trabajó en la Caracterización Geo-estructural con los datos obtenidos en el campo.

3.1.5.4 Instrumentos y equipos de medición:

Para la finalización de este estudio se utilizaron instrumentos para la información geológica tales como: Brújula, GPS, mapas topográficos, cintas métricas, lupa para geólogo, martillo de geólogo (piqueta), Termómetro y Software que nos permite analizar, compartir y distribuir información geográfica.

3.1.5.5 Plan de procesamiento y análisis de datos

Se hizo un análisis de los datos tomados e identificados en la etapa de campo, tales como:

- Tipos de estructuras geológicas presentes en el área.
- Fuentes hidrotermales superficiales y subterráneas.
- Factores geológicos incidentes en los movimientos de terreno.

3.1.5.6 Trabajo de laboratorio

Consistió en procesar la información obtenida en campo:

- Uso de Software: Se utilizarán programas como QGis, ArcGIS, AutoCAD, STRATER entre otros; para poder realizar mapas que representen la información obtenida y realizar columnas estratigráficas de afloramientos encontrados en el área.

3.1.5.7 Elaboración del Informe Final

Analizamos toda la información recolectada y datos tomados en campo, y alcanzado los objetivos planteados se procedió a elaborar el informe final, presentado los resultados y conclusiones de la investigación.

Técnica.

Los aspectos litológicos fueron descritos en base al tipo de roca con respecto a su origen, tamaño de los granos, color, contenido mineral mediante una descripción macroscópica en las rocas muestreadas, para realizar los perfiles geológicos del sitio.

Capítulo IV

4.1 Análisis y discusión de los resultados

4.1.1 Geología Local y Estructural

Los rasgos geológicos del área de estudio han sido resultado de la constante actividad volcánica terciario-cuaternario, representadas por una serie de unidades de rocas que conforman el grupo las Sierras y los piroclastos (ceniza, lapilli y toba) del complejo volcánico Masaya, el que presenta erupciones de tipo Estromboleana y Krakatoa. De acuerdo a la reconocimiento de campo realizado se lograron determinar ocho unidades litológicas las cuales son: suelo reciente (Hs), suelo fósil (Hsf2), depósitos de flujo de ceniza (Hfc), suelo fósil (Hsf1), toba meteorizada (TQtsi), toba afanítica (TQtasi), Flujo volcánico (TQfsi) y aglomerados ignimbriticos (TQasi).

En el área estudiada las rocas volcánicas son de edades que van desde el Plio-Pleistoceno hasta el holoceno, que son las que predominan. Entre estas rocas las tobas líticas e ignimbritas aglomeráticas forman la litología de Tipitapa **(Ver Anexo N°3)**.

Los piroclastos (Toba, lapilli y ceniza), del periodo cuaternario, con espesores que van desde 0.50m a 3m; asociados a la actividad volcánica de la caldera Masaya, cubren parcialmente los depósitos aglomeráticos y/o líticos del grupo las sierras **(Ver Anexo N°3)**.

El grupo las sierras de edad Plio-Pleistoceno yace debajo de las capas de materiales volcánicos que componen los depósitos del complejo volcánico Masaya. Este grupo consiste esencialmente de tobas finas y gruesas, tobas soldadas, aglomerados tobáceos, tufas, flujos de lodos (Lahares – fanglomerados) y brechas volcánicas **(Ver Foto N°1)**.

Las tobas líticas y/o aglomeráticas consisten de piroclastos bien consolidados o medianamente consolidados; depositados, en un ambiente de aguas someras (ambiente lagunar o lacustre) originados a partir de una intensa actividad volcánica regional. Algunas de estas tobas presentan abundantes pisolitos **(Ver Foto N°1)**.

Los fragmentos lávicos (líticos) contenidos en las tobas, son de carácter basalto-andesítico de granulometría lapilli fino a grueso y de textura subangular a subredondeados. Las diferentes capas frecuentemente estas separadas por discordancias disposicionales, representadas por la presencia de suelos fósiles (zona meteorizada) indicativos de largos periodos largos de calma en la actividad volcánica.

La parte superior del miembro inferior del grupo las Sierras está compuesta por tobas aglomeráticas que en algunas ocasiones se intercalan con arena cinerítica, suelos fósiles, arcilla limosa y lapilli escoraceo.

Las tobas son masivas, de color gris verdoso pseudo estratificado, fracturado que contienen vetillas de caliches características de las facies Tipitapa. La meteorización de estas tobas origina suelos residuales de textura areno-limosa a franco-arcillosa de colores rojizos oscuros en la parte superficial, un marrón claro en la parte intermedia y un pardo amarillentos en la parte inferior. Estos suelos poseen buena permeabilidad e infiltración **(Ver Foto N°2)**.

En la parte sur del área de estudio estas tobas están cubiertos por capas de ceniza con espesores de 0.4m a 1.2m que corresponde a la actividad complejo volcánico Masaya. Consiste en flujos de lodos aglomeráticos de color gris oscura, tobas afanítica consolidadas grisáceos y piroclastos de color pardo. Estos flujos comprenden dos horizontes separados por un suelo fósil, en el horizonte superior los líticos son de composición basáltica, el segundo horizonte compuesto por tobas afaníticas y piroclastos. **(Ver Foto N° 6, 7 y 10)**.

Los depósitos del complejo volcánico Masaya están comprendidos por los productos de la actividad volcánica que acompañó la formación de la caldera, así como las rocas depositadas por las estructuras volcánicas que posteriormente se originaron dentro de ella. Estos depósitos están formados por flujos de lavas escoraceos intercalados con capas de cenizas gruesas a finas, lapillis y tobas arenosas poco compactas **(Ver Anexo N°3)**.

Las unidades estratigráficas encontradas en el sitio de estudio de Tipitapa, se pueden dividir basados estrictamente en sus edades relativas en dos grupos. Los depósitos inferiores y más antiguos son los del grupo Las Sierras del plio-pleistoceno, que afloran en las orillas del río Tipitapa. El material superior más reciente (holoceno-pleistoceno), esté compuesto de depósitos piroclásticos y lacustres interestratificados, los cuales, alcanzan espesores considerables en el área de la costa del lago; pero disminuyen rápidamente hacia el Este hasta unos pocos milímetros y yacen discordantemente sobre las unidades de aglomeráticas del grupo Las Sierras.

En el caso de las ignimbritas basales comprenden los depósitos piroclásticos que representan tanto la región estudiada como los alrededores, una base de productos volcánicos que rellenan la depresión Nicaragüense. Estas rocas corresponden al grupo las Sierras; además abarcan varias otras rocas de composición litológica variada, pero de posición estratigráfica semejante. Se trata generalmente de ignimbritas homogéneas, con solidificación moderada. En el área, ningunas capas de escorias caídas ni siguiera flujos lávicos han sido encontrados en este grupo.

El suelo residual ocupa gran parte del área, se extiende desde el extremo este de la ciudad de Tipitapa hasta las inmediaciones de Las Banderas, por el norte se aproxima a la comunidad de San Benito y hacia el sur llega un poco más de paso de Panaloya en dirección a ciudad de Granada, ocupando la totalidad de las áreas de plantaciones de caña del antiguo ingenio Timal. La presencia de estos sedimentos se debe a los residuos que han dejado las constantes crecidas y/o inundaciones de parte de los dos cuerpos de agua en el área de la depresión nicaragüense, (Cocibolca y Xolotlán).

Su principal composición es limo arcilloso color pardo a café claro y suprayacen a Tobas consolidadas del grupo Las Sierras y los piroclástos del complejo volcánico Masaya, es muy característica de expansión o contracción en relación al estado meteorológico del sector, en periodo constante de lluvias presenta un comportamiento uniforme, se satura y filtra agua de manera lenta hacia el subsuelo, en cambio, sus partículas se contraen en ausencia de fluido, por lo tanto tiene una similitud desértica formando grietas.

4.1.1.1 Unidades litológicas en la zona

Los datos geológicos del área de estudio fueron tomados en los afloramientos que se presentan en nuestra zona de investigación, se realizó primeramente un reconocimiento del área para observar los puntos donde los afloramientos se presenten con mayor claridad, determinando así 5 estaciones claves para la toma de datos **(Ver Tabla N° 5)**.

Posteriormente se procedió visitar los puntos ya establecidos permitiendo así la observación directa de datos geológicos, y posteriormente clasificar los horizontes según su origen **(Ver Anexo N°3)**. A continuación, se describe cada depósito desde la capa basal hasta la capa superior, en ese orden, según la recopilación de información obtenida en campo:

Estación	Coordenadas		m.s.n.m	Error (m)
	Norte	Sur		
1	600126	1355071	68	3
2	598327	1347341	59	3
3	598433	1350747	59	3
4	598785	1349159	41	3
5	597488	1346261	56	3

Tabla 5 coordenadas de los afloramientos geológicos del área de estudio (WGS 1984 Zona 16N).

Con posterioridad se procedió a visitar los puntos ya establecidos permitiendo así la observación directa de datos geológicos, y posteriormente clasificar los horizontes según su origen, A continuación se describen las ocho unidades geológicas antes mencionadas:

4.1.1.1.1 Grupo Las Sierras miembro inferior (TQpsi)

4.1.1.1.1.1 Aglomerados del grupo las Sierras (TQasi)

Las rocas de este grupo presentan de forma masiva; algunas de ellas poseen vetillas de sílice (caliche), las cuales son típicas de las facies Tipitapa. La consolidación que presentan estas rocas es producto del endurecimiento y cementación bajo agua y el efecto de procesos diagenéticos, sus características estructurales y texturales son resultados de los diferentes medios de deposición. Estas unidades se localizan en los márgenes del río Tipitapa y en los termales de Tipitapa **(Ver foto N°1, 2 y 3)**.



Foto N° 1, A) Aglomerado del grupo las Sierras, B) Facie Tipitapa tobas con lixiviación de CaCO_3 .



Foto N° 2, A) Clasto diorítico en un aglomerado con alteraciones ferrosas y CaCO_3 , B) Clastos alterados por las emanaciones térmicas del sauna en el balneario termales de Tipitapa.

Se encontraron diferentes alteraciones en los clastos que conforman los aglomerados del grupo las sierras como se muestra en la Foto N° 3 y 5, La parte A) muestra minerales de malaquita, la foto B) muestra las vetillas rellenas de caliche pertenecientes a las facies de Tipitapa, la foto C) y D) muestra oxidación que cubre tanto la matriz del aglomerado como sus clastos.

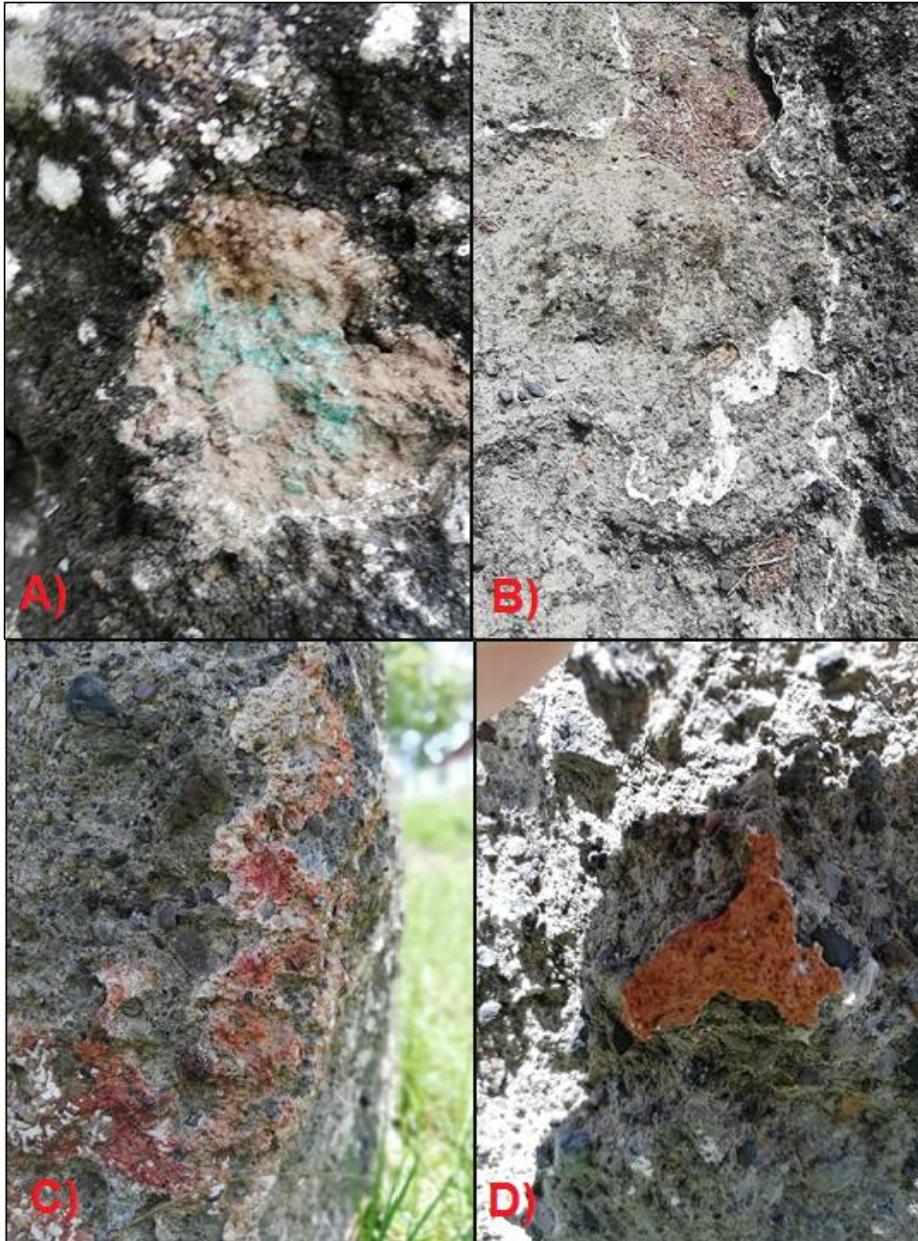


Foto N° 3 Alteraciones en los aglomerados del grupo las Sierras, al Noreste del sauna. Foto A) Malaquita y lixiviaciones de CaCO_3 , Cu y Fe, Foto B) Óxidos de hierro y Lixiviación de CaCO_3 , Foto C) y D) Óxidos Ferrosos.

Estos aglomerados tienen clastos de diversa composición y altamente alterados, la mayoría de estos son de composiciones básicas, como andesitas, basaltos, dioritas, pómez, escoria (estas escorias son los clastos de mayor tamaño encontrados, aproximadamente 15cm como se muestra en la foto N° 4).



Foto N° 4 Clastos de mayor tamaño en los aglomerados del grupo las Sierras. Localizados al N de los termales de Tipitapa en el margen Sureste del río.

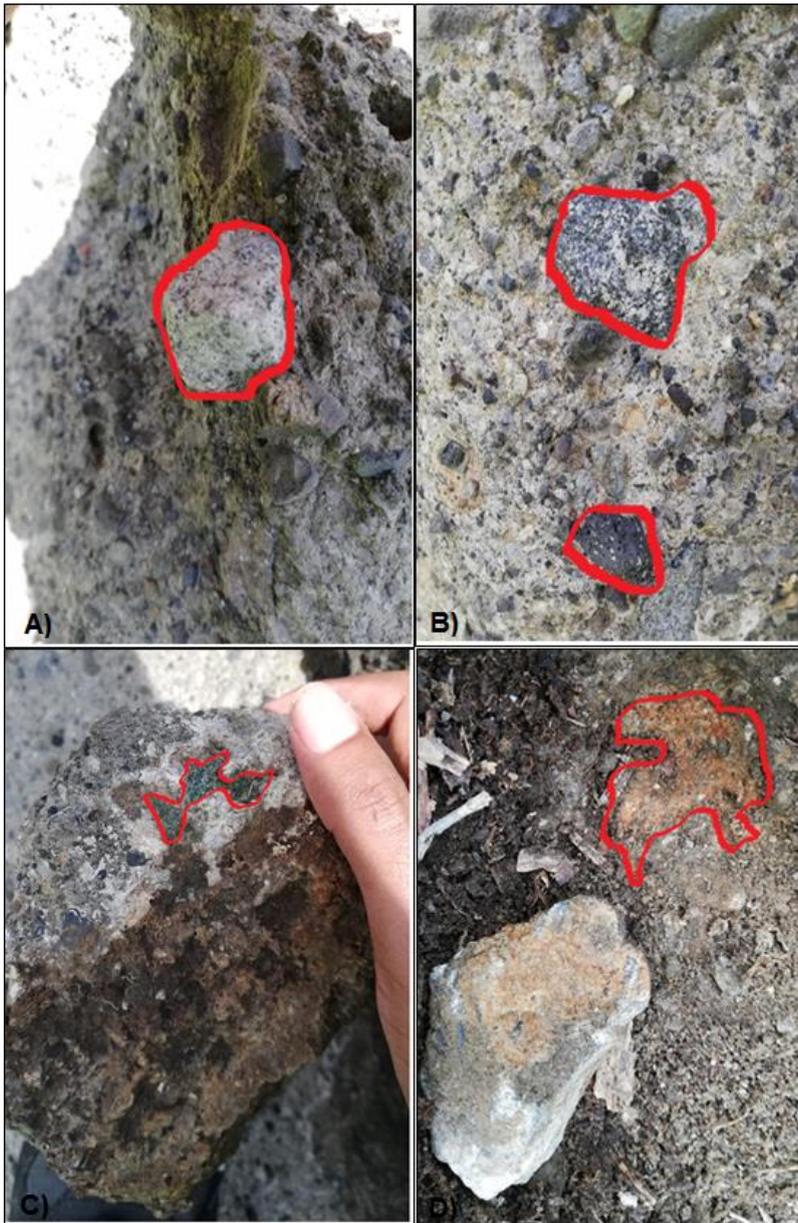


Foto N° 5, en la foto A) y B) se muestran clastos de composición basalto-andesíticos mientras que en las fotos C) y D) se muestran las alteraciones comúnmente vistas en los depósitos.

4.1.1.1.2 Depósito de toba afanítica (TQpsi)

Se trata de una Toba afanítica de color gris oscuro y composición Basalto-andesítica, poco cementada y altamente meteorizada, en algunas zonas con costras silíceas-calcedónicas, formadas por la liberación de sílice de la ceniza y por evaporización del agua subterránea que aflora; sus coordenadas son: Norte 0600126 – Este 135507.

Tiene un espesor de 1.24m, contiene líticos finos de escoria negra que corresponde a las facies de Tipitapa. Los depósitos revelan pseudoestratificación originada por procesos secundarios (oscilación del agua subterránea, origen de horizontes alterados) indicativo que fue depositada en un ambiente lacustre. Una alteración de alto grado se observa en algunas partes, lo que resulta en la formación de arcilla hasta caolina (**ver foto N°6**).

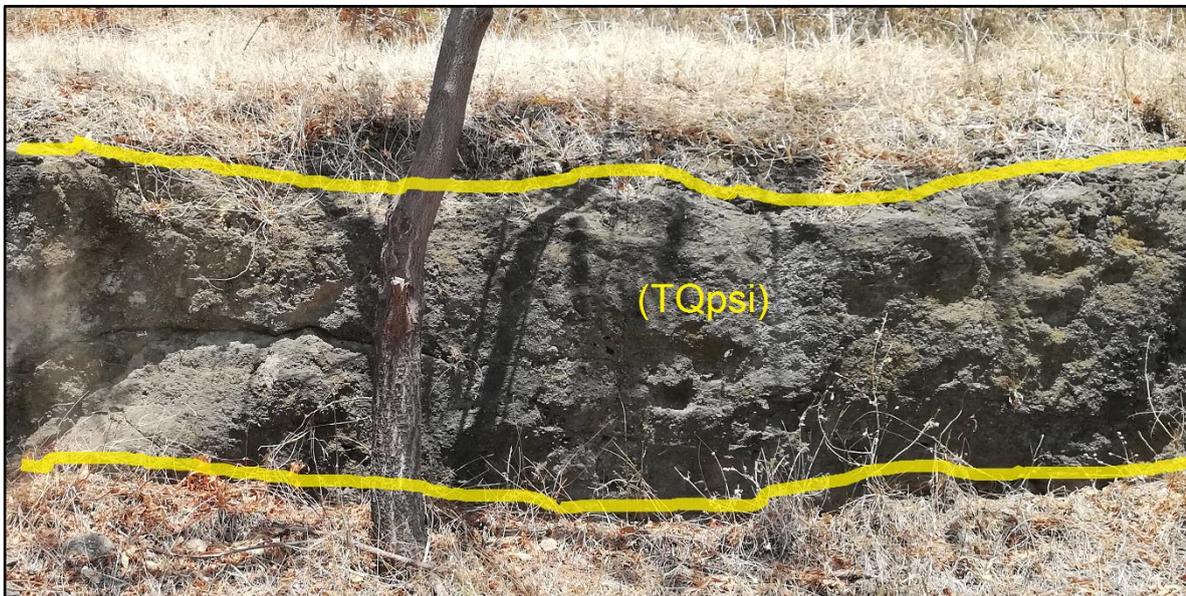


Foto N° 6 Depósito de toba afanítica meteorizada, localizada en la finca de los Vilches.

4.1.1.1.3 Flujo volcánico (TQlsi)

Forma parte del grupo las Sierras, flujo de coloración gris oscuro a gris claro, de textura fina, masivo, lapilli acrecional y clastos de pómez y escoria de sub angulosos a sub redondeado. Tiene un espesor de 1.80m, presenta una serie de fracturas con dirección Noroeste. Este depósito se ubica en la finca de la familia Vilches con coordenadas Norte 0598432 – Este 1350747



Foto N° 7 Depósito de lodo volcánico (TQfsi)

4.1.1.1.2 Depósitos cuaternarios

4.1.1.2.3.2 Suelo Reciente (Hs)

Arcilla limosa café oscura, con variedades de sitio a sitio. Un suelo reciente de color café claro, arenoso gravoso, que contiene abundante materia orgánica debido a su contacto con la vegetación, su espesor varia, esto debido a que es el horizonte que se encuentra expuesto a la atmósfera y a sus agentes exógenos, pero en su mayoría es de 0.60 m de espesor, este depósito contiene humedad.

4.1.1.2.3.3 Suelo Fósil (Hsf2)

Suelo color gris claro a marrón, limo- arenoso, semi compacto, presenta lentes de toba, con grietas rellenas de caliche (ver foto 7 y 8)

4.1.1.2.3.4 Suelo Fósil (Hsf1)

Es un depósito de suelo fósil arenoso-gravoso muy meteorizado, contiene fracturas rellenas por CaCO_3 , la capa es de color café claro y presenta fragmentos de pómez muy intemperizado. En su parte superior presenta clastos de un tamaño variable entre 10 a 20 mm (ver foto 8, 9 y 10). Estos depósitos se localizan en la comunidad Yuri Ordoñez, son zanjas hechas por Enacal para tuberías de aguas negras, con coordenadas Norte 0598327 – Este 1347341.

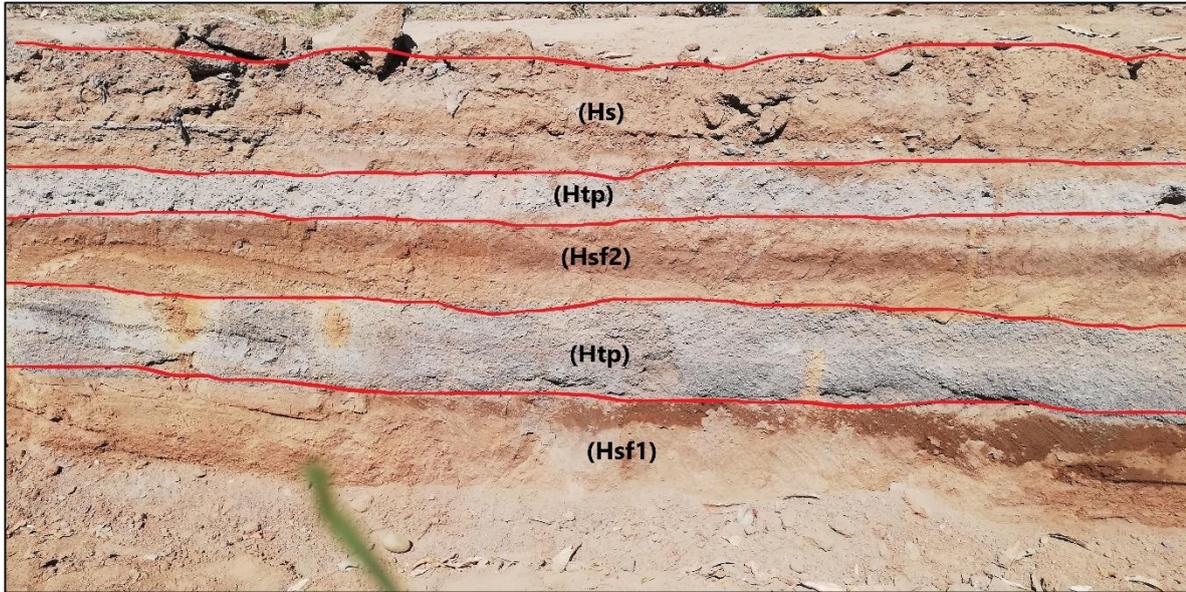


Foto N° 8 Depósitos de ceniza en contacto con suelos fósil y suelo reciente

4.1.1.2.3.5 Flujo de ceniza (Pcf)

De color gris oscuro, de granulometría media a fina, con fragmentos de escoria y grietas rellenas de caliche, la cual consiste principalmente en una toba de lapilli homogénea; pero presenta un cambio litológico gradual, que varía en forma descendente desde una ceniza muy fina, a una más gruesa. Este se localiza en la comunidad de San Jorge, es una zanja hecha por la alcaldía municipal para que funcionen como causes, con coordenadas Norte 0597488 – Este 1346261.

4.1.1.2.3.6 Toba meteorizada (Htp)

Material marrón claro altamente meteorizado, no compactado con grietas y fracturas rellenas de caliche de textura fina homogénea, masivo, lapilli acrecional con lentes de color amarillento limo-arcilloso con fragmentos de pómez y escoria, localizado en la comunidad de San Jorge Tipitapa.

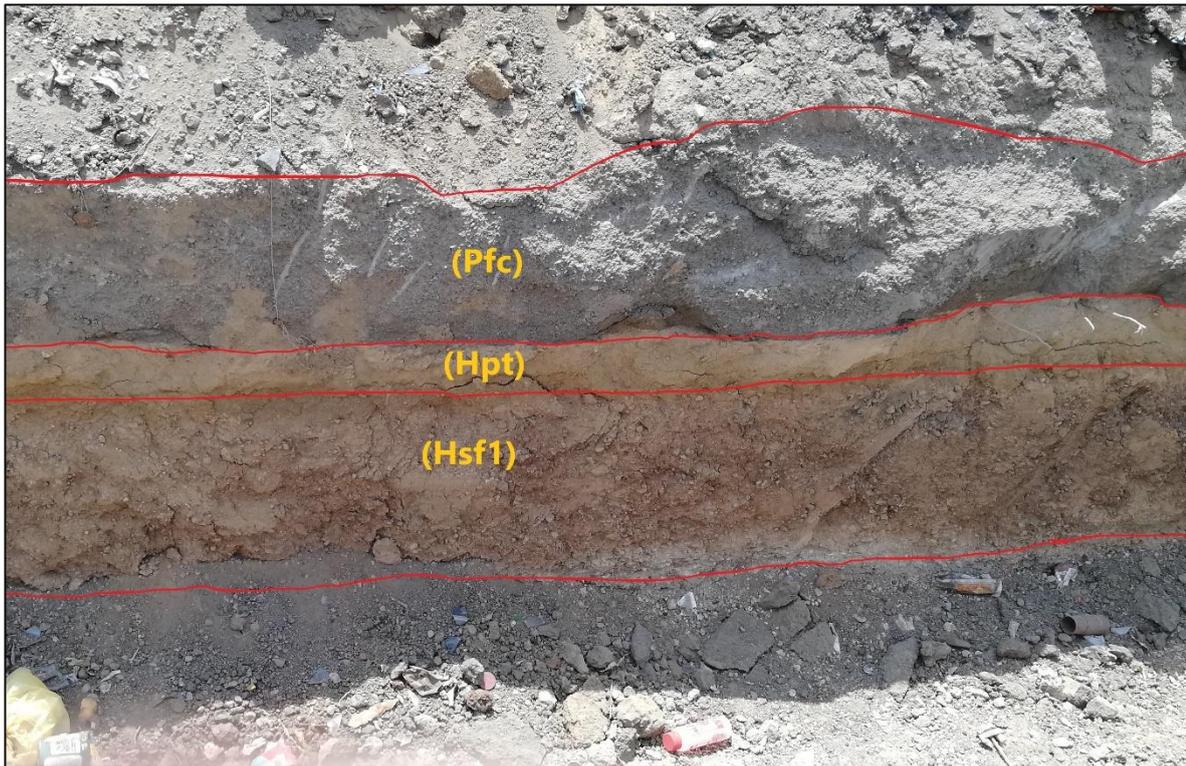


Foto N° 9 Flujo de ceniza en contacto con una toba meteorizada que sobreyace el suelo fósil.



Foto N° 10 Suelo fósil 1 (Hsf1)

4.1.1.2 Análisis estructural

El área de estudio está compuesta por una serie de lineamientos controlados por facturas y pequeñas fallas. Estas fallas y lineamientos se evidencian por la configuración del drenaje, existencias de fuentes termales, alineamientos topográficos, escarpes y zonas de anomalías térmicas (**Ver Anexo N° 2 y 3**).

En la zona de los baños termales de Tipitapa, ambas márgenes del río están compuestas por un aglomerado masivo compacto, al que no se le observan planos de estratificación. La roca presenta fragmentos de escoria vesicular y de lavas basálticas o basáltico-andesíticas, de color negro a gris oscuro. Los fragmentos generalmente son pequeños pero los hay hasta de 30 cm de diámetro y son angulosos y subarrendados; sus coordenadas son: Norte 0598785 – Este 1349152. Corresponde a las facies Tipitapa que junto con la ignimbrita las Sierras constituyen el basamento regional de los depósitos volcánicos del Pleistoceno y recientes que se observan ampliamente dispersos en el área. .

La roca se encuentra con fracturas menores prácticamente en todas direcciones, sin que se pueda identificar una que pueda continuarse por más de varias decenas de metros en el área. Tratando de relacionar la actividad termal con una fractura o zona de debilidad en la roca, sólo fue posible inferir ésta con el alineamiento de dos sitios termales donde se registraron emanaciones de agua caliente. Uno de ellos es el manantial más importante del balneario Los Baños Termales, con temperaturas de 60°-74°C, en la margen derecha del Río Tipitapa; otro de 30°C, aproximadamente, en la misma margen derecha del río pero en el lado Noroeste de un puente de hierro.



Foto N° 11 Ignimbritas aglomeráticas fracturadas (TQpsi) del grupo las Sierras.

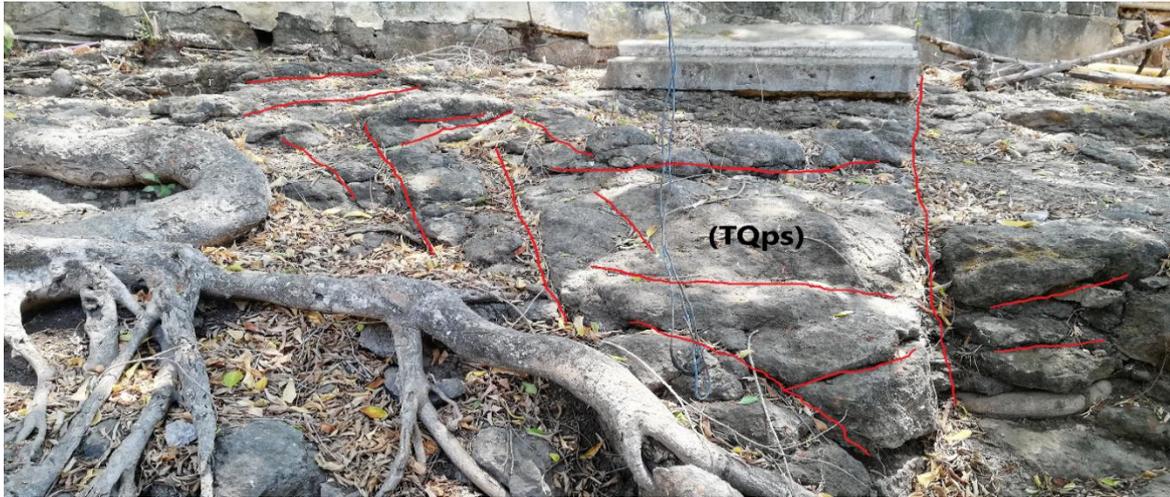


Foto N° 12 Depósito ignimbrítico aglomerático (TQpsi) altamente fracturado.

Desde el punto de vista estructural, el área de estudio de Tipitapa está situada en el borde oriental del graben del aeropuerto. La principal estructura tectónica conocida que afecta esta área, es el sistema de fallas de Cofradía, que pasa a 2 Km. al Suroeste del centro actual de Tipitapa antes de dirigirse al lago de Managua (**Ver Anexo N°3**).

4.1.1.2.1 El sistema de fallas Cofradía

Se trata de un sistema de fallas normales N-S escalonadas (**ver anexo N°3**), el conjunto de las cuales delimita por el Este del graben del aeropuerto según una dirección NNE-SSO, Desde las vecindades del complejo del volcán Masaya en el Sur, sigue a través del pueblo de Cofradía hasta la costa oriental del Lago de Managua, cuya costa, anómalamente recta, está controlada por la presencia de esta falla. Esta falla se extiende más al Norte, donde se observa que la falla se disgrega en varios segmentos que son visibles al Suroeste y Oeste del pueblo San Benito. La misma falla conforma el límite de una zona baja, la que se interpreta como la continuación del graben del aeropuerto al Norte del lago.

El sistema de fallas Cofradía constituye el borde oriental de un graben de casi 40 km de longitud y menos de 10 km de ancho. Orientado Norte-Sur, este graben (gaben del Aeropuerto-zona baja Playón) se extiende desde el complejo volcánico Masaya en el Sur hasta más allá del pueblo de San Benito en el Norte, estando parte de la estructura sumergida bajo las aguas del lago Xolotlán y controlando el sistema Cofradía la costa oriental del lago.

4.1.1.2.1.1 Sismicidad instrumental asociada al sistema de fallas Cofradía.

Entre 1975 y 2002 se han registrado sismos de pequeña magnitud en la zona del sistema de fallas Cofradía. La distribución geográfica de los sismos en la zona de estudio, se caracteriza por una concentración de los mismos en el sector Sur del sistema de falla Cofradía, más específicamente, al sur del poblado de Cofradía. Los epicentros presentan una distribución dispersa y sin ninguna orientación, salvo algunos sismos localizados en el bloque levantado, al Este de Cofradía donde es posible ver una alineación de los mismos con una dirección Suroeste-Noreste. Esta alineación podría estar asociada a la presencia de una falla no cartografiada.

Un poco más al norte del poblado de Cofradía la presencia de epicentros va disminuyendo a ambos lados del sistema. Se observan un par de epicentros al Noroeste y uno más localizado al Oeste del caserío de San Rafael.

Entre los pueblos de Tipitapa y San Benito se observan únicamente dos epicentros (**Ver anexo N°3**), el primero localizado tres kilómetros al Norte de Tipitapa al costado Oeste de la carretera panamericana. El segundo se localiza en las aguas del lago de Managua, al Suroeste del Pueblo de San Benito. La ubicación de este sismo no indica que la traza de falla se localiza también por debajo de las aguas del lago. La poca presencia de epicentros entre los pueblos de Cofradía y San Benito nos hace pensar que la sismicidad en esta zona es prácticamente nula en la actualidad, lo cual no implica que no se trate de una falla activa. La abundante concentración de sismos en el segmento Sur, puede estar asociada, en parte, a la cercanía con el complejo volcán Masaya, así que algunos de los epicentros sobre todo los localizados más la Sur tengan un origen volcánico, pero la mayoría tienen como fuente de origen seguramente la falla.

Los sismos registrados entre 1975 y 2002 e éste área se han listado en la tabla de la fig. 3.15. El máximo valor de magnitud registrada para esta zona es de 3.8 y los valores para el resto de sismos oscilan entre 1.5 y 2.9. Se trata de sismos someros, el máximo valor en cuanto la profundidad de estos sismos es de 29.4 km. La magnitud de estos epicentros es baja en términos generales y oscila entre 1.7 y 3.8. Dada su baja magnitud, y a pesar de ser de que la mayoría se ubican a poca profundidad, esto sismos no se pueden considerar peligrosos para la zona en la que se localizan sobre todo los que se ubican en el segmento sur de la falla.

El sistema de fallas Cofradía limita el graben de Managua y el graben del Aeropuerto-Playón por el costado este de ambas depresiones. El sistema consiste de una serie de fallas normales escalonadas con una inclinación al Oeste. El sistema presenta una orientación casi Norte-Sur y, desde la vecindad del volcán Masaya hasta la zona del Cocal en la costa del lago Managua, pasando a través del pueblo de Cofradía, su traza se manifiesta en forma de un sistema de escarpes escalonados de una altura del orden de la decena de metros.

La costa oriental del lago de Managua, anómalamente recta, se supone que está controlada por la proyección de este sistema, que se extiende al Norte hasta cerca del pueblo Las Maderas. En tierra paralelamente a la costa del lago se encuentran numerosas fallas que geomorfológicamente bien definidas mayoritariamente por pequeños escarpes. Por ejemplo, al SE del pueblo de Tipitapa, Dames and Moore-Lamsa (1978), identificaron siete lineamientos que fueron interpretadas como fallas con saltos métricos de horizontes holocenos mediante el análisis de trincheras. Al Suroeste y Oeste del pueblo San Benito estas fallas cubren una notable extensión.

Se realizaron 3 perfiles topográficos a partir de mapas topográficos a escala, 1: 50 000. Estos perfiles se sitúan entre los pueblos de Tipitapa y El Empalme de San Benito, al Este de la costa del lago de Managua. Muestran la morfología condicionada por la parte emergida del sistema Cofradía.

Perfil N° 1

Trazado a la altura del pueblo de Tipitapa, se extiende desde la costa oriental del lago Managua hacia el Este con 5 km de longitud. Este perfil presenta una zona central horizontal a 60 m de altura. Hacia el Oeste desciende hasta la costa del lago Managua a 40 m de altura y hacia el Este desciende más suavemente hacia el lago Nicaragua. En la zona descendente hacia el lago Managua el perfil corta varias fallas, cuyos escarpes son demasiado pequeños para ser reflejados a la escala de estos perfiles, que, no obstante, influyen en la formación la pendiente. La rama principal de la falla de Cofradía estaría justo al Oeste del perfil.

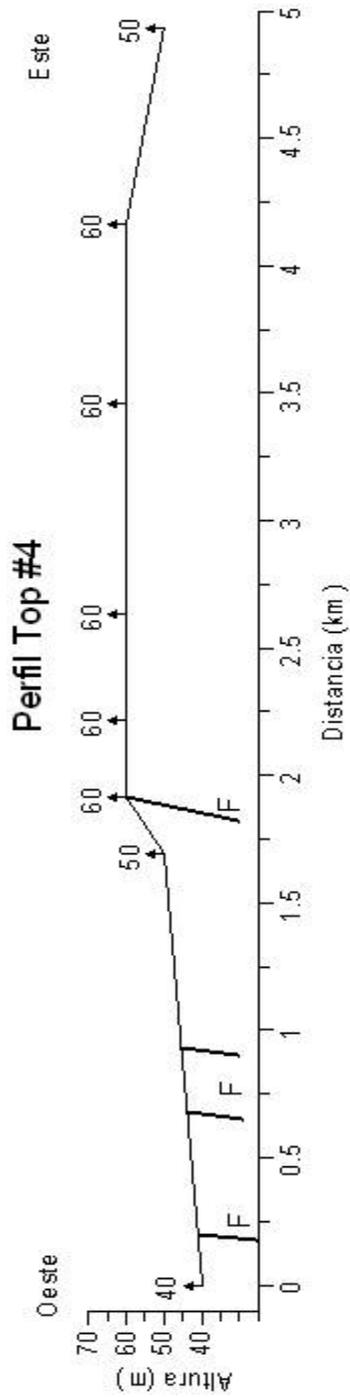


Fig. N° 7 Perfil topográfico trazado en la zona el Cocal, Suroeste del pueblo de Tipitapa.

Perfiles del 2 y 3

Están trazados entre los pueblos de Tipitapa y San Benito y tienen longitudes que varían entre 5 y 9 km. Hacia el Oeste terminan en la costa oriental del lago de Managua.

Estos perfiles muestran básicamente una pendiente inclinada hacia el Oeste. Las pendientes son suaves en los sectores este de los perfiles, pasando éstos a ser casi horizontales en la parte central, e incrementar gradualmente las pendientes hacia el Oeste. Algunas de las fallas presentan escarpes que quedan reflejados a esta escala (perfil 5). La cercanía con la costa oriental del Lago de Managua, donde los valores de altura pasan de 60 a 40 m con una diferencia de desnivel de 20 m en poca distancia y los escarpes de falla son los factores que determinan el incremento de las pendientes.

El perfil 2, presenta una longitud de 6.5 km, con una cota de altura máxima de 70 m en su extremo oriental, desde esta punto el perfil presenta una pendiente suave, la que llega a la horizontal con valores de cota de 60 m. Entre los valores 50 y 60 se observa un escarpe producto de la presencia de la traza de falla y que es cortada por el perfil, al Oeste del escarpe el perfil presenta pronunciada pero corta, la que luego pasa hacer más suave y que va de 50 a 40 m en valores de altura.

Perfil # 3, con una longitud de 7 km, presenta una oriental horizontal con valores de cotas de 80 m de. Hacia el Oeste el perfil presenta una pendiente con valores de coto que van desde los 80 m y pasan a valores de 40 m de altura una vez que el perfil se acerca a la costa oriental del Lago de Managua, formado con esto una pendiente suave, la que presenta una inclinación visible entre los valores 60 y 70 de cota, la que luego cambia su inclinación hasta el valor de cota 40 m.

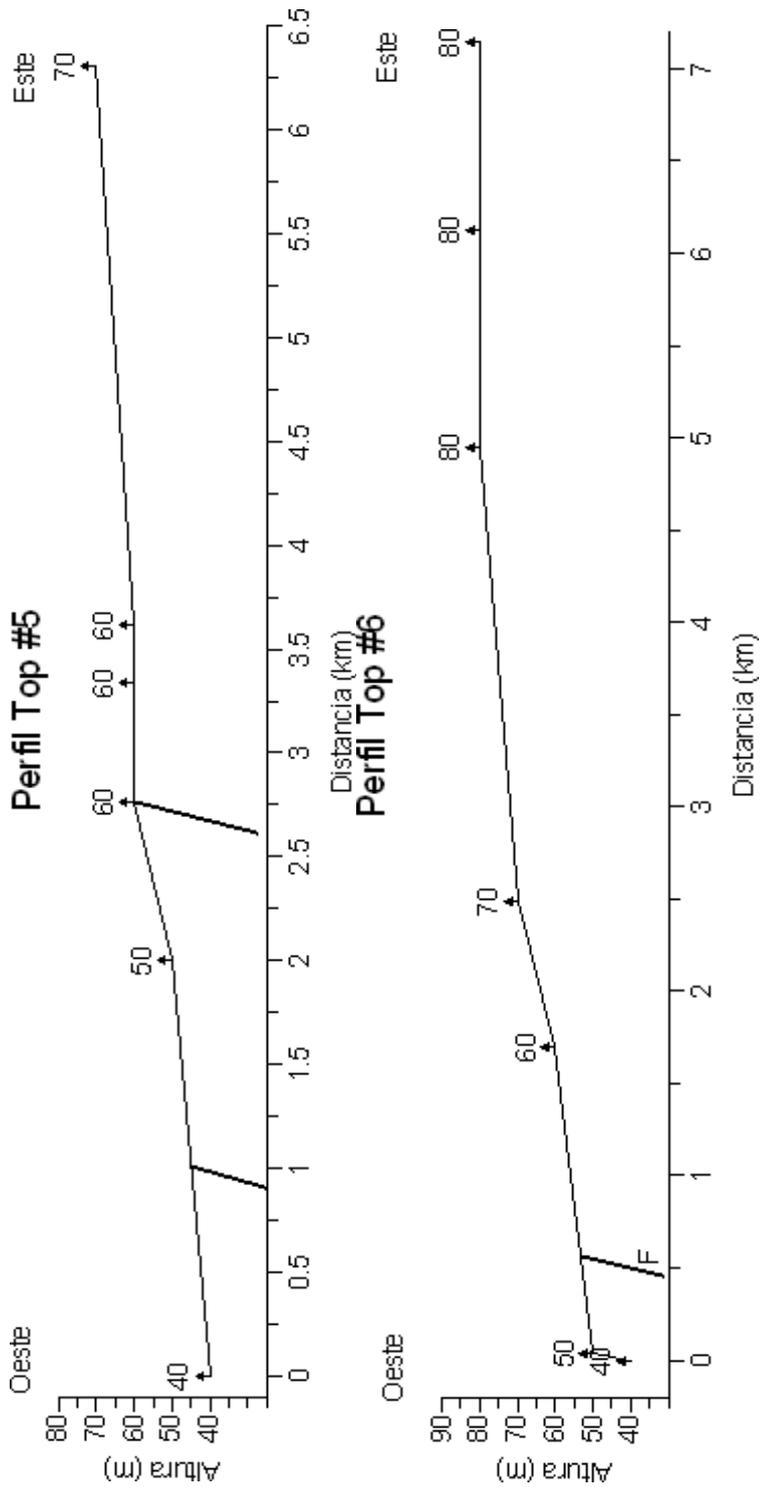


Fig. N° 8 Perfiles topográficos 5 y 6 localizados entre los pueblos de Tipitapa y San Benito.

4.1.1.2.1.2 Descripción del sistema de falla Cofradía.

Mediante el trabajo con fotos aéreas fue posible determinar diferentes rasgos geomorfológicos en la zona de estudio: abanicos aluviales, escarpes de fallas, facetas triangulares, ríos encajados, lineamientos, etc. **(Ver anexo N°3)** que indican el grado de actividad de la falla.

En el Sur del sistema destacan las fallas que limitan el graben del aeropuerto. En su extremo meridional se detectó un sistema de menor longitud situado en la zona de Piedra Menuda en donde se observó un escarpe con una longitud de un 1 km, sitio éste, donde se excavaron dos de las trincheras estudiadas

Al Norte del pueblo de Tipitapa, se observan lineamientos y sistemas escarpados que forman pequeñas depresiones, cuyas paredes escarpadas se inclinan al Este y al Oeste como lo hace el escarpe de la falla principal. Al Oeste del Pueblo de San Benito se observa una serie de escarpes donde algunas de sus caras se orientan al Este, contrariamente al comportamiento de la falla principal. Estos sistemas de corta longitud en ocasiones forman pequeñas cuencas que se siguen observando al Noroeste del pueblo. También se han observado pequeños abanicos aluviales en la zona Vaquería, ubicados en la costa del lago.

Sector Cofradía – El Cocal

En el pueblo de Cofradía se produce un relevo con desplazamiento hacia el Este de la ubicación de la falla y en esta zona se observan hasta tres ramales de la falla (fig.4.16). La falla conserva una orientación Norte-Sur, y su escarpe (fig.4.17A) tiene una altura considerable (12 m). El escarpe muestra buenos afloramientos de tobas con bloques métricos pertenecientes al grupo Las Sierras. Este escarpe y, por lo tanto, las trazas principales de la falla se siguen hasta la zona El Cocal cerca de la costa este del lago de Managua. El escarpe de la falla enlaza en este sitio con un escarpe sinuoso de un poco más de 2 m de altura de tipo erosivo paralelo a la costa del lago. Dada la relación entre ambos escarpes se supuso que la falla debía situarse muy cerca de este escarpe erosivo.

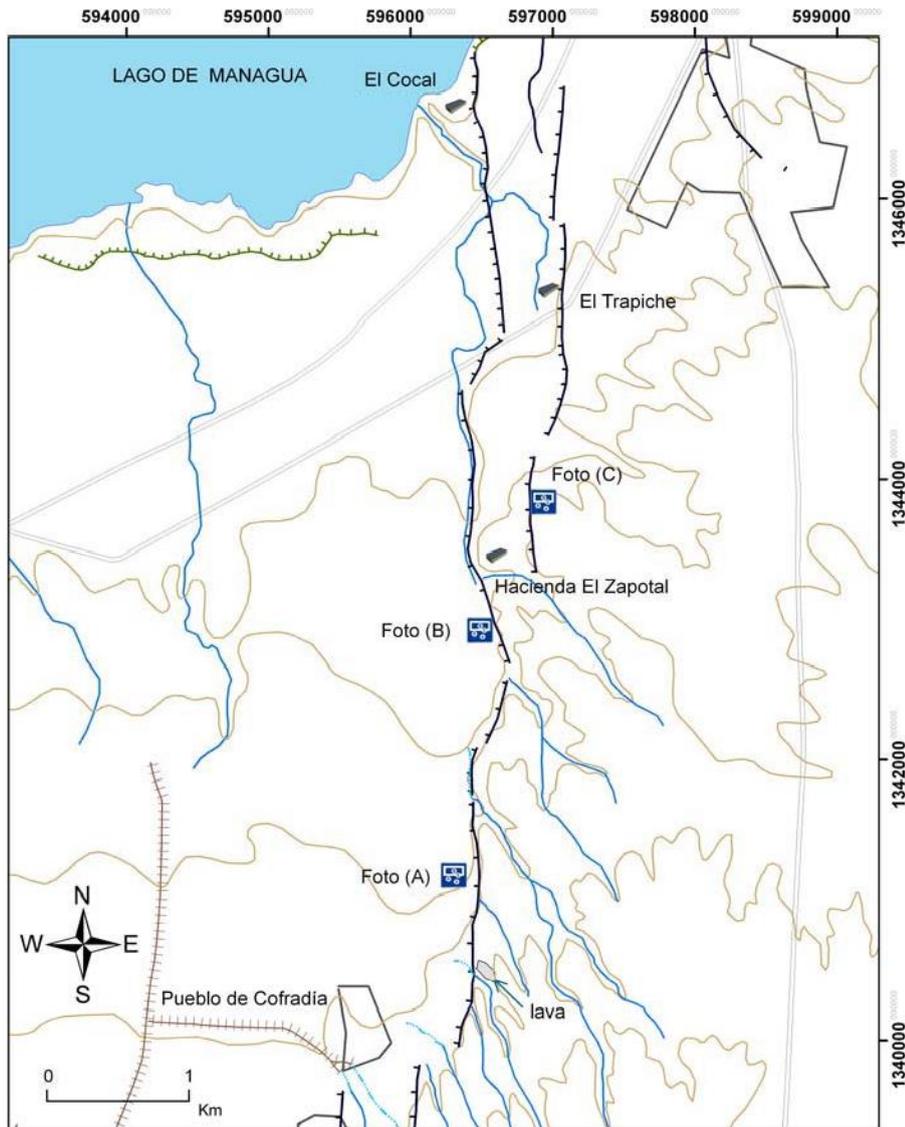


Fig. N° 9 Esquema geomorfológico del sector Cofradía- El Cocal.

En la zona de la Hacienda El Zapotal, se localizó un escarpe de falla, con una longitud de más o menos 500 m, A través del mismo se observa un leve desplazamiento de dos pequeños arroyos y un pequeño abanico aluvial (**ver Fig. N°9**) que presenta buenas condiciones para abrir una trinchera en este sitio. Esto no fue posible, ya que fue imposible conseguir el permiso de los propietarios del sitio. Hacia el Norte esta traza de falla se continúa en dos segmentos hasta Tipitapa y constituye el ramal Enaluf de Dames y Moore-Lamsa (1978).

En la zona de la Hacienda El Zapotal, se localizó un escarpe de falla, con una longitud de más o menos 500 m, A través del mismo se observa un leve desplazamiento de dos pequeños arroyos y un pequeño abanico aluvial (**ver Fig. N° 9**) que presenta buenas condiciones para abrir una trinchera en este sitio. Esto no fue posible, ya que fue imposible conseguir el permiso de los propietarios del sitio. Hacia el Norte esta traza de falla se continúa en dos segmentos hasta Tipitapa y constituye el ramal Enaluf de Dames y Moore-Lamsa (1978).

Estos autores, mediante el levantamiento de trincheras excavadas sobre la traza de este sistema, determinaron un desplazamiento de 1.2 m de una capa de ceniza compacta holocena-pleistocena (**ver foto N°13**). Este sistema se localiza en la actualidad en la zona donde está construido el Centro Turístico El Trapiche.

Entre la falla principal y este último ramal, en el Norte de este sector, y adentrándose del el sector El Cocal- Punta de Plancha, se observa un lineamiento fácilmente detectable en foto aérea de esta (**ver Figs. 9 y 10**), aunque en el terreno es difícil de identificar ya que la zona está casi o completamente poblada.

Dos trazas de fallas paralelas, al igual a las que se observan al Sur del Pueblo de Cofradía, es una característica distintiva de este sistema. Los arroyos que se observan al Noreste del pueblo de Cofradía siguen presentando una orientación oblicua respecto a la posición de la traza de falla. Estos arroyos no logran atravesar la traza de falla y mueren o desaparecen al llegar a la misma; disminuye su oblicuidad respecto la falla hacia el Norte. Los ríos que se observan al Oeste de la falla, en el interior del graben del Aeropuerto, discurren en dirección al Norte, paralelamente a la falla de Cofradía.

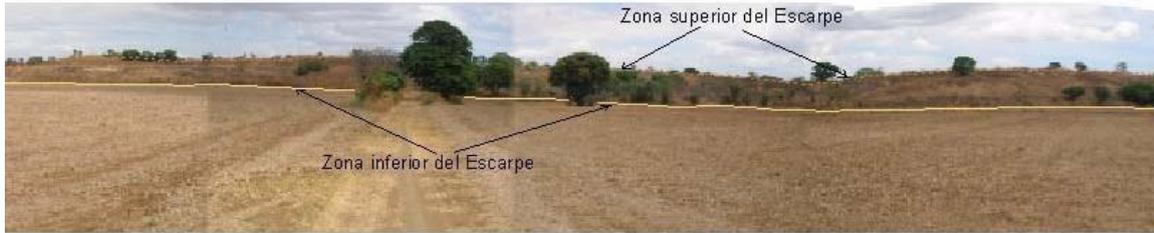


Foto N° 13 A) Escarpe de la falla de Cofradía al Norte del pueblo de este nombre, siendo unos de los sitios donde se observa la mayor altura de este escarpe

Sector El Cocal – Punta de Plancha

En este sector (**ver Fig. N°10**) la traza de la falla aparece menos bien definida. Se observan lineamientos definidos por pequeños escarpes, como el que pasa al costado este de la carretera Panamericana a la altura de Tipitapa. Este segmento es visible hacia la zona sur del pueblo sobre la carretera Tipitapa-Masaya, donde se observa un desnivel topográfico, menos pronunciado al adentrarse en las calles del barrio. El escarpe está inclinado al Suroeste.

Este tramo, de un poco más de 700 m de longitud, tiene una orientación Noroeste-Sureste, sigue al Norte observándose un cambio de orientación, pasando a tener a una dirección Norte-Sur, en el interior de la ciudad de Tipitapa. Atraviesa la zona central de Tipitapa, continua hacia el Norte, atraviesa la carretera Panamericana de manera oblicua y, una vez pasada la carretera, se observa el cambio de orientación de la traza de falla, que se divide en pequeños segmentos, hasta aproximarse a la costa de Lago de Managua.

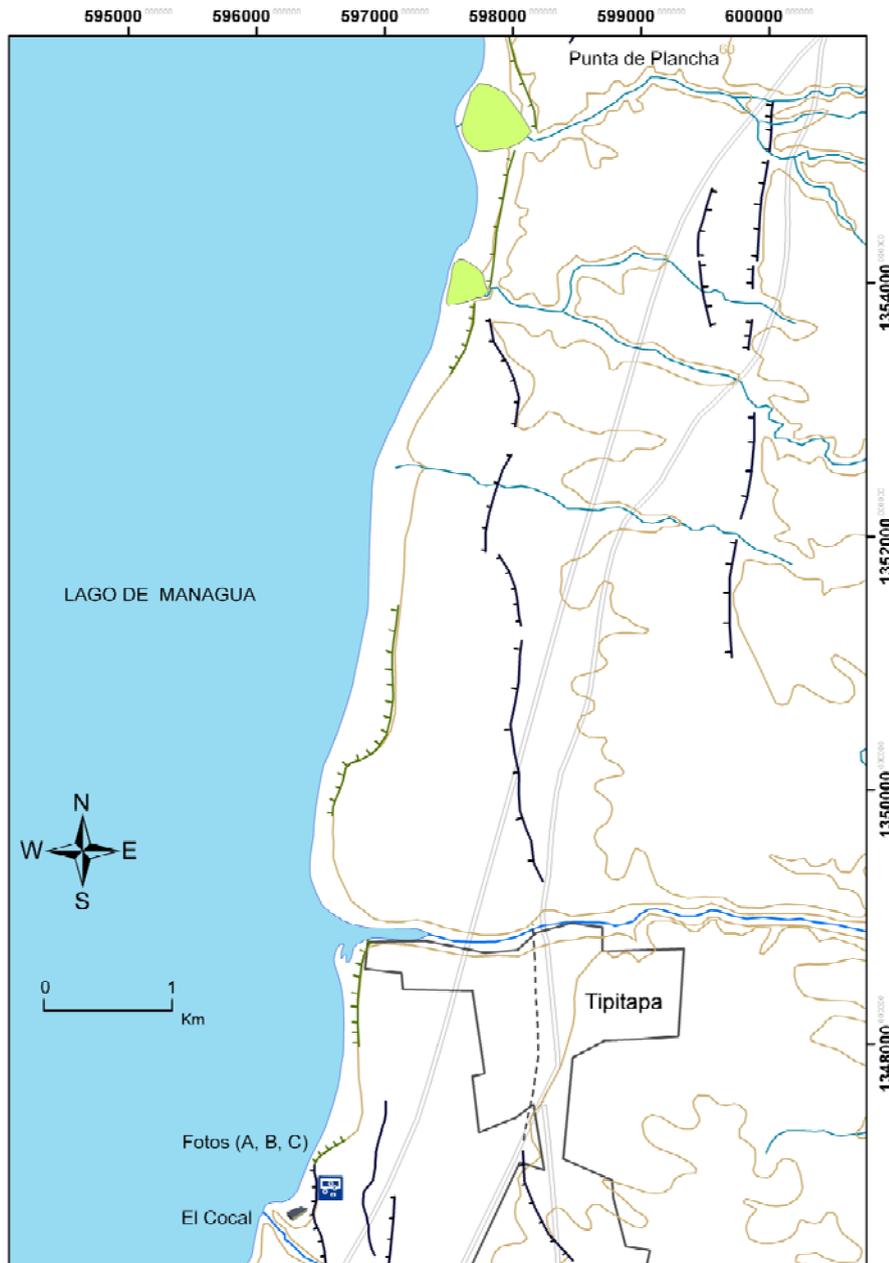


Fig. N° 10 Esquema geomorfológico del sector El Cocal – Punta de Plancha.

Al costado este de la antigua carretera se observan dos pequeños lineamientos de orientación Norte-Sur formados por un pequeño escarpe inclinado al Oeste. Estos escarpes se siguen entre la antigua y nueva carretera, donde frente al escarpe descrito, al Oeste, se observa un pequeño escarpe inclinado al Este. Entre ambos se forma una pequeña depresión...

Paralelamente a la costa del lago de Managua, se observa un escarpe que sea interpretado como un escarpe de tipo erosivo, por medio de fotointerpretación, dada la cercanía y paralelismo del mismo a la costa, así como su sinuosidad. Este se observa de manera discontinua a lo largo de toda la costa en este sector. Justo en la línea de costa del lago, al pie de este escarpe, se observan dos abanicos aluviales, localizados en la desembocadura de dos pequeños arroyos orientados Este-Oeste y que vierten sus aguas en el lago de Managua.

En El Cocal este escarpe (**ver Foto N°14**) enlaza con el escarpe del ramal principal de la falla de Cofradía que se sigue desde el pueblo de este nombre. Esta relación sugiere que el ramal principal de la falla se adentra en las aguas del lago en la zona de El Cocal, paralelamente a la costa este del lago. Al pie del extremo meridional del escarpe erosivo, en los depósitos lacustres se abrió una trinchera con el fin de localizar el ramal principal de la falla y observar los efectos de su actividad en los depósitos más recientes.

Los desniveles topográficos que producen los distintos segmentos de la traza de la falla en esta zona no son comparables con los que produce en otras áreas, como los descritos entre El Cocal y el pueblo de Cofradía.



Foto N° 14 Escarpe erosivo paralelo a la costa en El Cocal. Se indica la base del escarpe erosivo y la hipotética ubicación de la de la traza del ramal principal de la falla de Cofradía, donde se abrió una trinchera.

Se encontraron pequeños escarpes de una altura no mayor a 1m en el tramo entre la carretera vieja panamericana y la nueva, se infería inicialmente que estos levantamientos podrían ser originadas por los dueños de las fincas como surcos de plantillos, pero analizando estos sitios con imágenes satelitales proporcionadas por google earth del año 2000 y las fotografías áreas proporcionadas por INETER, se pudo observar que estos escarpes ya existían y se encontraban más pronunciados que hoy en día (**ver foto N°15, tabla N°6 y 7**). Esto debido a las fuerzas endógenas.



Foto N° 15 Escarpe de falla.

	Coordenadas		m.s.n.m	Error (m)
	Norte	Sur		
1	599844	1354359	62	3
2	599845	1354351	61	3
3	599859	1354311	61	3
4	599864	1354286	62	3
5	599874	1354247	62	3
6	599867	1354201	62	3
7	599863	1354172	62	3
8	599897	1354096	62	3
9	599903	1354066	62	3

Tabla 6 Coordenadas tomadas cada 5m del escarpe entre la carretera vieja panamericana y la nueva.

Se encontraron otros pequeños escarpes más erosionados en la zona de estudio (**ver tabla N°7**), específicamente en la finca de la familia Vilches, según ellos en una pileta y parte del terreno localizada en su finca se produjo una grieta originada por terremoto en los años 90 (**ver anexo N° 3, sección sismos**); por este motivo y el levantamiento no mayor a un metro del terreno se procedió a tomar las coordenadas como se muestra a continuación.

	Coordenadas		m.s.n.m	Error (m)
	Norte	Sur		
1	598388	1350945	44	3
2	598384	1350913	55	3
3	598393	1350867	47	3
4	598402	1350846	48	3
5	598396	1350814	49	3
6	598378	1350782	48	3
7	598370	1350729	49	3

Tabla 7 Coordenadas tomadas cada 5m del escarpe localizado en la finca de la familia Vilches.

4.1.1.2.1.3 Lineamientos

Se identificaron en el sitio de estudio de Tipitapa o en sus cercanías varios lineamientos o series de anomalías lineales o curvilíneas observados en fotos aéreas. Todos los lineamientos están caracterizados por anomalías tonales de lineales a curvilíneas o por el alineamiento de serranías topográficas o drenajes. Se determinó que los lineamientos "falla Cofradía, rama Nadadero". "falla Cofradía, rama Enaluf" y falla Llanta Perdida, son de origen tectónico (**Ver Anexo N° 2**).

4.1.2 Análisis de los datos térmicos

En el área de Tipitapa existen diversos sitios con manifestaciones termales tanto superficiales como en pozos de agua. Las manifestaciones termales sólo se observan de forma superficial en las orillas del río Tipitapa, en ambas márgenes, en un tramo no mayor a 1.2 km al Norte de la ciudad; y las que se presentan en pozos perforados a diversas profundidades, son más frecuentes al Sur y Suroeste del Río Tipitapa que al Norte (**Ver Anexo N°1 y 2**).

Varias de las manifestaciones termales en las orillas del Río Tipitapa, actualmente no se pueden localizar o ya no existen debido al incremento de la vegetación y por la contaminación que está sufriendo el río mediante la acumulación de basura.

La actividad termal superficial identificada durante los reconocimientos de campo, corresponden únicamente con los manantiales termales en ambas márgenes del río Tipitapa. En el sitio del manantial no es posible definir una estructura que controle el flujo de salida del agua termal. Sólo se puede observar que éste se presenta en varias fracturas pequeñas en el aglomerado (**Ver Anexo N°2**).

El manantial más importante se localiza en la margen derecha del Río Tipitapa, al lado Este de un puente de hierro que atraviesa el río (**ver foto N°16**). Corresponde al manantial que surte de agua caliente al balneario Los Baños Termales. El sitio en el que aflora agua con temperatura máxima de 60°C (medida con termómetro 2020).

Contiguo al balneario los baños termales y también en la margen derecha del río Tipitapa, pero ahora por el lado Oeste del contrafuerte Suroeste del puente de hierro, se encuentran dos pequeñas obras de captación de agua caliente en el aglomerado Las Sierras. Uno de ellos presenta un pequeño flujo de agua a poco más de 37°C que se escapa por debajo de sus muros. El otro prácticamente está seco y sucio, y según la gente del lugar, tiene tiempo de no manifestar flujo de agua caliente.

De acuerdo con la información recopilada sobre el área de Tipitapa, además de los manantiales termales mencionados, en el pasado se identificaron otros que debido al aumento del nivel del río Tipitapa han quedado inundados o ya se han enfriado.

Además de las manifestaciones termales superficiales, el área presenta varios pozos calientes tanto al Sur como al Norte del río Tipitapa. En varios de ellos ha sido posible verificar la presencia de agua caliente.

Además de las manifestaciones termales superficiales, el área presenta varios pozos calientes tanto al Sur como al Norte del Río Tipitapa (**ver Anexo N°1**). En varios de ellos ha sido posible verificar la presencia de agua caliente y las características de la perforación, especialmente en lo que se refiere a la profundidad total, flujo y alcalinidad del agua. En otros los datos han sido escuetos, incluso en la temperatura del agua, la cual se supo que era caliente sin poder determinarse su temperatura (Se trata de localidades imprecisas en datos existentes, y de pozos excavados que han sido llenados y/o tapados).

La temperatura de los pozos calientes fluctúa entre 34° y 40°C, habiendo sido perforados éstos tanto en aglomerados e ignimbritas del Grupo Las Sierras, como en piroclásticos del complejo volcánico Masaya. De acuerdo a la información recopilada existen más pozos calientes en el área al Sur y Suroeste del Río Tipitapa que al N. Varios de ellos al Sur y Suroeste se encuentran incluso fuera del área geotérmica de Tipitapa, con temperaturas también de 35° a 40°C.

La mayoría de los pozos se perforaron con fines agrícolas o para alimentar de agua potable las poblaciones. Sólo se conoce un pozo termal perforado con fines de investigación y éste se localizó fuera del área de estudio, 10 km al S de Tipitapa, cerca de Sabana Grande. Se trata del Pozo JI-3 del estudio para el abastecimiento de agua de Managua, realizado por JICA en 1993. El pozo tuvo como propósito:

- investigar la ocurrencia de agua subterránea y las características hidráulicas del acuífero en rocas volcánicas de los grupos Masaya y Las Sierras ;
- confirmar la existencia de rocas basales hidrológicamente impermeables, inferidas con investigaciones geoeléctricas; e investigar las condiciones geotérmicas de la parte más profunda del área en conexión con manantiales termales de Tipitapa y sus alrededores.

La perforación se realizó en 1992 a 366 m de profundidad y la principal información que aportó fue la siguiente:

- Los principales acuíferos del área están en productos piroclásticos de caída aérea y capas de escoria con fragmentos de roca, del complejo volcánico Masaya, y en aglomerados y delgadas capas de escoria, del grupo Las Sierras.
- Debajo de estas rocas se cortaron ignimbritas dacíticas intemperizadas y dacitas afaníticas del Grupo Coyol, a profundidades comprendidas entre los 266 y 366 m. El Grupo Las Sierras se ubicó entre los 110 y 266 m de profundidad.
- Las temperaturas del subsuelo fueron de 35°C entre los 13.70 y 240 m de profundidad, de 35° a 36°C entre 240 y 250 m, 36° a 38°C entre 250 y 255 m, y de 38° a 39.5°C por debajo de los 255 m, desconociéndose con precisión como varía a mayor profundidad, sólo se conoce que terminado el pozo registró 35.3°C a 280 m. Como se puede notar por lo mencionado aquí, el mayor incremento de la temperatura fue entre los 240 m a 266 m de profundidad, esto es, cerca del contacto de las rocas del Grupo Las Sierras con las del Grupo Coyol.

Analizando la geología en el pozo y las temperaturas registradas, una primera conclusión sobre el agua caliente en el mismo, es que el pozo posiblemente cortó un flujo lateral en el contacto permeable entre los dos grupos de rocas.

En la región de Tipitapa la temperatura de las aguas varía de 26°C en el pozo más frío, a 74°C o más en Los Baños Termales de Tipitapa. Hemos considerado que temperaturas de 34°C o más en el agua, son termalmente anómalas en esta área de estudio.



Foto N° 16 Agua térmica de mayor temperatura en el balneario Termales de Tipitapa.

Años atrás antes del huracán Mitch en 1998 existían varios hervideros en las riberas del río al suroeste de donde hoy se ubican los termales de Tipitapa. Hoy en día debido a diversos factores como la deforestación, contaminación y el cambio climático no se pueden encontrar dichos hervideros; esto se debe a que algunos se enfriaron o fueron cubiertos por fangos y vegetación que hace inaccesible su apreciación. En los levantamientos de campos realizados solo se pudo encontrar uno de esos antiguos hervideros (**ver foto N°17**).



Foto N° 17 Hervidero localizado en la parte sur del río Tipitapa.

El promedio de temperatura y pH de los pozos de agua caliente, manantiales superficiales muestreados es de 38.5°C y pH de 7.8, en el caso de los pozos de agua fresca es de 30.4° y pH de 7.4. Estos pozos tienen en general una profundidad que varía en un rango de 10m a 50m; cabe destacar que están los pozos más someros están asentados en rocas volcánicas del complejo volcánico Masaya, mientras que los más profundos rompen las capas ignimbríticas del grupo las Sierras (**ver foto N°18**).



Foto N° 18 Pozo de agua térmica con T° de 37.6°C y pH de 8.6

4.1.2.1 Descripción y análisis del área hidrotermal

En Tipitapa se han localizado tres áreas de interés:

Los manantiales calientes de Tipitapa, los manantiales relacionados con estas aguas arriba del Río Tipitapa y un pozo caliente (Pozo Pollo Estrella) al norte;

Orontes Centeno, donde los pozos muestran una anomalía moderada de 39°C ;

La porción Suroeste del área en el mapa (ver anexo N°1, situada aproximadamente 1 km al Sur de la Carretera No.1), donde hay manantiales con un flujo muy alto en el que se han medido temperaturas máximas de 37°C ; y dos pozos localizados 7 km al Sur de esta área.

4.1.2.1.1 Manantiales Termales de Tipitapa

Estos se refieren a las muestras de Los Baños Termales de Tipitapa, más otras muestras de manantiales calientes aguas arriba del Río Tipitapa. “SO4 bajo” se refiere a ocho muestras de la misma fuente con niveles relativamente bajos de sulfato. Las aguas de Los Baños Termales tienen una composición Na-Cl-SO4-HCO3 (sodio-cloruro-sulfato- alcalinidad en forma de bicarbonato) relativamente diluida, con aproximadamente 285 mg/l de Cl, 190 mg/l de SO4 y 150 mg/l de alcalinidad como HCO3.

Los Baños Termales es la única parte con emisión de gases en la región de Tipitapa. Estos gases son una mezcla de aproximadamente 60% por volumen de metano (CH4), 25% por volumen de nitrógeno (N2) y 10% por volumen de bióxido de carbono (CO2). Esta composición es consistente con las temperaturas moderadas del yacimiento y la génesis del metano en rocas sedimentarias.

4.1.2.1.2 Pozo Pollo Estrella.

Esta muestra fue obtenida de un pozo perforado probablemente a una profundidad no mayor de 50 m, localizado en el extremo oriental de las instalaciones de Pollo Estrella, aproximadamente 0.6 km al N del Río Tipitapa y a lo largo de la antigua Carretera Panamericana. A temperaturas de 40°C el agua de este pozo contiene 127 mg/l de Cl.

4.1.2.1.3 Pozos de la Planicie

Hay varios pozos en los terrenos bajos que rodean a Tipitapa tanto por el Norte como por el Sur. Estos tienen una composición bicarbonatada con un amplio rango en la relación Ca/Na, pero relativamente bajo contenido de K y Mg. La relación Na/K tiende a ser constante e inferior que la del agua caliente del manantial. El contenido de Cl y SO4 son muy bajos.

Una excepción notable es el pozo de 37°C excavado en Orontes Centeno que actualmente está cerrado. Su análisis químico es el único de esta anomalía termal de bajo grado. El pozo contiene 710 mg/l de Cl en un agua de composición Ca-Mg-Cl-HCO₃-SO₄ que tiene Cl en exceso para el correspondiente Na y K, lo cual es inusual y diferente del agua termal de Tipitapa.

4.1.2.1.4 Pozos al Sur de la ciudad de Tipitapa

Este grupo incluye dos pozos (36-39°C) localizados alrededor de 7 km al Sur de los manantiales al Suroeste, y varios pozos adicionales (29°-34°C) en localidades dispersas al S del área del mapa. Estos pozos caen dentro del mismo grupo químico que el de los manantiales al Suroeste y, por lo tanto, se interpreta que tienen el mismo origen.

4.1.2.2 Origen de las aguas termales en Tipitapa

En el área de Tipitapa no hay evidencias de vulcanismo reciente en la superficie, y por lo tanto no hay indicios sobre la presencia de una fuente de calor de origen magmático en el subsuelo.

La actividad volcánica más próxima se localiza entre 12km al Suroeste de Tipitapa, en un centro de emisión de lava basáltica bastante reciente y en dos cráteres semi-cubiertos por depósitos vulcano-sedimentarios. La presencia del vulcanismo reciente se incrementa más hacia el Sur, en varios flujos de lavas basálticas cuyos centros de emisión se orientan casi N-S, siguiendo lineamientos estructurales (fallas o fracturas) paralelas al sistema de fallas en echelón Cofradía, cuya traza se encuentra a escasos 1 a 2.5 km al Este, formando el borde oriental del Graben de Managua. Aproximadamente a 15.5 km al Sur-Suroeste de Tipitapa se localiza la Caldera de Masaya, la cual representa un centro importante de actividad magmática.

Cabe mencionar que existen también afloramientos de depósitos volcánicos unos pocos km al Noreste del área de Tipitapa, los cuales se describen en el Capítulo IV. Aunque no son los productos de actividad volcánica corriente, estos depósitos son posiblemente de vulcanismo de edad Plioceno hasta Pleistoceno, por lo que pueden representar una cierta fuente de calor residual.

La evidencia geoquímica que se ha obtenido de los principales manantiales y pozos en el área de Tipitapa (dentro de las zonas de Tipitapa y Orontes Centeno) sugiere que las aguas termales no se derivan de un sistema geotérmico de alta temperatura alimentado por una fuente de calor magmática. El agua de los manantiales es un tipo diluido de sodio y aniones mezclados, y su contenido de Cl es de únicamente 285 mg/l. Es posible imaginar que esta agua es una mezcla que incluye una pequeña porcentaje de agua relativamente salina de tipo Na-Cl, parecido al agua característica de los sistemas localizados en volcanes (por ejemplo, el sistema de Momotombo).

Sin embargo, la composición del agua diluida es más típica de un yacimiento geotérmico de temperatura moderada que se ubica en rocas volcánicas más viejas y sedimentos, y en el cual el fluido se calienta por circulación profunda dentro de una región de flujo de calor elevado. El gas de los manantiales es bastante enriquecido de metano, el cual probablemente se ha originado en rocas sedimentarias. En general, el metano puede originarse también en el manto, y la composición isotópica del helio muestreado de los manantiales indica que aproximadamente el 50% del helio se deriva del manto. Esto sugiere que puede estar ocurriendo algún flujo de gas del manto profundo abajo del área de Tipitapa.

Considerando lo expuesto arriba, es probable que el recurso geotérmico ubicado en la parte central del área de Tipitapa no es relacionado directamente con una fuente de calor magmática. Los fluidos termales pueden ser calentados por circular dentro del régimen hidrológico local, hasta una profundidad en donde se encuentran temperaturas mayores que los 150 ° C, conforme al gradiente térmico regional.

Algún aumento moderado del gradiente térmico puede haber ocurrido por la influencia de los varios centros de vulcanismo que se encuentran en la región.

La anomalía térmica que se ha identificado en el sector Suroeste del área de Tipitapa puede ser el producto de un flujo lateral distal de un sistema de mayor temperatura, ubicado dentro o cerca de la zona del Volcán Masaya. Por lo tanto, la fuente de calor fundamental de esta anomalía puede ser magmática.

Como no hay un indicio conciso que estas aguas térmicas sean de origen magmático, podemos considerar en base a los resultados de este documento y comparándolos con los elaborados por el JICA y comisión nacional de energía, que estas aguas se originaron por una fuente de calor residual de las rocas volcánicas terciarias entre los grupos de las Sierras y Coyol. Debido a los sistemas de fallas locales esta fuente puede estar ascendiendo hasta la zona de contacto entre los piroclastos del complejo volcánico Masaya y el grupo las Sierras.

Según los datos obtenidos por el JICA por un pozo perforado de 366m de profundidad a 1.5 km al Este de Sabana Grande, parece ratificar esta hipótesis, ya que entre los 240 y 266 m de profundidad, cerca del contacto de rocas del Grupo Las Sierras con rocas del Grupo Coyol, se registró una temperatura de 39.5° C, que disminuye arriba y abajo de dicho contacto.

4.1.2.3 Clasificación de las aguas termales

Según los parámetros hidrotermales para sistemas someros, las fuentes térmicas localizadas en la ribera del río que alimentan el “Balneario Termales de Tipitapa” son aguas hipertermales clasificadas de esta manera por su temperatura ya que los hervideros encontrados tienen una T° entre el rango de 48°C a 74°. En contraste los pozos de agua caliente localizados al sur oeste del balneario entre un radio de 500m de la carretera Tipitapa-Masaya tienen una T° entre un rango de 35°C a 41°C **(ver Tabla N°8 y 9).**

X	Y	Z	Observaciones	T°	Ph
598264	1347213	66m	P08	37.6°	8.6
597989	1348459	48m	P10	35.7°	7.7
597965	1348339	50m	P13	35.6°	7.6
597826	1348553	56m	P18	36.2°	7.7
598132	1348622	59m	P21	36.8°	7.9
598527	1348884	44m	P22	37.3°	7.7
598670	1348695	52m	P23	41°	8.9
598552	1348475	61m	P24	35.3°	7.5
598361	1347970	52m	P26	36.2°	7.7
598340	1347352	59m	P29	39.2°	7.6
598337	1347292	56m	P32	37.1°	7.6
598334	1347246	56m	P33	36.4°	7.8
598337	1347260	58m	P34	39°	7.6
598277	1347008	64m	P36	39.8°	8.2
598215	1347009	62m	P37	38.5°	7.9
598201	1346984	64m	P38	37.3°	7.7
598174	1349132	42m	P39 Hervidero localizado en los lechos del rio Tipitapa	48.5°	8.2
598067	1347018	62m	P40	36.4°	7.9
598080	1347015	62m	P41	36.5	7.6
597996	1346963	57m	P42	36.1°	7.5
598249	1346813	63m	P43	38.3°	7.8
598218	1346899	64m	P44	35.8°	7.6
598323	1347805	50m	P45	35.2°	8.2
598389	1347773	51m	P46	37.1°	7.8
598379	1347717	49m	P47	38.9°	7.8
598785	1349152	40m	P48 Termales de Tipitapa	60°	7.8

Tabla 8 Pozos y manantiales superficiales de agua térmica muestreados, en el periodo de Abril-Mayo del 2020.

X	Y	Z	Observaciones	T°	Ph
598952	1349061	50m	P01	32.1	7.3
598930	1349085	53m	P02	30.8	7.5
598927	1349058	52m	P03	32.7	7.4
598251	1349044	44m	P04	28.5	7.4
598192	1349082	39m	Poza	34.9	7.6
598136	1348492	64m	P05	32.5	7.4
598046	1348475	53m	P07	29.2	7.2
597975	1348490	52m	P09	30.6	7.5
597994	1348489	52m	P11	30.4	7.5
597947	1348332	51m	P12	28.8	7.3
597894	1348568	52m	P14	29.1	7.4
597848	1348572	54m	P15	30.3	7.5
597873	1348542	54m	P16	31.6	7.5
597858	1348534	60m	P17	32.3	7.6
597964	1348619	58m	P19	26.9	7.3
598046	1348592	54m	P20	26.5	7.2
598521	1348416	58m	P25	28.7	7.3
598352	1347877	56m	P27	29.5	7.3
598260	1347912	57m	P28	30.1	7.4
598454	1347266	61m	P30	31.9	7.4
598709	1347135	61m	P31	32.6	7.5
598364	1347115	56m	P35	30.7	7.5
598386	1347078	59m	P35 Agua Potable	28.8	7.4

Tabla 9 Pozos de agua fresca muestreados, en el periodo de Abril-Mayo del 2020.

Estas fuentes hidrotermales según su composición se clasifican como aguas alcalinas (**ver tabla N°10**) porque estas aguas se caracterizan por su contenido Na, K, Mg, SiO₂, propio de un sistema de baja conductividad eléctrica, y CaCO₃. Los aglomerados dacíticos del grupo las sierras presentan alteración hidrotermales del tipo argilitica intermedia porque hay importantes cantidades de caolinita y montmorillonitas limo arenosas, principalmente reemplazando a plagioclasas de estas rocas; el feldespato potásico de las rocas puede estar argilizado. Hay una significativa lixiviación de Ca, Na y Mg, Cu y Fe de estas rocas Felsicas. Para condiciones de Eh de -0.3 y de pH de un rango de 7 a 8 se originan minerales de SiO₂ y CaCO₃.

Procedencia	Equivalentes Por Millón										
	Solidos disueltos	Sílice (SiO ₂)	Boro (B)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Sodio y Potasio (Na + K)	Bicarbonato (HCO ₃)	Sulfato (SO ₄)	Cloruro (Cl)	Ph	Eh
Aguas termales de Tipitapa	936	120	28	1.35	0.40	11.06	1.40	3.72	8.19	8.4	-0.3

Tabla 10 Análisis químicos de las aguas termales de Tipitapa.

Capítulo V

5.1 Conclusiones

Por medio del estudio realizado, se presentan las siguientes conclusiones:

- Al realizar el trabajo de campo, para la toma de datos geológicos y estructurales, se lograron identificar ocho unidades litológicas empezando por; suelo reciente (Hs), suelo fósil (Hsf2), depósitos de flujo de ceniza (Pfc), Toba meteorizada (Htp) suelo fósil (Hsf1), toba meteorizada (TQtsi), toba afanítica (TQtasi), flujo volcánico (TQfsi) y aglomerados ignimbríticos (TQasi); estos tres últimos forman parte de las ignimbritas aglomeráticas pertenecientes al grupo las sierras miembro inferior. En general y como se muestra en el mapa geo-estructural de la zona de estudio los depósitos mencionados se dividen en: depósitos aluvionales, depósitos del complejo volcánico Masaya y depósitos del grupo las Sierras.
- En este documento se confirma los resultados presentados en los antecedentes de esta investigación por medio de datos estructurales y de agua caliente. En el caso estructural encontrando fracturas que se extienden en todas las direcciones, siendo los depósitos aglomeráticos del grupo las Sierras miembro inferior (TQpsi) los más afectados por los sistemas de falla cofradía y lineamientos locales (falla llanta perdida). Así como la meteorización a la que han sido expuestas.
- Con los datos de fuentes térmicas y estructuras tomados en campo se evidencia que la falla llanta perdida, así como los lineamientos locales de Tipitapa son los que mueven el fluido; debido a que todos los datos y muestras de pozos y manantiales de agua caliente se obtienen en el área abarcada por los sistemas estructurales locales. Estos lineamientos poseen una dirección N-S.

- Estas aguas están originadas por una fuente de calor residual de los depósitos volcánicos terciarios entre los grupos las Sierras y Coyal.
- Con la información recopilada, analizada y posteriormente procesada se elaboraron mapas con los siguientes parámetros:
 - Litología
 - Fallas
 - Fuentes termales
 - Escarpes
- Las formaciones de los principales acuíferos del área están en productos suelo residual, piroclásticos de caída aérea y capas de escoria con fragmentos de roca, del complejo volcánico Masaya, y en aglomerados en delgadas capas de escoria, del Grupo Las Sierras, en donde se encuentran los siguientes materiales: rocas volcánicas, lavas basálticas, arena, escoria, pómez, arcillas y limo.
- La topografía se considera casi plana en toda el área, a excepciones de algunas áreas que se puede caracterizar un relieve semi inclinado.

5.2 Recomendaciones

Al materializar este estudio se logró obtener mucha información de carácter geológico, estructural y geotérmico, permitiendo ver la necesidad de desempeñar más estudios orientados a otros temas; por lo que se hacen las siguientes recomendaciones:

- Elaborar estudios geológicos a detalles, identificando la génesis del termalismo y fuerzas convectivas.
- Efectuar un monitoreo constante de los niveles de agua en los pozos excavados y perforados y manantiales superficiales, con el objetivo de actualizar el alcance del campo termal, así como su temperatura, pH y eh. Así como otros minerales en condiciones exogenicas.
- Elaborar programas de seguimientos y control que incluyan las diferentes disciplinas de la geociencias para monitorear la calidad y temperatura del agua en cada uno de los pozos existentes.
- Que la Alcaldía Municipal realice planificaciones para no contaminar los recursos hídricos, debido a que el rio y algunos pozos son utilizados como verteros de basura.
- Las autoridades del manejo del recurso subterráneo, deben llevar a cabo un estricto control de todas las posibles fuentes contaminantes, para evitar episodios de contaminación que puedan afectar la calidad de agua en el futuro.
- Establecer coordinación con autoridades gubernamentales y locales para realizar educación ambiental en escuelas y colegios, con el objetivo de crear conciencia ambiental sobre el manejo del recurso hídrico.
- Mejorar las zonas de recargas de la subcuenca a través de un ordenamiento y reforestación de las zonas afectadas, en la orilla y margen del rio.

Bibliografía

- Bice D.C. (1985). Quaternary volcanic stratigraphy of Managua, Nicaragua; correlation and source assignment for multiple overlapping plinian deposits. In D. Bice, *Geological Society of America Bulletin* (pp. 533-566).
- Castro, M. (2017). *Cartografía geológica de la hoja topográfica cerro verde*. Managua: UNAN-Managua.
- Comision Nacional de Energia. (2001). Cordillera volcánica cuaternaria. In *Evaluación del área de Masaya-Granada-Nandaime* (pp. 47-49). INE.
- Comision Nacional de Energia. (2001). *Plan maestro geotermico de Nicaragua volumen IX, evaluacion del area de Tipitapa*. Managua: Comision Nacional de Energia.
- Daniel y Mario. (2017). *Caracterización hidrogeológica de la parte noroeste deacuífero Las Sierras*. Managua: UNAN-Managua.
- Frischbutter, A. (2002). *Structures of the Managua Graben, Nicaragua, from remote sensing images*. . Managua: INETER.
- Geoxnet. (2011, 05 20). *Geoxnet*. Retrieved from Geoxnet Geologia Estructural: https://post.geoxnet.com/geologia-estructural/#definicion_de_geologia_estructural
- Hodgson, G. (2000). *Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua*. Managua: Servicio Geologico Nacional.
- Hradecky. (1998). *Microzonificacion de Managua*. Managua: INETER.
- INETER. (2004). *Evaluación de las amenazas geológicas e hidrometeorológicas para sitios de urbanización, Informe N° 6 El bolero, casco urbano de Tipitapa, municipio de Tipitapa departamento de Managua*. Managua.

- María garcía, A. H. (2016). Respiraderos hidrotermales y química prebiótica: una revisión. In A. H. María garcía, *Boletín de la sociedad geológica Mexicana* (pp. 599-620). Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Martínez, M. (2012). *Análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores*. Managua: UNAN-Managua.
- McBirney A. & William H. (1965). In *Volcanic History of Nicaragua*. (pp. 1-65). University of California publications in geological sciences, Vol. 55.
- Oyarzun, J. (2009). *Lexico sobre procesos y estructuras geológicas*. Chile: Universidad de la Serena.
- Parsons Corporation. (1972). *The Geology Of Western Nicaragua*. . Managua.
- Rivera, T. O. (2007).
Estado actual del conocimiento en el área de la Subcuenca Hidrográfica Tisma, Apoyo y Manares en la zona del Pacífico de Nicaragua.
Huelva, España: UNIA.
- Segura, F. (2007). *Sismicidad de Nicaragua*. Managua.
- Servicio Geológico Nacional. (1959). *Boletín N°3*. Managua: Ministerio de economía.
- Sevilla, S. (2016). *Mapa metalogenético de Nicaragua*. Managua: MEM.
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra* (8ª edición ed.). (M. M. Romo, Ed.) Madrid, España: Pearson Education S.A.
- Universidad Autonoma Madrid, Departamento de Geología y Geoquímica. (2015). *Riesgo Sismico, Tipos de Fallas*. Madrid: UAM.

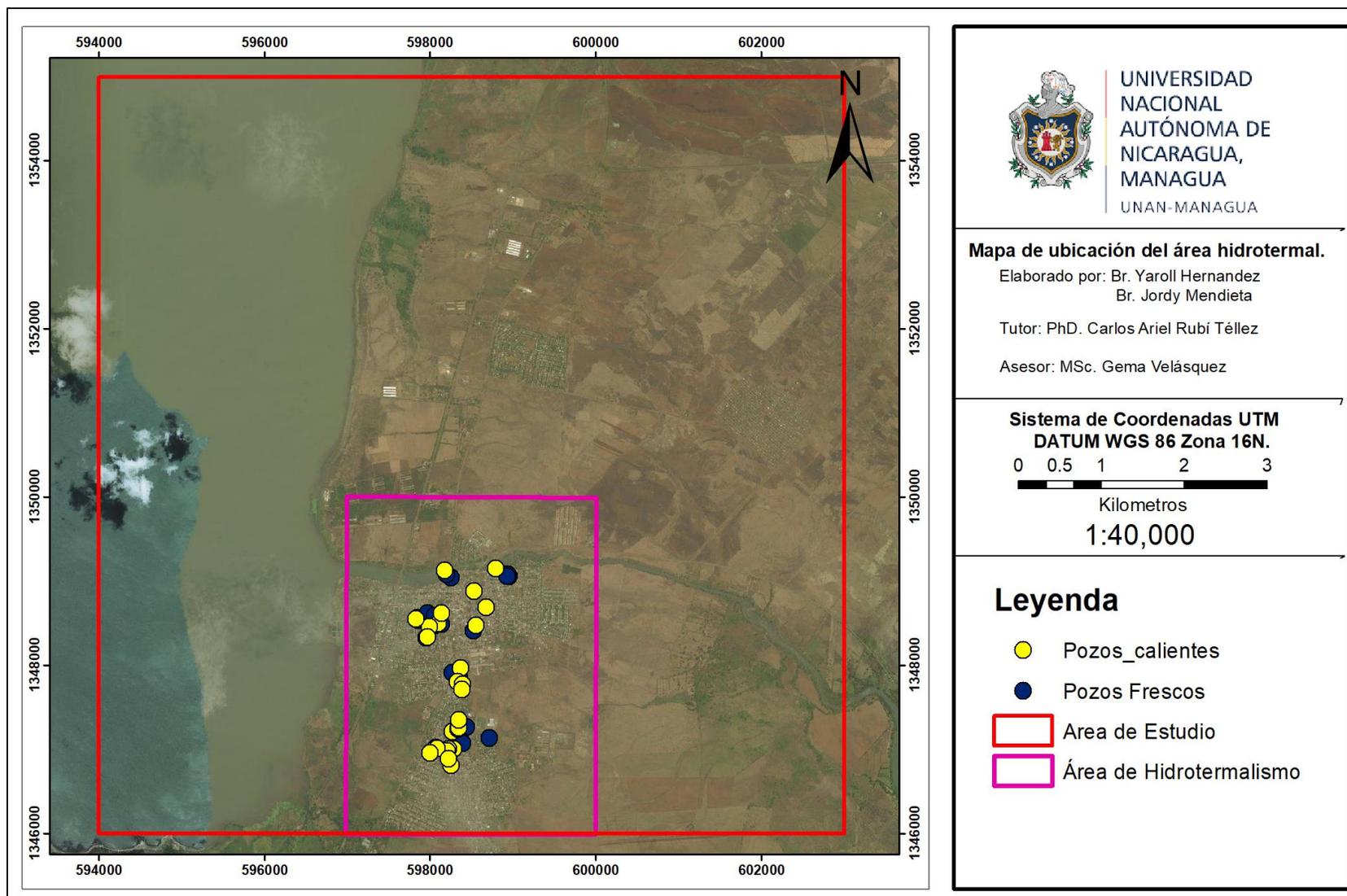
Van Wyk de Vries, B. (1993). Tectonics and magma evolution of Nicaraguan volcanic systems. In *Thesis (Doctoral)* (p. 328). Department of Earth Sciences, The Open University.

Venable, M. (1994). *A Geologic, Tectonic & Metallogenic Evaluation*. Arizona: The University of Arizona.

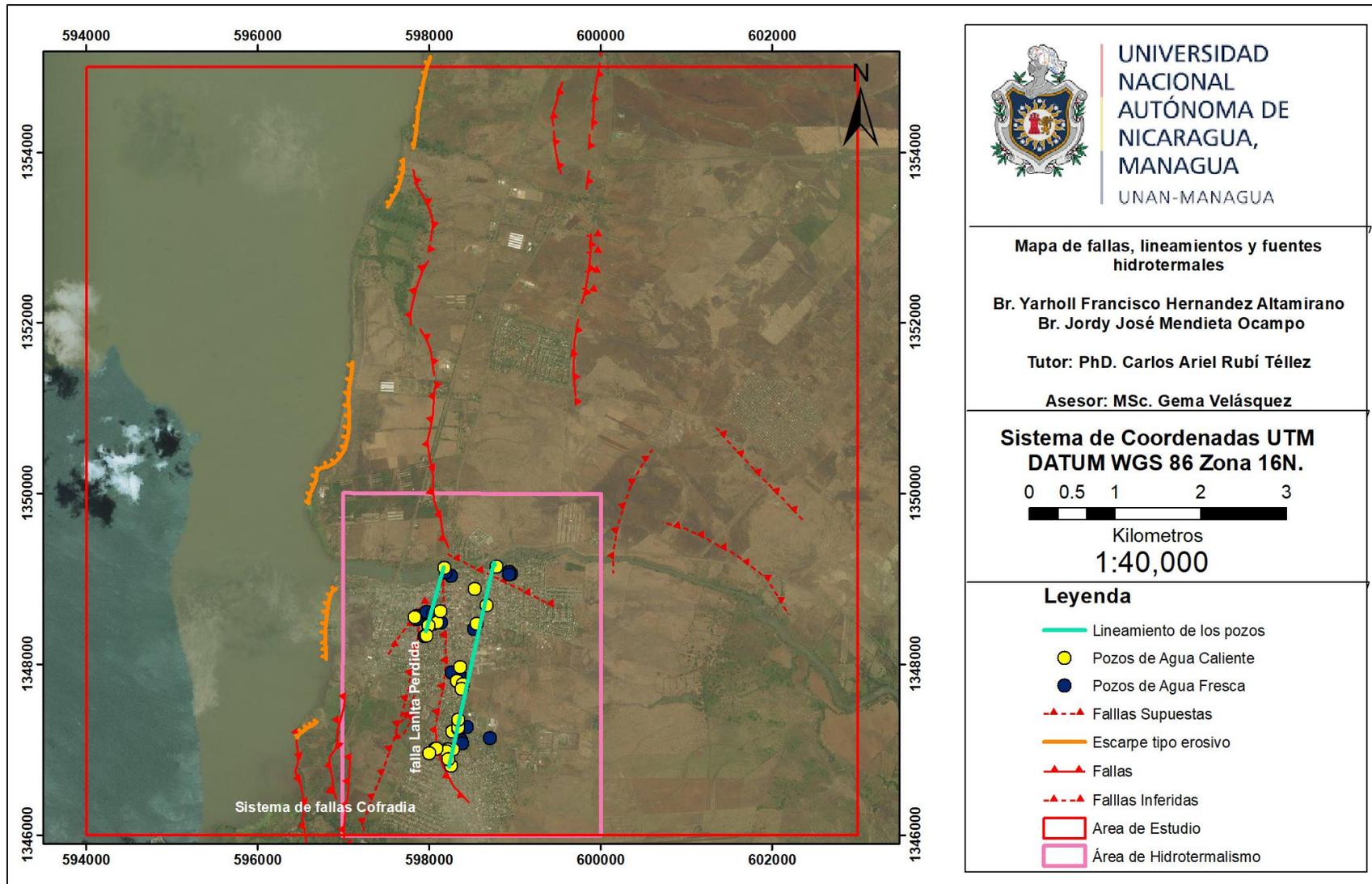
Williams S.N. (1983). *Geology and eruptive mechanisms of Masaya Caldera complex, Nicaragua*. Dartmouth College.

Zambrana, X. (2019). *Peligro sísmico de la falla geológica Aeropuerto, margen Este de la ciudad de Managua, Nicaragua*. Managua: Unan-Managua.

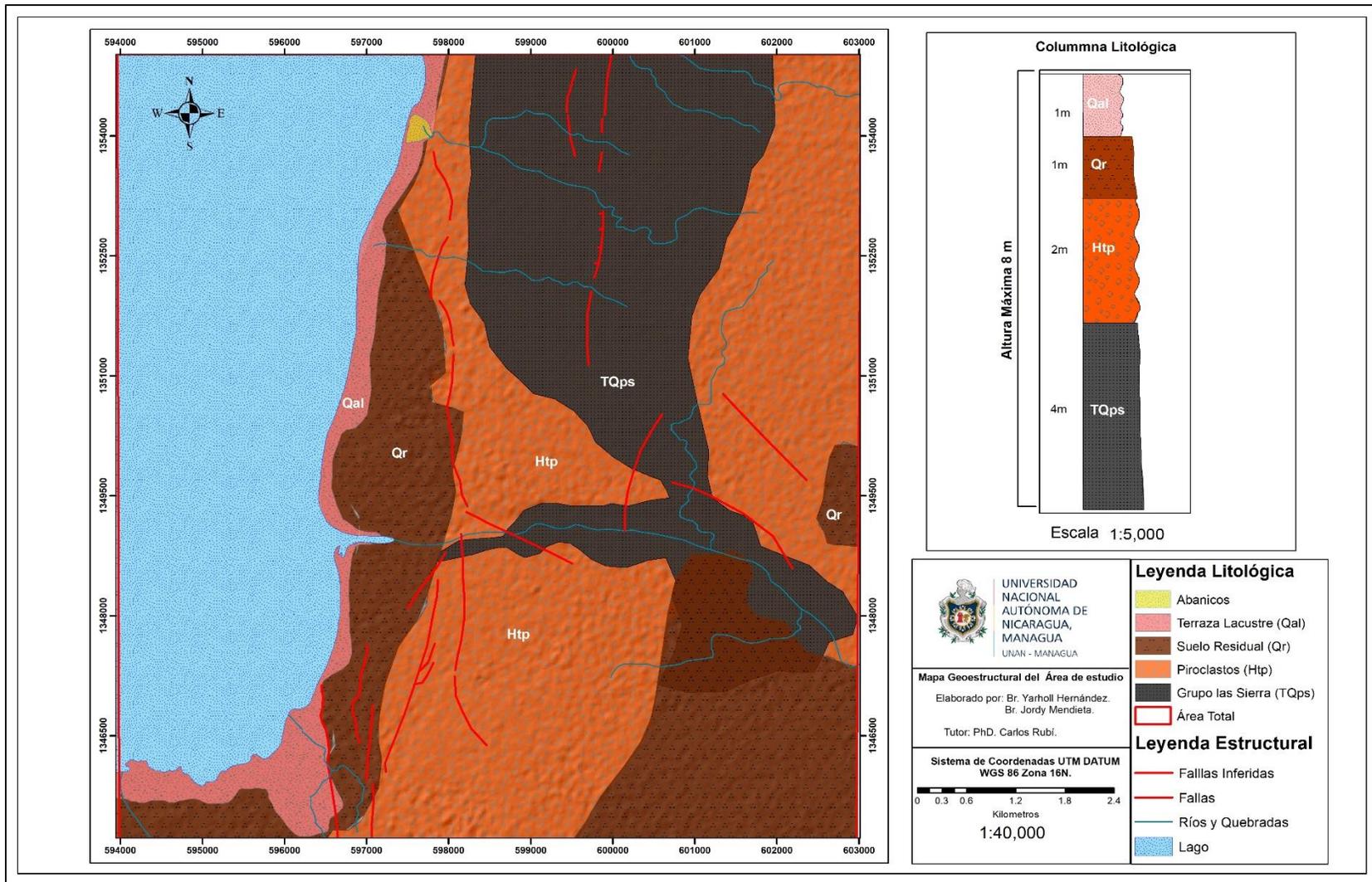
Anexos



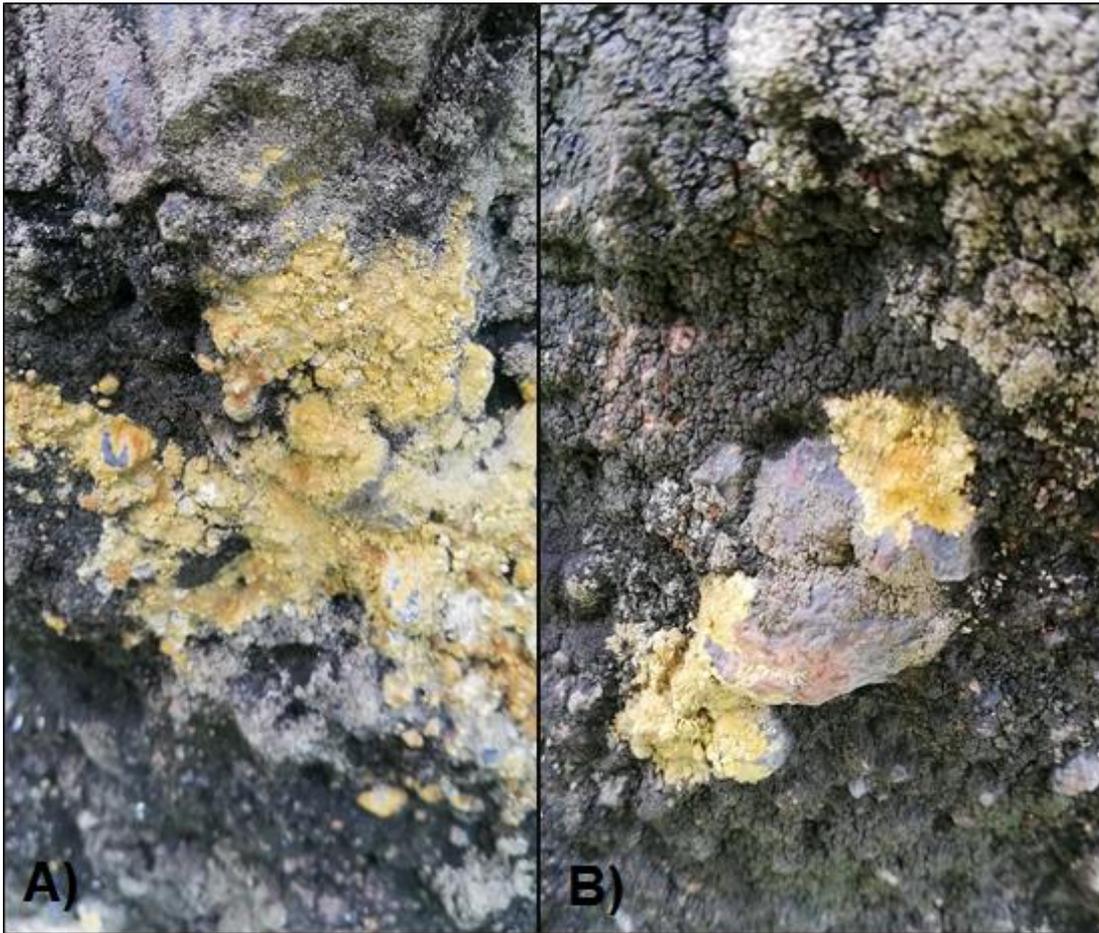
Anexo N° 1 Mapa de ubicación de pozos de agua caliente y fresca muestreados.



Anexo N° 2 Mapa de estructuras geológicas y fuentes hidrotermales.



Anexo N° 3 Mapa Geo-estructural del área de estudio



Anexo N° 4 en las fotos A) y B) se muestran los aglomerados meteorizados por la actividad biológica del área.



Anexo N° 5 en las fotos A) y B) se muestra el depósito aglomerático con alteraciones ferrosas y un matriz cenizas más visible, el tamaño y la distribución de clastos es menor comprado con las fotos 1,2 y 3.



Anexo N° 6 Depósitos ignimbríticos en los márgenes del río Tipitapa.