



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA**

UNAN - MANAGUA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA  
INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**“ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA GEOLÓGICA EN EL SECTOR  
SUROESTE DEL COMPLEJO VOLCÁNICO MOMOTOMBO Y SUS  
ALREDEDORES A ESCALA 1:40,000”.**

**Trabajo Monográfico para optar al título de Ingeniero Geológico.**

**PRESENTADO POR:**

- ✚ Br. Salinas Domínguez Juan Antonio**
- ✚ Br. Ruiz Masis Oscar Danilo.**
- ✚ Br. Reyes Rosas Francisco José.**

**TUTOR: PhD. Carlos Rubí**

**ASESORA: Msc. Gema Velásquez**

**Managua, 03 de Julio del 2020**

**“Actualización cartográfica geológica en el sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000”.**

## **Dedicatoria**

Se la dedico primeramente a DIOS, por darme la sabiduría para culminar mis estudios, las fuerzas para seguir adelante cuando creía que ya no podía, infinitas gracias porque sin él no hubiese sido posible llegar a la meta y gozar de este momento tan especial en mi vida como lo es terminar mi carrera profesional.

A mi mamá MARIA LUISA DOMINGUEZ quien ha sido mi mayor inspiración y ejemplo de lucha en esta vida, a mi papá EDUARDO JOSE SALINAS por ser un pilar fundamental y aconsejar en los momentos difíciles, a ellos infinitas gracias por ser mi ejemplo a seguir y ser el apoyo más grande en mi vida.

A la Lic. LUDWIN YANIXSA FLORES, por ser una persona especial e incondicional y siempre estuvo ahí cuando la necesite, a mis hermanas Dra. XOCHILT SALINAS, ROSA SALINAS, KEYLIN SALINAS y MARIA LUISA SALINAS, ¡¡por estar siempre que lo necesite a mi familia MUCHAS GRACIAS!!

A mis compañeros de investigación OSCAR RUIZ y FRANCISCO REYES, porque siempre estuvimos juntos en las buenas y las malas apoyándonos mutuamente y dándonos valor y fuerza cuando más lo necesitábamos.

***Juan Antonio Salinas Domínguez.***

### ***Dedicatoria.***

A Dios primeramente creador de todas las cosas, por haberme permitido llegar hasta este punto tan especial, por darme las fuerzas necesarias cuando más lo necesite, la sabiduría para poder seguir adelante, gracias infinitas por enseñarme a valorar todas las bendiciones que nos da cada día.

A mi madre Marisol Masis y mi padrastro Antonio Cruz, por ser las personas que me han apoyado en todo momento, y por ser los pilares fundamentales en esta trayectoria de formación, por inculcarme buenos valores y por enseñarme a apreciar lo que tengo, gracias por sus sabias palabras, por sus sabios consejos, por enseñarme a valorar las cosas tanto materiales como sentimentales, por su amor incondicional que tuve en todo momento, por su paciencia y sobre todo sus buenos deseos.

A mi tía Mayela Masis y su esposo Orlando Niño (*q.e.p.d*) quienes jugaron un papel importante en mi formación como persona, gracias por sus valiosos consejos, comprensión, atención, ayuda incondicional en los momentos que más lo requería, y sobre todo gracias por todo el amor que me brindaron, sus buenos deseos, gracias por todo lo que me han enseñado, a Urania Meneses por ser una gran persona que me brindo su comprensión y valiosos consejos, por su amor y por compartir su tiempo siempre que lo necesite.

***Oscar Danilo Ruiz Masis.***

## ***Dedicatoria.***

Esta Monografía de investigación se la dedico Primeramente, a DIOS y al Universo que me ha permitido llegar hasta este momento tan grande, significativo e importante en mi vida y poder compartir de este gran logro, A mi más grande fuente de motivación, inspiración, ejemplo de vida y de lucha continua, mi Mama MARTHA AZUCENA ROSAS BETANCO, quien me ha brindado su enorme apoyo incondicional durante todos estos años y quien me ha dado ánimos, fuerzas, constantes regaños y consejos de gran importancia para poder lograr mis metas. ¡Gracias!!

A mi Papa OSCAR REYES ZELEDON (q.e.p.d) por ser un papa ejemplar, enseñándome valores y principios fundamentales e incitarme a ser mejor cada día de mi vida. A mi padrastro ROGER REYES por apoyarme de manera incondicional desde que empecé mi carrera universitaria, a mi familia de manera general y a mi Hermana VILMA AZUCENA ROSAS, que ha sido un enorme apoyo en mi vida, todos ellos han sido parte fundamental en mi formación personal y profesional, son quienes me han apoyado y motivado para que cumpla cada una de mis metas. Infinitas Gracias Familia, son lo mejor.

A mis compañeros de esta investigación JUAN SALINAS Y OSCAR RUIZ, con quienes he compartido buenos y malos momentos durante todos los años de esta etapa universitaria. También a quienes por razones ajenas a su voluntad no pudieron culminar la carrera, Valen mucho Muchachos. GRACIAS POR TODO.

***Francisco José Reyes Rosas.***

## AGRADECIMIENTO.

Queremos agradecer primeramente a Dios nuestro señor todo poderoso, por brindarnos la vida y la cualidad de ser perseverantes para llegar a esta etapa tan importante en nuestras vidas y alcanzando la primera de muchas metas.

A nuestra familia por el apoyo incondicional en todos los sentidos, por el amor y principalmente la paciencia que nos han mostrado en el desarrollo de esta importante investigación.

A la universidad nacional autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) por permitirnos ser parte de su comunidad estudiantil y habernos proporcionados a personas calificadas para nuestro aprendizaje y desarrollo como profesionales, también por brindarnos el equipo necesario para realizar las prácticas de nuestra carrera. Además, queremos agradecer enormemente a nuestros profesores y de manera especial a nuestro tutor **PhD. CARLOS RUBÍ** por habernos apoyado, por brindarnos su valioso conocimiento y haber depositado la confianza en nosotros. Muchas gracias. También agradecemos al centro de investigación geológica (CIGEO) por su importante apoyo para el desarrollo de esta investigación.

Y, por último, pero no menos importante nuestros amigos y compañeros de carrera, JORDY MENDIETA, YARHOLL HERNANDEZ, WENDY SANTANA, ELIEZER QUIROZ, CARLOS ESPINOZA, DANNY CARBALLO, ENA MARGARITA MERLOS, LAURA GEZABEL BENAVIDEZ LORIO Y JESSICA MENDEZ, Porque siempre nos mantuvimos unidos durante toda la carrera y vivimos experiencias memorables que de una u otra manera marcaron nuestras vidas. Los queremos.

## **RESUMEN.**

El sitio de estudio se encuentra localizado al SW del complejo volcánico Momotombo, en el municipio de La Paz Centro del departamento de León. El área Cartografiada está situada dentro de la cordillera volcánica de los Maribios que durante el transcurso del tiempo ha venido evolucionando por su continua actividad volcanotectónica, lo cual ha generado cambios en su morfología teniendo como actual centro de emisión el Volcán Momotombo, pero anteriormente los materiales en este sitio se vinculan a antiguas calderas volcánicas que están en el área adyacente.

Desde el punto de vista geológico se lograron definir tres unidades litológicas principales en el área de estudio. Las que se definen a continuación como: Unidad I: Flujos piroclásticos Unidad II: Material volcánico de caída y Unidad III: Depósitos aluviales y fluviales.

El sitio de estudio está definido por cuatro unidades geomorfológicas las cuales se definieron de la siguiente manera: I. Unidad de calderas, II. Unidad de conos cineríticos. III. Unidad de cerros y colinas. IV. Unidad de planicies. La geomorfología del área de estudio está controlada por los procesos endógenos y exógenos, así mismo por procesos antropogénicos.

Estructuralmente el área se encuentra dentro del graben de Nicaragua, según diversos autores la depresión nicaragüense es considerada como un graben que está delimitado por una serie de fallas de tipo extensionales entre las que sobresale la falla Mateare, se establecieron tres fases de deformación, la primera fase consiste en fracturas paralelas con esfuerzos principales en dirección NW-SE localizado camino hacia lago Xolotlán , la segunda fase consiste en un sistema de fracturas en el piso con esfuerzos principales en dirección NW-SE localizados en la cercanías del lago Xolotlán (Finca San Cristóbal) y por último la tercera fase de deformación se atribuye a sistema de fracturas conjugadas con dirección NE-SW encontradas en el río que se ubica camino a las palmas.

# INDICE

<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>1.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1.1 Localización Del Área De Estudio. ....	2
1.1.2 Generalidades Del Área De Estudio. ....	5
<b>1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b> .....	7
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN.</b> .....	8
<b>1.4 OBJETIVOS.</b> .....	9
<b>CAPITULO II</b> .....	10
<b>2.1 MARCO REFERENCIAL.</b> .....	10
2.1.1 Antecedentes. ....	10
2.1.2 Marco Teórico. ....	12
2.1.3 Geología definición.....	13
2.1.3.1 Ramas de la geología.....	13
2.1.4 Geología estructural.....	14
2.1.4.1 Tipos de esfuerzos.....	14
2.1.4.2 Niveles Estructurales: .....	15
2.1.4.3 Diaclasas y Fallas. ....	17
2.1.4.4 Tipos de fallas.....	18
2.1.5 Geomorfología. ....	19
2.1.6 Cartografía Geológica.....	19
2.1.6.1 Caracterización de la Cartografía .....	21
2.1.7 Vulcanología.....	21
2.1.7.1 Tipos de erupciones. ....	21
2.1.7.2 Erupción tipo estromboliana. ....	22
2.1.7.3 Flujos piroclásticos.....	22
2.1.8 Petrografía definición. ....	23
2.1.8.1 Estudio Petrográfico. ....	24
2.1.8.2 Petrografía de Rocas ígneas.....	24
<b>2.2 Marco Geotectónico De América Central.</b> .....	25
2.2.1 Tectónica De Nicaragua.....	26
2.2.2 Geología De Nicaragua. ....	26

2.2.3 Vulcanismo Cuaternario De Nicaragua.....	27
2.2.4 Volcán Momotombo.....	29
<b>2.3 HIPÓTESIS .....</b>	<b>31</b>
<b>Capítulo III .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 DISEÑO METODOLGICO. ....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Tipo De Estudio.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 Área De Estudio.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4 Universo y Muestra.....</b>	<b>33</b>
<b>3.5 Operacionalización De Variables.....</b>	<b>34</b>
<b>3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>35</b>
3.6.1 Trabajo De Campo.....	36
<b>3.7 Etapa De Procesamiento E Interpretación De Datos.....</b>	<b>36</b>
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Análisis y discusión de resultados.....</b>	<b>37</b>
4.1.1 Geología local.....	37
4.1.1.1 Unidades litológicas.....	37
4.1.1.2 Unidad I: flujos piroclásticos.....	37
4.1.1.3 Unidad 2 Material piroclásticos de caída.....	41
4.1.1.4 Unidad 3. Depósitos Aluviales y Fluviales.....	47
4.1.2 Geomorfología.....	49
4.1.2.1 Mapa de órdenes de corrientes.....	49
4.2.2.2 Mapa de altitud.....	50
4.1.3 Unidades geomorfológicas.....	51
4.1.3.1 Unidad de calderas (Uc).....	51
4.1.3.2 Unidad de conos cineríticos.....	52
4.1.3.3 Unidad de cerros y colinas.....	52
4.3.3.4 Unidad de planicies (UP).....	54
<b>4.1.4 Geología estructural.....</b>	<b>55</b>
<b>Capítulo V .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1 Conclusiones.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2 Recomendaciones.....</b>	<b>70</b>
<b>5.3 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>

## INDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1.</b> Mapa de vías de accesos desde la ciudad de Managua hacia el área de estudio Puerto Momotombo.....	<b>2</b>
<b>Figura 2.</b> Mapa de ubicación del área de estudio.....	<b>4</b>
<b>Figura 3.</b> Tipos de esfuerzos.....	<b>14</b>
<b>Figura 4.</b> Niveles estructurales.....	<b>15</b>
<b>Figura 5.</b> Mapa de la Cadena Volcánica de Nicaragua.....	<b>16</b>
<b>Figura 6.</b> Diaclasas y fallas.....	<b>18</b>
<b>Figura 7.</b> Cartografía geológica.....	<b>19</b>
<b>Figura 8.</b> Marco Geotectónico de Centro América, basado en de Mets.....	<b>25</b>
<b>Figura 9.</b> Mapa de Provincias Geológicas de Nicaragua.....	<b>26</b>
<b>Figura 10.</b> Mapa de la Cadena Volcánica de Nicaragua.....	<b>28</b>
<b>Figura 11.</b> Fotografía de puerto Momotombo.....	<b>30</b>
<b>Figura 12.</b> Fallas que modelan el graben de Nicaragua.....	<b>55</b>
<b>Figura 13.</b> Diagrama de Roseta (20 Datos) .....	<b>58</b>
<b>Figura 14.</b> Diagrama de Roseta (32 Datos) .....	<b>59</b>
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Roseta (23 Datos) .....	<b>60</b>
<b>Figura 16.</b> Diagrama de Roseta (70 Datos).....	<b>67</b>

## INDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1.</b> Coordenadas del sitio de estudio .....	<b>3</b>
<b>Tabla 2.</b> Operacionalización de variables. ....	<b>34</b>

## ÍNDICE DE FOTOS.

<b>Foto 1.</b> Paquete de flujo piroclástico.....	<b>38</b>
<b>Foto 2.</b> Muestra de mano correspondiente a Toba.....	<b>39</b>
<b>Foto 3.</b> Paquete de flujo piroclástico.....	<b>40</b>
<b>Foto 4.</b> Paquete de flujo piroclástico.....	<b>40</b>
<b>Foto 5.</b> Depósito de escorias.....	<b>42</b>
<b>Foto 6.</b> Depósito de pómez.....	<b>43</b>
<b>Foto 7.</b> Depósito de pómez.....	<b>44</b>
<b>Foto 8.</b> Aglomerado.....	<b>45</b>
<b>Foto 9.</b> Aglomerado.....	<b>46</b>
<b>Foto 10.</b> Aglomerado.....	<b>46</b>
<b>Foto 11.</b> Aglomerado.....	<b>46</b>
<b>Foto 12.</b> Suelo aluvial – río.....	<b>47</b>
<b>Foto 13.</b> Suelo aluvial – quebrada.....	<b>48</b>
<b>Foto 14.</b> Suelo aluvial – quebrada.....	<b>48</b>
<b>Foto 15.</b> Parte baja de la quebrada.....	<b>48</b>
<b>Foto 16.</b> Suelo de tipo arcilloso .....	<b>49</b>
<b>Foto 17.</b> Paquete de flujo piroclástico.....	<b>53</b>
<b>Foto 18.</b> Paquete de flujo piroclástico.....	<b>54</b>
<b>Foto 19.</b> Sistema de fracturas paralelas.....	<b>58</b>
<b>Foto 20.</b> Sistema de fracturas paralelas.....	<b>58</b>
<b>Foto 21.</b> Fracturamiento en el piso.....	<b>59</b>
<b>Foto 22.</b> Fracturas conjugadas.....	<b>60</b>
<b>Foto 23.</b> Falla inversa.....	<b>62</b>
<b>Foto 24.</b> Falla normal.....	<b>63</b>
<b>Foto 25.</b> Falla inversa.....	<b>64</b>

<b>Foto 26.</b> Falla inversa.....	<b>64</b>
<b>Foto 27.</b> Falla inversa.....	<b>65</b>
<b>Foto 28.</b> Sistema de fracturas paralelas.....	<b>65</b>
<b>Foto 29.</b> Corte expuesto en la carretera.....	<b>66</b>

## **INDICE DE ANEXOS.**

<b>Anexo 1.</b> Tabla de fracturas.	
<b>Anexo 2.</b> Tabla de fracturas.	
<b>Anexo 3.</b> Tabla de fracturas.	
<b>Anexo 4.</b> Tabla de fracturas.	
<b>Anexo 5.</b> Tabla de fracturas.	
<b>Anexo 6.</b> Tabla de fracturas.	
<b>Anexo 7.</b> Tabla de fracturas.	
<b>Anexo 8.</b> Tabla de fracturas.	
<b>Anexo 9.</b> Mapa de curvas de nivel.	
<b>Anexo 10.</b> Mapa Altimétrico.	
<b>Anexo 11.</b> Mapa de Antiguas Calderas.	
<b>Anexo 12.</b> Mapa Geomorfológico.	
<b>Anexo 13.</b> Mapa Geológico.	

## **CAPÍTULO I**

### **1.1 INTRODUCCIÓN.**

Desde el neógeno, el territorio nicaragüense presenta una intensa actividad volcánica, esto se debe a las condiciones geológicas regionales, que están relacionadas con la tectónica de placas, generando un proceso de subducción entre la placa Coco y la placa Caribe. Siendo éstas las causantes del origen de la depresión de Nicaragua y la gran cadena volcánica de Nicaragua, dando paso a un sin número de estructuras que se extienden paralelas a las costas del Pacífico.

El presente documento, aborda un estudio de carácter investigativo, el cual se lleva a cabo en la zona SW del complejo volcánico Momotombo, que consta con un área de 56 km<sup>2</sup>; y tiene como objetivo, actualizar la cartografía geológica del sector W del Puerto Momotombo y sus alrededores. Como parte de este estudio cartográfico, se realizó una caracterización estructural en el sitio de interés, así también se definieron las unidades litológicas para la elaboración de una columna estratigráfica del área; esto con el fin de actualizar los datos y correlacionarlos con estudios ya realizados en el sitio o en sus alrededores, posteriormente se generó un mapa geológico a una escala de 1:40,000.

La actualización de los datos obtenidos del estudio Geo-científico, serán de gran ayuda y aporte para los estudiantes y personas que pretendan realizar trabajos geológicos, o de otras ramas relacionada con las ciencias de la tierra en la zona SW del complejo volcánico Momotombo.

### 1.1.1 Localización Del Área De Estudio.

El Área de estudio se sitúa en el sector SW del complejo volcánico Momotombo, que se ubica en el municipio de la Paz Centro – León, dentro de las coordenadas UTM 538000 E, 1369000 N y con hoja topográfica No. 2853-II La Paz Centro. Las vías de acceso para llegar a la zona de estudio desde la capital Managua, son por medio de la carretera nueva a León, carretera Nic-28, desviándose al norte en el km 59.8, tomando la primera salida, carretera que une a la Paz Centro y Malpaisillo Nic-22, hasta llegar a puerto Momotombo; que es parte del área de estudio. (Ver figura 1)

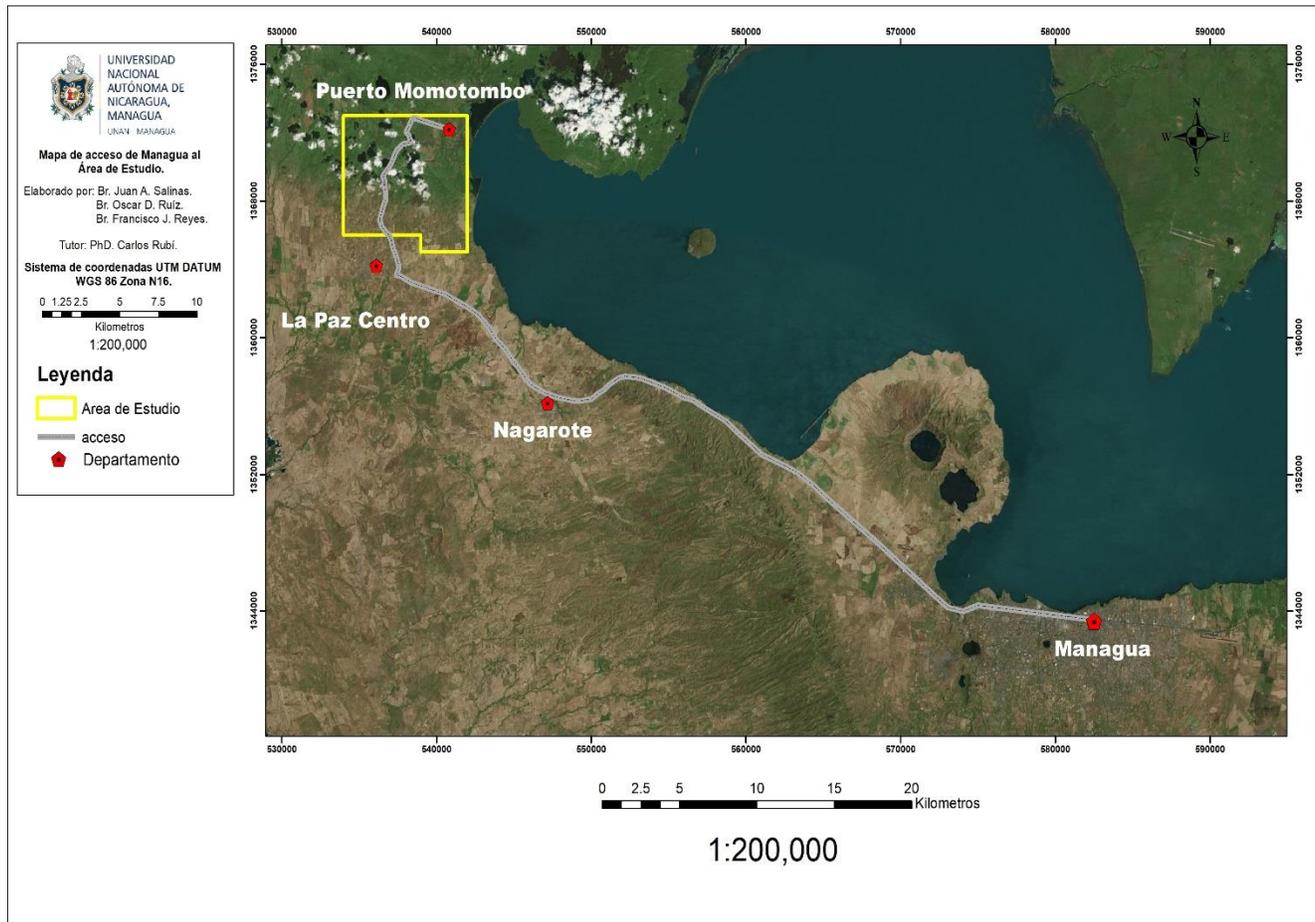


Figura 1: Mapa de vías de accesos desde la ciudad de Managua hacia el área de estudio Puerto Momotombo.

La cabecera municipal está situada a 56 km de la ciudad de Managua capital de la Republica de Nicaragua y el sitio de estudio se localiza a 73.3 km de la capital Managua. La zona de estudio consta de 56 km<sup>2</sup> aproximadamente, a continuación, se presenta la tabla N° 1 que contiene los vértices y coordenadas del área de investigación. (Ver figura 2).

TABLA 1. COORDENADAS DEL AREA DE ESTUDIO		
Coordenadas UTM hoja topográfica 2853-2 La Paz Centro.		
Vértices del Área	ESTE	NORTE
A	534010	1372968
B	541991	1372968
C	541991	1365051
D	539003	1365035
E	538987	1365973
F	533995	1366005

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.

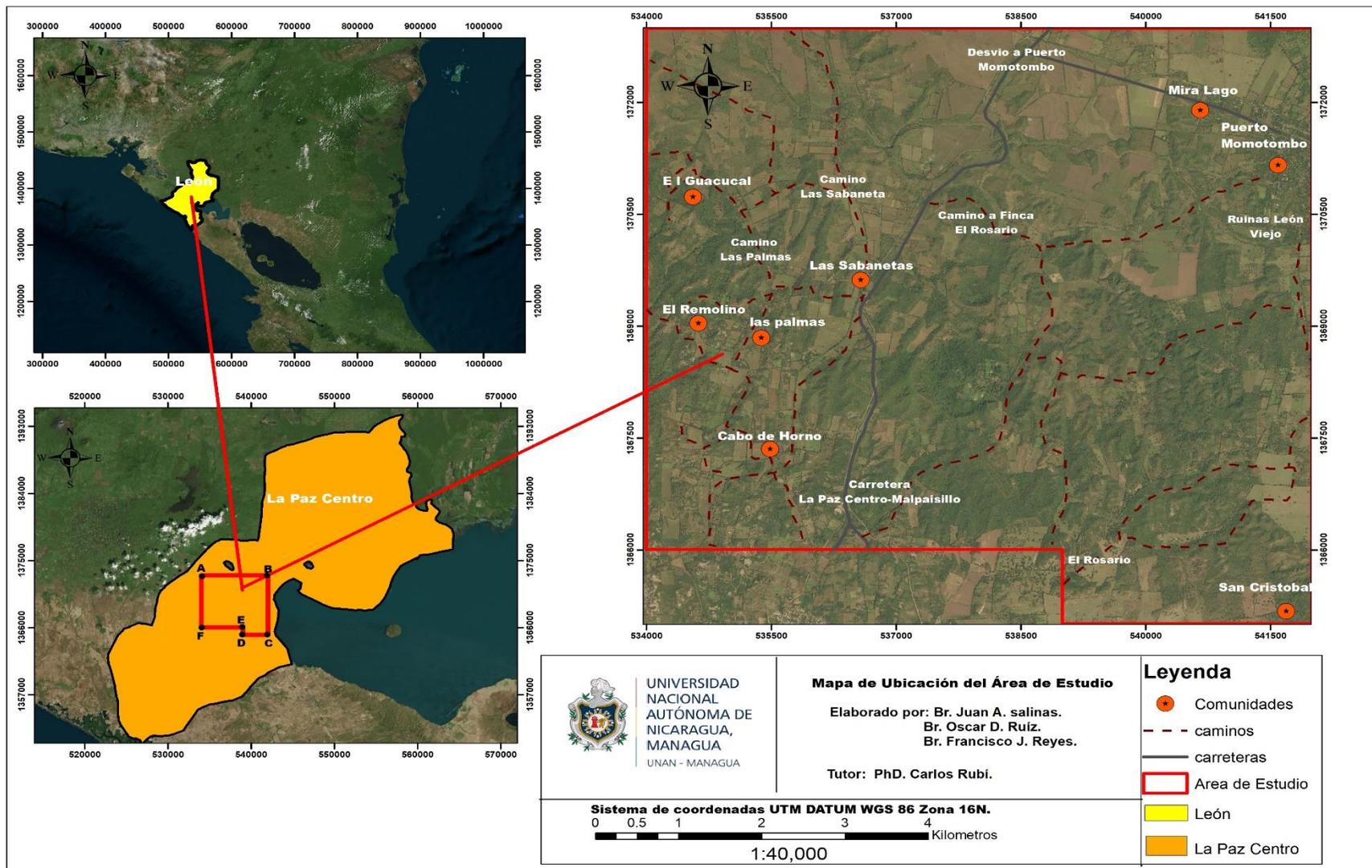


Figura 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

### 1.1.2 Generalidades Del Área De Estudio.

El clima del área es de tipo tropical seco, con 1200 mm de precipitaciones medidas anuales. Las precipitaciones están concentradas en las estaciones lluviosas, que abarca el periodo entre mayo y octubre frecuentemente regular. La temperatura medida anualmente es de aproximadamente 27°C (EcuRed, 2009)

La vegetación dominante corresponde a bosque tropical seco, con un terreno muy abierto que contienen remanentes de especies en peligro de extinción debido a la extracción selectiva de especies de árboles maderables (caoba, cedro, pochote), leña; el pastoreo extensivo estacional, expansión de áreas agropecuarias, las quemadas agrícolas y los incendios forestales intencionados asociados con las amenazas naturales (flujos de lava, gases, cenizas y sequías)

#### **Localidad.**

Antiguamente el municipio contaba con los siguientes valles y comarcas:

La concepción, cuatro palos, Flor de la piedra, los portillos, La Palma, La paz vieja, El tamarindo, San Gabriel, El Guacucal, cabo de Horno, La chibola, La Fuente, El Papalonal, La Sabaneta, Tecuaname, Amatitlán (Centro, 2009)

El municipio de La Paz Centro actualmente cuenta con los siguientes territorios, sector urbano y sector rural,

Sector rural: Momotombo, Tamarindo, Amatitlán, Rincón de los Bueyes, Cabo de Horno, La Unión, Las parcelas, Sabaneta, La Palma, El Guacucal, El Chorizo, Flor de la piedra, La Fuente, Tecuaname, El Portillo, EL Papalonal, La paz Vieja, Los Limones, Los Arcos, El Socorro, Las Chácaras, La Chibola, cuatro palos, La Concha y San Gabriel. (Centro, 2009)

### Economía Municipal.

El municipio de la Paz Centro es una zona comercial, ganadera y agrícola, se cultiva ajonjolí, hortalizas, maíz, sorgo, soya, maní, caña de azúcar y tabaco. Cuenta con 9173 manzanas sembradas distribuidas de la siguiente manera:

Sector Agropecuario	
Cultivo	Manzanas sembradas
Ajonjoli	1815
Mani	131
Caña	1500
Maiz	2234
Tabaco	35
Sorgo	1787
Soya	485
Yuca	0
Total	9173

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La morfología de Nicaragua se encuentra en constante cambio, debido a diversos procesos geológicos como son los agentes endógenos y exógenos, pero en el sitio de estudio el principal factor que produce cambios en la superficie terrestre es el proveniente de la actividad volcánica y su ambiente tectónico, Esto ha generado una serie de fracturas y fallas que afectan el área y han modelado el terreno a lo largo de los años. Cabe destacar que el sitio de estudio está ubicado a escasos kilómetros del complejo volcánico Momotombo. Pero en el área de trabajo se encuentran antiguas estructuras volcánicas las cuales, a lo largo de la historia, presentaron fuerte actividad volcánica, como la expulsión de flujos piroclásticos, material piroclásticos de caída, y emanación de gases. Los cuales son los principales causantes de la modelación del terreno.

Los estudios Geológicos (Cartografía) que se han realizado en el sitio o cerca de la zona de estudio son muy pocos, por ende, la información que existe en la zona es muy escasa, sin embargo, las investigaciones que se han elaborado próximas al área de estudio evidencian que el terreno ha sufrido grandes cambios geomorfológicos. Además, los estudios geo-científicos que se han practicado en las cercanías del complejo volcánico Momotombo, están orientados en diferentes áreas siendo los dos últimos en el sector sur de la estructura volcánica, específicamente en la planta geotérmica cubriendo un área de 16 km<sup>2</sup> y el otro realizado en el sector NW con una extensión de 70 km<sup>2</sup>.

Por ende, en el presente trabajo la formulación del problema se basa en lo siguiente:  
¿Cuáles son los principales eventos volcánicos que han ocurrido, por el cual el terreno ha sido modelado en el sitio de estudio?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN.**

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro de la cordillera Volcánica nicaragüense, específicamente cerca del complejo volcánico Momotombo, el cual en su historia periódicamente registra ocho erupciones de tipo explosiva características de un estratovolcán, estas han generado grandes cambios en la morfología de la superficie terrestre. (Morales, 2000).

Los constantes cambios en la morfología del terreno son de gran interés para la realización de una cartografía geológica y para la determinación de las condiciones topográficas, que actualizará los datos obtenidos de los estudios realizados anteriormente en los alrededores del sitio de interés. Los últimos estudios realizados en esta zona o cerca de ella se remontan al año 2015, siendo un análisis de la percepción de la amenaza del volcán Momotombo - Puerto Momotombo, 2017, consistiendo en una cartografía de 16km<sup>2</sup> del sector sur del complejo volcánico Momotombo, y en 2019 nuevamente se realizó cartografía de 70km<sup>2</sup> al NW del complejo volcánico.

Este estudio geo-científico que cubre una parte específica de la zona Oeste del complejo volcánico Momotombo, se efectúa con el propósito de actualizar y ampliar la información de los estudios que se realizaron previamente ya que en este sitio la investigación e indagación en su mayoría data de los años 1980-2000 esto aporta y extiende la información para los estudios o futuras investigaciones que se realizarán y a su vez fomentar el interés de estudios investigativos de la geología de Nicaragua. No obstante, se dará un enfoque general en tres orientaciones las cuales son la morfología, geología estructural y litología del sitio.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### 1.4.1 Objetivo General.

- Actualizar la cartografía geológica del sector Oeste de la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.

### 1.4.2 Objetivos Específicos.

- Determinar las unidades litológicas para elaboración de la columna estratigráfica del área de estudio.
- Definir las unidades geomorfológicas en la zona de estudio.
- Realizar caracterización estructural en la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores.
- Efectuar un análisis petrográfico para la caracterización de las unidades litológicas en el sitio de estudio.

## **CAPITULO II**

### **2.1 MARCO REFERENCIAL.**

#### 2.1.1 Antecedentes.

El área de Momotombo y sus alrededores han sido objeto de estudio desde 1960 siendo específicos en el ámbito geotérmico, debido a que este sector es uno de los principales prospectos y con mayor potencial de energía geotérmica dentro del territorio nacional. Se han realizado pocos trabajos relacionados con la cartografía geológica, de esta base parte la necesidad de realizar más estudios cartográficos, aportando al desarrollo científico y geológico de esta zona.

CGU-INETER (2000) *Investigación geológica de los riesgos naturales en Nicaragua y en otros países en América Central* - Elaboraron una caracterización y clasificación de unidades geológicas de los grupos volcánicos Telica, Las Pilas-Cerro Negro, El Hoyo y áreas de las depresiones de Malpaisillo, La Paz Centro y Puerto Momotombo. Este estudio se tomó como base fundamental para tener una visión importante y general de la geología que aflora dentro del área, por lo tanto, el resultado de esta información es de carácter descriptivo a semi detalle porque abarca una gran extensión de terreno e incluye información de áreas circundantes de suma importancia para el desarrollo de otras investigaciones.

Servicio Geológico de la República Checa, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, (2001) *Mapas geológicos y estudio de la amenaza geológica en la cadena volcánica de Nicaragua* - El principal aporte realizado por estos autores asociados a este trabajo, se relaciona al reconocimiento de grupos lito estratigráficos que se presentan en el volcán Momotombo y sus alrededores. Además, el de reconocer índices de peligros geológicos, amenazas (endógenos y exógenos) en el volcán Momotombo. Los grupos lito estratigráficos que estos

autores definen son: Caldera San Juan, Grupo pre Momotombo, Grupo Monte Galán, Grupo Cerro Los Palomos – Cerro Colorado, Grupo Momotombito, volcán Momotombo, Momotombo viejo, relleno sedimentario de la depresión Monte Galán. La metodología aplicada para este estudio fue una ardua y extensa etapa de campo la cual incluyo una evaluación completa de las estructuras geológicas en la zona de la Cadena Volcánica de Nicaragua y evaluación de las amenazas naturales en los alrededores de las ciudades del Pacífico de Nicaragua. Durante la realización de este proyecto se obtuvo como resultado información de carácter litológico y estructural también se desarrollaron planes de mitigación para cualquier eventualidad en los alrededores de las zonas. Más allá de eso el interés acerca de las estructuras geológicas ha venido creciendo después de las catástrofes naturales que afectaron al país en los años 1998 (Huracán Mitch) y 2000 (terremotos en la Laguna de Apoyo y Masaya).

Salinas E. et al, (2015) *Análisis de la percepción de la amenaza volcánica del volcán Momotombo- puerto Momotombo* - Realizaron una investigación que analiza la percepción de la amenaza volcánica que ostentan contra los pobladores, aledaños a la zona. Ante una posible actividad volcánica. Debido a esto se realizó un análisis de las amenazas que genera el volcán Momotombo- Puerto Momotombo, estos autores realizaron mapas de amenaza por colada de lava y caída de Tefra del volcán Momotombo y sus alrededores.

La metodología aplicada en este estudio incluyo etapas de campo y encuestas a los pobladores en donde se verificó que tanta información poseían acerca de los riesgos al vivir en una zona de alta peligrosidad volcánica por lo tanto los resultados obtenidos fueron mapas de Amenazas a detalle del Puerto Momotombo y sus alrededores también aporte de información respecto a las amenazas sísmicas e inundaciones.

Alemán, M. (2017) *Actualización cartográfica de la planta geotérmica del volcán Momotombo escala 1:50,000* - Elaboró un estudio que consto en la realización de una cartografía Geológica que consistió en 16 km<sup>2</sup> en la zona del campo geotérmico (Planta Geotérmica) ubicada en el sector S del volcán Momotombo. Teniendo en cuenta que los estudios de geotermia son los más frecuentes que se han realizado en el sitio y en sus alrededores, la metodología usada fue una etapa de campo en la cual realizo de manera general y detallada descripción de estructuras aflorantes también utilizo métodos geofísicos con los cuales dio a conocer los resultados obtenidos de estructuras y anomalías en el subsuelo.

Cano y Prudente (2019) *Actualización de la cartografía geológica del volcán Momotombo, del departamento de León, Nicaragua* - Estos autores realizaron la actualización de la Cartografía Geológica del Complejo Volcánico Momotombo, abarcando un área de 70 km<sup>2</sup>. Este trabajo de investigación consto principalmente en la identificación, descripción de las unidades litológicas las cuales son apreciadas como flujos lávicos y materiales piroclásticos. Las que se definen a continuación: Unidad I- Andesita Basáltica, Unidad II- Andesita, Unidad III –Depósitos de Piroclastos, Unidad IV – Basalto. Y la recopilación de datos estructurales del complejo volcánico. La metodología empleada en este estudio fue el levantamiento de campo a detalle y semidetalle en donde se caracterizó la litología, geomorfología y datos estructurales de la zona teniendo como resultado un aporte positivo a la escasa información de este sitio.

#### 2.1.2 Marco Teórico.

El Planeta tierra es una parte muy pequeña de un vasto universo, pero es nuestro hogar. Proporciona los recursos que sostienen nuestra sociedad moderna y los ingredientes necesarios para mantener la vida. Por ende, el conocimiento y la comprensión de nuestro planeta son cruciales para nuestro bienestar social, de hecho, son vitales para nuestra supervivencia. La Geología contribuye mucho a nuestra comprensión del Planeta Tierra.

### 2.1.3 Geología definición.

La Geología también conocida como geociencia o ciencia de la tierra, es el estudio de la estructura, evolución y dinámica de la Tierra, sus recursos minerales y energéticos naturales. La geología investiga los procesos que han dado forma a la Tierra a través de su historia de 4600 millones aproximadamente Y utiliza el registro de *rocas* para desentrañar esa historia. Se ocupa del mundo real más allá del laboratorio y tiene una relación directa con las necesidades de la sociedad. (GeologiaWeb, 2016).

Cabe aclarar que la geología proviene del griego geo, “Tierra” y logos, “estudio”. Por lo tanto, la geología es la ciencia que persigue una comprensión del planeta Tierra, de las ciencias de la tierra y todas sus aplicaciones.

#### 2.1.3.1 Ramas de la geología.

La geología se divide tradicionalmente en dos amplias áreas: la física y la histórica. La geología física examina los materiales que componen la Tierra y busca comprender los muchos procesos que operan debajo y sobre su superficie. El objetivo de la geología histórica, por otro lado, es comprender el origen de la Tierra y su desarrollo a través del tiempo. Por lo tanto, se esfuerza por establecer una disposición cronológica de la multitud de cambios físicos y biológicos que han ocurrido en el pasado geológico. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

El estudio de la geología física precede lógicamente al estudio de la historia de la Tierra porque primero debemos entender cómo funciona la Tierra antes de intentar esclarecer su pasado. (GeologiaWeb, 2016) También debe señalarse que la geología física e histórica se divide en muchas áreas de especialización:

- Cristalografía: estudia los cristales.
- Mineralogía: estudia los minerales.
- Sismología: se encarga del estudio de los terremotos.
- Geofísica: estudia los fenómenos físicos a los que está sujeta la Tierra.
- Vulcanología: está especializada en los volcanes y el magmatismo.

- Tectónica centrada en todo lo referente a las placas tectónicas.
- Geomorfología: explica y estudia las diferentes formas que adopta el relieve terrestre.
- Hidrogeología: estudia lo que tiene que ver con las aguas subterráneas.
- Sedimentología: se encarga de los sedimentos y depósitos de materiales.
- Petrología: estudio de las rocas macroscópicamente.
- Paleontología: encargada de estudiar los fósiles.

#### 2.1.4 Geología estructural.

La Geología estructural es la rama de la Geología que estudia las estructuras geológicas presentes en la corteza terrestre, ya sea de todo el planeta o de una determinada región. En los estudios geológicos de esta naturaleza se realiza la identificación y análisis de las principales estructuras geológicas y su reconocimiento para luego realizar el mapeo de las estructuras tectónicas de un determinado sector. (EcuRed, 2010)

##### 2.1.4.1 Tipos de esfuerzos.

Cuando se habla de esfuerzos se hace referencia a la fuerza aplicada a un área determinada de roca. La unidad de medida más habitual es el kilogramo por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>). En la naturaleza, según la dirección de las fuerzas aplicadas, el esfuerzo puede reconocerse en tres variedades; la compresión, la tensión y la cizalla. (Geoxnet, 2011)

- **Compresión.** Esfuerzo al que son sometidas las rocas cuando se comprimen por fuerzas dirigidas unas contra otras a lo largo de una misma línea. Cuando los materiales se someten a este tipo de esfuerzos, tienden a acortarse en la dirección del esfuerzo mediante la formación de pliegues o fallas según que su comportamiento sea dúctil o frágil.

- **Tensión.** Resultado de las fuerzas que actúan a lo largo de la misma línea, pero en dirección opuesta. Este tipo de esfuerzo actúa alargando o separando las rocas.
- **Cizalla.** Esfuerzo en el cual las fuerzas actúan en paralelo, pero en direcciones opuestas, lo que da como resultado una deformación por desplazamiento a lo largo de planos poco espaciados. Ver figura 3

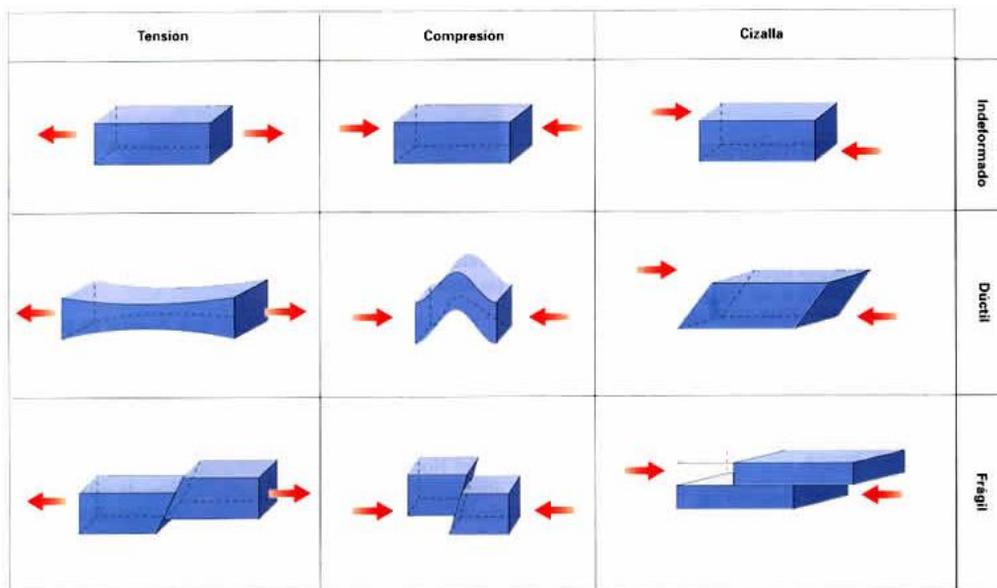


Figura 3. Tipos de esfuerzos. Fuente: (Geoxnet, 2011).

#### 2.1.4.2 Niveles Estructurales:

Se entiende por nivel estructural cada una de las partes de la corteza en que los mecanismos dominantes de la deformación permanecen iguales. El término “nivel” hace referencia a los diferentes dominios, que generalmente están superpuestos entre sí. Si consideramos como límite superior a la superficie de la Tierra, en dirección al centro del planeta, hacia zonas más profundas, se definen tres niveles estructurales en los que las rocas tienen diferente comportamiento. Como es lógico, a medida que nos encontramos en niveles más profundos, las condiciones de

presión y temperatura se incrementan, por lo que las rocas adquieren un comportamiento más dúctil. (Geoxnet, 2011).

- **Nivel estructural superior.** Se localiza desde la superficie del terreno (según la altitud en cada lugar) hasta la cota 0 m, que sirve como referencia, aunque puede llegar a más profundidad. La presión y temperatura no son muy elevadas y las rocas tienen un comportamiento frágil; es el dominio de las fallas.
- **Nivel estructural medio.** Se sitúa entre la cota 0 m y unos 4.000 m de profundidad. El mecanismo predominante es la flexión debido al comportamiento dúctil de las rocas; son característicos de este nivel los pliegues.
- **Nivel estructural inferior.** Es el nivel del metamorfismo, y como media se localiza entre los 4.000 m y los 8.000 o 10.000 m de profundidad. En los niveles más superficiales domina el aplanamiento, con el frente superior de esquistosidad. A mayor profundidad predominan estructuras de flujo, con pliegues acompañados siempre de esquistosidad y foliación. Su límite inferior viene marcado por el inicio de la fusión y la presencia del granito de anatexia. (Ver figura 4).

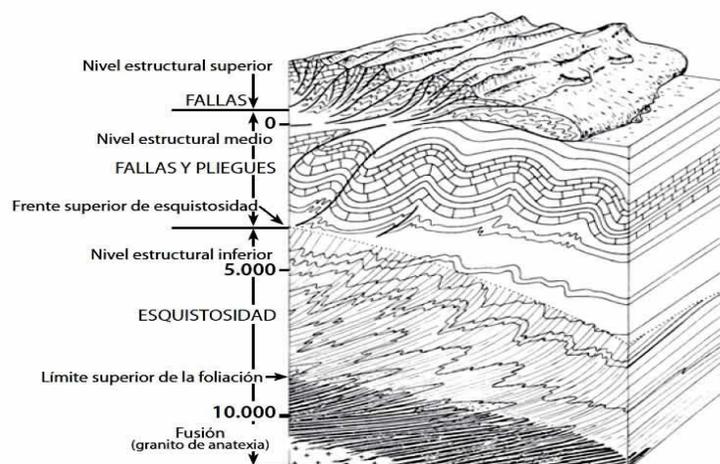


Figura 4 –niveles estructurales. Fuente: (Geoxnet, 2011).

#### 2.1.4.3 Diaclasas y Fallas.

Cuando en un estudio geológico de cualquier índole relacionado a un ambiente volcánico, como en el caso de este trabajo, se hace referencia a la deformación frágil, se apunta a la fracturación de los materiales en forma de diaclasas o fallas. Un material tiene comportamiento frágil cuando se rompe fracturándose bruscamente tras ser sometido a un esfuerzo. (Tarbuck & Lutgens, 2005).

- **DIACLASAS.** Una diaclasa es un plano de fractura a favor del cual no se produce desplazamiento de los bloques que quedan a ambos lados de esta. (Ver figura 5.)

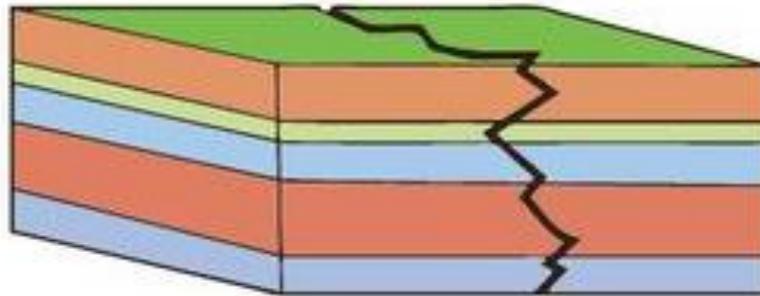


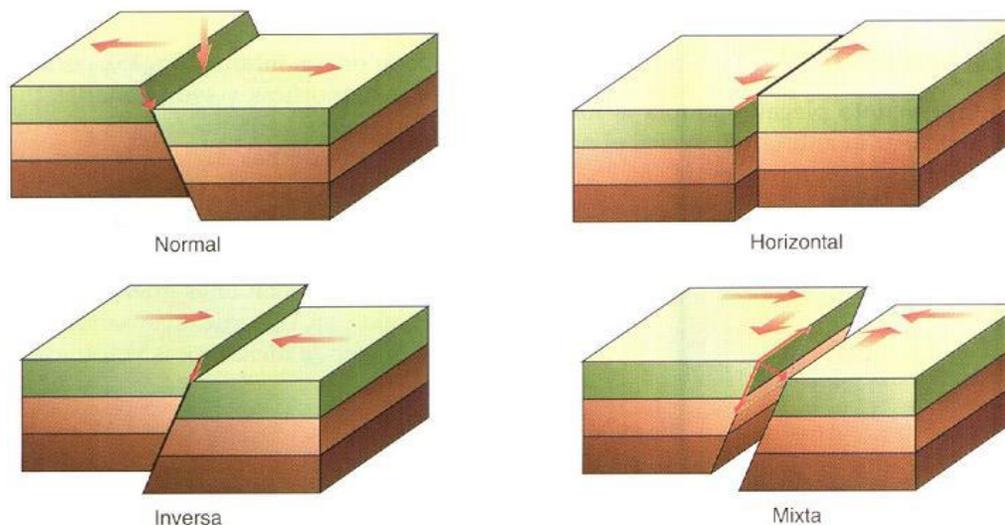
Figura 5 – Diaclasa. Fuente: (Editorial Abc Paraguay, 2009).

- **FALLAS.** 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).

#### 2.1.4.4 Tipos de fallas.

Según el tipo de desplazamiento que tengan los bloques uno respecto a otro, así como que si trátase de unos movimientos en el eje vertical u horizontal, pueden definirse los siguientes tipos de falla (Geoxnet, 2011):

- **Fallas normales.** Se produce un desplazamiento vertical por esfuerzos distintivos cuando el bloque de techo se desplaza hacia abajo con respecto al bloque de muro.
- **Fallas inversas.** Se produce un desplazamiento vertical por esfuerzos compresivos cuando el bloque de muro se desplaza hacia arriba con respecto al bloque de techo.
- **Fallas en dirección.** 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.
- **Las fallas transcurrentes y transformantes.** Son un tipo de fallas horizontales o en dirección que afectan a la litosfera y cortan a las dorsales oceánicas. (Ver figura 6).



Figuran 6. Representaciones de tipos de fallas. Fuente: Instituto Aurora.

### 2.1.5 Geomorfología.

La Geomorfología se la ciencia que estudia las formas de la corteza terrestre. Con este nombre se suele designar la ciencia que estudia el origen y la evolución de la tierra firme emergida, pero puede estudiar también los fondos marinos. Esta ciencia se ha desarrollado siguiendo dos tendencias principalmente: la Geomorfología histórica o cíclica por un lado y la Geomorfología de los procesos por otro. (HiruEusGeologia, 2013).

La Geomorfología histórica se basa en algunos análisis cronológicos, particularmente en el estudio de los estratos que se han formado en los últimos dos millones de años, en el cuaternario. El orden cronológico de los estratos se estudia observando las relaciones que guardan entre ellos, pero, para determinar con más precisión los intervalos de tiempo que les corresponden, se necesita recurrir a métodos de datación, como pueden ser el del carbono 14, el estudio de los anillos de los árboles fosilizados, es decir, la dendrocronología, etc. (HiruEusGeologia, 2013).

La geomorfología de procesos estudia los procesos que se están produciendo en la actualidad. Por ejemplo, la erosión o las fuerzas que están alterando el relieve.

### 2.1.6 Cartografía Geológica.

Es la representación de un conjunto de estudios científicos y técnicos que, a partir de los resultados del levantamiento directo, se emplean para la realización de las cartas y planos. Así como la utilización de los mismos, los cuales se resume según ICA, 1995 (Asociación Cartográfica Internacional , 1995) (*ver figura 7*).

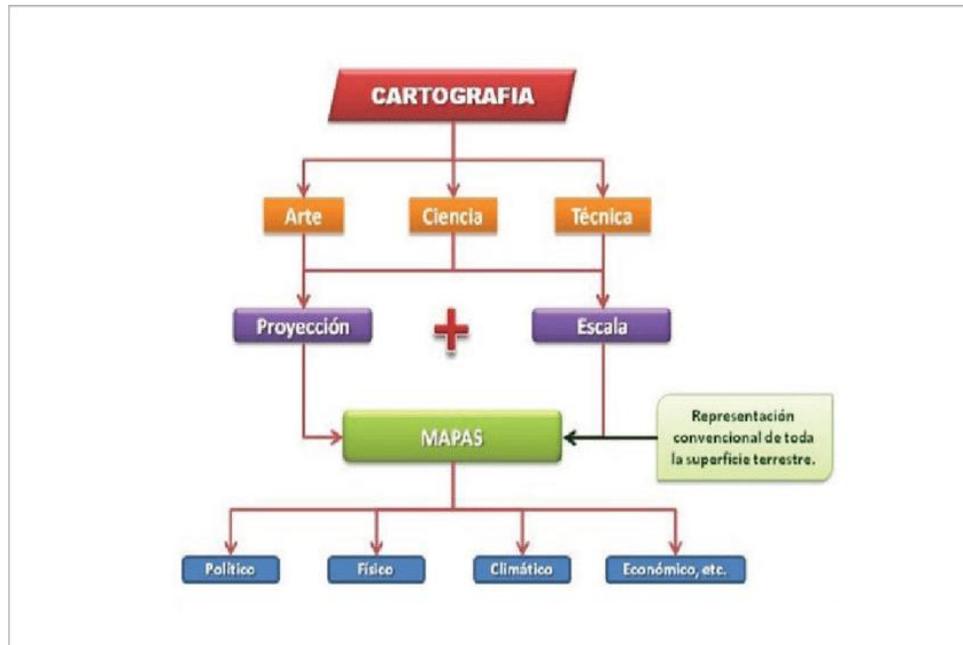


Figura 7 – Diagrama de cartografía geológica. Fuente: (Asociación Cartográfica Internacional , 1995).

El proceso de confección de un mapa geológico tradicional, de acuerdo con lo publicado por el SEGEMAR (Servicio Geológico Minero de Argentina) en Selles, J., (2014), en una carta Geológica se presenta, sobre una base planimétrica- altimétrica (mapa topográfico), los diferentes tipos de rocas que afloran en una región determinada. Las rocas se agrupan en unidades geológicas y se estudian las relaciones espaciales y temporales que guardan entre ellas, así como las modificaciones que han sufrido en los diferentes tiempos o eras geológicas.

Para la realización de una carta geológica, se recopilan y evalúan los antecedentes o trabajos geológicos previos.

Para realizar mapas geológicos los mapas se obtienen directamente sobre terreno y se elaboran estudios para la caracterización litológica, petrográfica, estructural de los materiales, entre otras y se incorporan datos obtenidos de técnicas sísmicas o geofísicas. (Asociación Cartográfica Internacional , 1995).

#### 2.1.6.1 Caracterización de la Cartografía.

- Representación de las condiciones del terreno.
- Representación Geométrica plana (sistema de Proyección).
- Representación simplificada.
- Representación convencional.
- Escala.

La cartografía Geológica Promueve la búsqueda creativa de soluciones a los problemas que impone la necesidad de representar la geología de una región.

Sirve de soporte a estudios multidisciplinarios de la geología y obras civiles cuyos objetivos principales son desarrollar un modelo que permita edificar, de acuerdo al ambiente geológico-sísmico mejorando así la calidad de vida de los ciudadanos en general.

#### 2.1.7 Vulcanología.

La vulcanología es una subdisciplina de la Geología, una ciencia que estudia la composición y la estructura interna de la Tierra y los procesos a través de los cuales ha ido evolucionando a lo largo del tiempo geológico, y por ende el conocimiento geológico forma base no solamente para el estudio del vulcanismo a lo largo del tiempo geológico, sino también constituye la base fundamental para entender el carácter de los peligros geológicos de cualquier región. (Universidad Veracruzana, 2009).

##### 2.1.7.1 Tipos de erupciones.

Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases y cristales. Este material puede ser arrojado con distintos grados de violencia, dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua. (INGEMMET, s.f.) Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos

en solución, formando burbujas en su interior, bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales: Si los gases del magma se liberan sin alterar la presión del medio, el magma puede salir a la superficie sin explotar. En este caso se produce una erupción efusiva. Si el magma acumula más presión, sin liberar los gases, entonces las burbujas crecen en su interior y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

La roca fundida emitida por un volcán se llama lava. La lava recién emitida puede tener temperaturas entre 700 y 1200° C, esto va depender de su composición química. Los fragmentos emitidos por una erupción, se denominan piroclastos; se les denomina ceniza cuando tienen menos de 2 mm de diámetro, lapilli cuando sus dimensiones están entre 2 y 64 mm, finalmente si poseen más de 64 mm se denominan bloques o bombas. (INGEMMET, s.f.).

#### 2.1.7.2 Erupción tipo estromboliana.

Este tipo de erupciones corresponden a pequeñas explosiones. En este tipo de erupción la columna eruptiva alcanza alturas que varían entre 1 a 15 km. Se caracterizan por tener explosiones rítmicas, separadas por periodos de menos de un segundo hasta varias horas. Los materiales emitidos poseen composición básica y están conformados por escoria, bombas y pocas cantidades de ceniza. Durante las erupciones se forman conos de escoria y ceniza de poca altura, en promedio entre 100 y 200 metros de alto. (INGEMMET, s.f.).

#### 2.1.7.3 Flujos piroclásticos.

El término flujo piroclástico se refiere, en forma genérica, a todo tipo de flujo compuesto por fragmentos incandescentes. Éstos son una mezcla de partículas sólidas o fundidas y gases a alta temperatura que puede comportarse como líquido de gran movilidad y poder destructivo. A ciertos tipos de flujos piroclásticos se les denomina nubes ardientes. Estos flujos comúnmente se clasifican por la naturaleza de su origen y las características de los depósitos que se forman, cuando el material volcánico flotante en los gases calientes se precipita al suelo. El aspecto de los

flujos piroclásticos activos (es aquél que se produce durante una erupción, y flujo, sin calificativo, sólo se refiere al depósito) es por demás impresionante. (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

El poder destructivo de los flujos piroclásticos depende también de sus volúmenes y de sus alcances. El primer factor está controlado por el tipo de erupción que los produce, y el segundo principalmente por la topografía del terreno. En términos generales, se pueden distinguir tres tipos de flujos de acuerdo al tipo de erupción que los produce (Wierms y McBirney, 1979), estos son: flujos relacionados con domos o con desmoronamientos de los frentes de lava; flujos producidos directamente en cráteres de cumbre, y flujos descargados desde fisuras (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

#### 2.1.8 Petrografía definición.

La Petrografía es un campo de la petrología que se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas mediante la observación microscópica de secciones o láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio, en un microscopio petrográfico, clasificándolas según su textura y composición mineralógica. Este tipo de análisis revela una serie de características y/o propiedades evaluables en los cristales y la relación que existen entre ellos, lo que va a ayudar a determinar la composición de la roca centrándose principalmente en la naturaleza y origen de la misma. (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

Del gran conjunto de minerales conocidos en la naturaleza sólo un grupo reducido de unos cincuenta, denominados petrogénicos o petrográficos, desempeñan un papel fundamental en la formación de las rocas; los principales son: silicatos – componentes más importantes–, carbonatos, sulfatos, sulfuros, cloruros, fosfatos, óxidos e hidróxidos. (GeologiaWeb, 2016).

#### 2.1.8.1 Estudio Petrográfico.

Un estudio petrográfico requiere, en primer lugar, del examen físico de la roca (descripción macroscópica) que nos brinde información sobre el aspecto, textura, color, dureza, tamaño de grano o granularidad de la roca. Cuando los constituyentes son tan pequeños que no son apreciados a simple vista se dice que la roca presenta textura afanita o afanítica, y cuando los cristales sí pueden ser apreciables a simple vista o con lupa se le denomina fanerítica.

Después de las observaciones macroscópicas se realiza una descripción microscópica. Una descripción microscópica consiste en determinar la composición mineralógica y los rasgos texturales, con lo que es posible obtener mucha información de donde se originó la roca; también se determina la forma y color de los cristales, tipo u origen de cada mineral (primarios o secundarios), la textura, la relación mutua entre los minerales y/o asociaciones minerales, así como la matriz o cementante en caso de que esté presente. Cada tipo de roca tiene características microscópicas específicas muy importantes en una clasificación. Cabe señalar que ambos análisis en conjunto (macroscópico y microscópico) brindan los parámetros necesarios para describir y clasificar acertadamente una roca. (Geoxnet, 2011).

#### 2.1.8.2 Petrografía de Rocas ígneas.

Se apoya en su textura. Las texturas de las rocas ígneas dependen de las condiciones de su origen. Algunas están compuestas totalmente por cristales (holocristalinas), otras por vidrio (holohialinas), otras contienen vidrio y cristales (hipocristalinas), y otras de cristales incipientes extremadamente pequeños (microlitos), cuando la mayoría de los minerales de una roca son aproximadamente equidimensionales o iguales la textura será granular. Toda esta gran variedad de rasgos texturales determina el origen, por ejemplo: muchas de las rocas holocristalinas de grano medio a grueso son intrusivas y muchas vítreas y afanitas son volcánicas. Las rocas piroclásticas –cenizas y tobas– pueden distinguirse porque presentan una textura, también llamada piroclástica, donde se distinguen

vidrios, cristales y fragmentos de roca principalmente. (Servicio Geológico Mexicano, 2011).

## 2.2 Marco Geotectónico De América Central.

América central se encuentra localizada entre las placas de Norte América y Sur América, situada en el margen occidental de la placa Caribe. (Dengo, G. Case, J. 1990). Desde el punto de vista geológico estructural, presenta dos partes, una Septentrional y una Meridional. (Dengo, 1969).

Así mismo, está ubicada en un margen convergente continental, muy activo en donde la Placa de Cocos subduce a la Placa Caribe y cuyos márgenes son complejos cinturones tectónicos activos que han estado evolucionando a lo largo del Cenozoico (Dengo, D. y Case, J., 1990). La dirección de subducción de estas dos placas es de N31°E, a una velocidad de 8 a 9 cm por año, con un ángulo aproximado de 80°, decreciendo hacia la parte Sur de Nicaragua hasta alcanzar los 60° en Costa Rica (Frischbutter, 2002) (ver figura 8).

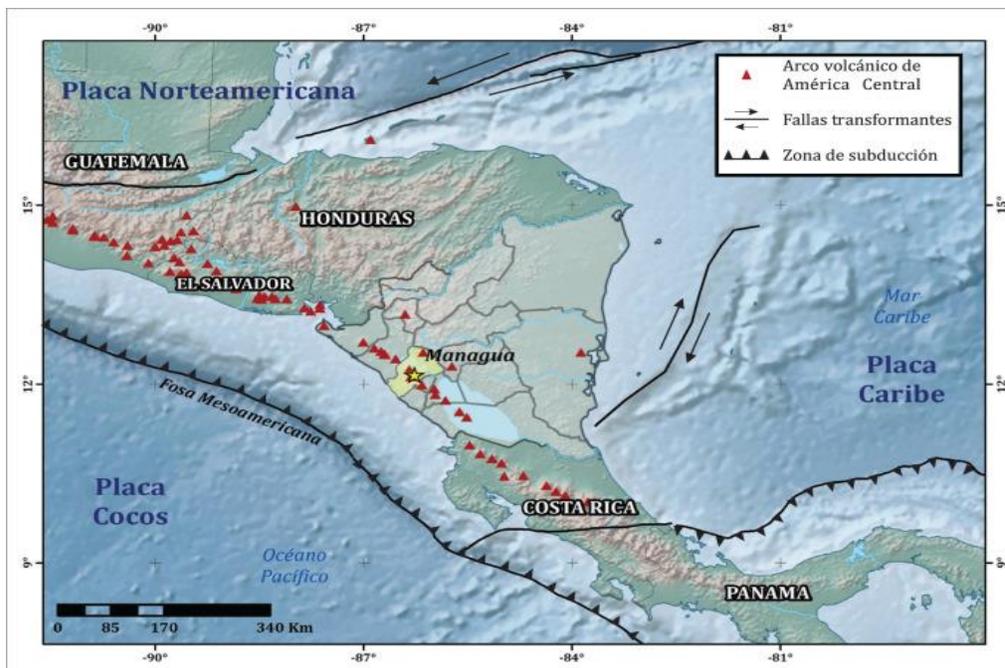


Figura 8. Marco geotectónico de Centro América, basado en de Mets (2001), Horlow y White (1985) y Guzman-Speziale (2001).

### 2.2.1 Tectónica De Nicaragua.

Nicaragua, al igual que el resto de América Central, se ubica en el margen oeste de la Placa del Caribe (corteza continental) la cual se encuentra en contacto con la Placa de Cocos (corteza oceánica) en un proceso tectónico de subducción. (Frez & Gámez 2008). La Fosa Mesoamericana marca el contacto entre estas placas. Como consecuencia de esta subducción se origina la Depresión de Nicaragua, definida por una zona alargada y paralela a la Fosa Mesoamericana.

Según algunos autores esta Depresión empezó a formarse a finales del Cenozoico, producto de los esfuerzos de tensión local que actúan en la cresta de un geoanticlinal, esta es una gran estructura que se extiende a lo largo de toda la extensión de la Costa del Pacífico de Nicaragua tiene de 45 a 50 km de ancho, como consecuencia de la compresión regional que existe sobre la Fosa Mesoamericana.

Los movimientos de subsidencias de la formación de la depresión han continuado hasta el presente. (McBirney & Williams, 1965; Dengo, 1969). La tasa de subsidencia es de 1.3 mm/año (Hodgson, 1998).

A finales del Plioceno, en el extremo Noroeste de la depresión de nicaragüense inicia el vulcanismo que dio origen a la cadena volcánica de América Central, en Nicaragua se extiende desde volcán Cosigüina en el Norte, hasta el volcán Maderas en el Sur. (Molnar, & Sykes, 1969).

### 2.2.2 Geología De Nicaragua.

La geología de Nicaragua comenzó durante la era paleozoica y culminó con la intensa actividad volcánica del Cuaternario. Tomando en cuenta lo antes mencionado (McBirney & Williams, (1965) y (Hodgson, 1976) dividieron a Nicaragua en cinco provincias geológicas, descritas a continuación: Provincia del Pacifico, Provincia del Norte, Provincia Central, Provincia de los llanos de la Costa Atlántica, nuestra área de estudio se encuentra en la Provincia de la depresión de Nicaragua. (Ver figura 9).

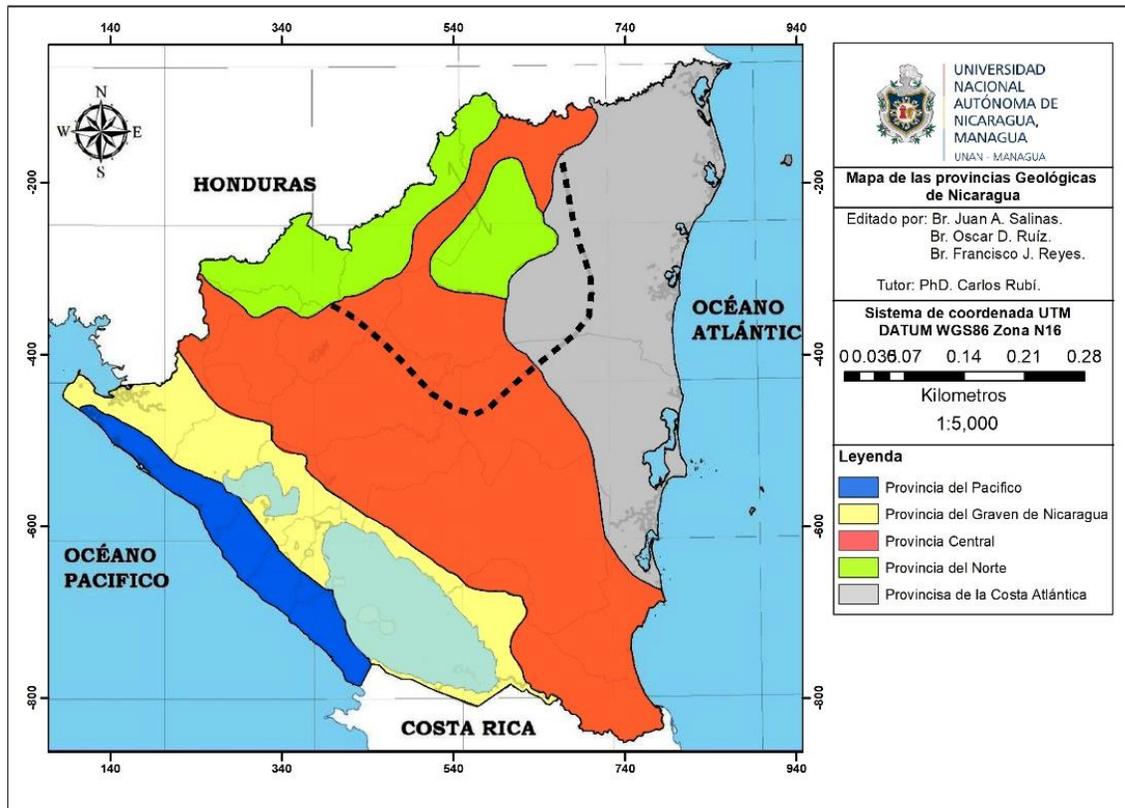


Figura 9. Mapa de provincias geológicas de Nicaragua. (Hodgson, 1998).

La Provincia de la Depresión o graben de Nicaragua: Se formó durante el Mioceno-Plioceno después de las erupciones Ignimbríticas del Mioceno Inferior y está compuesta principalmente por rocas del tipo volcánico de edad Cuaternaria (Mc Birney and Williams, 1968). El origen de esta depresión se atribuye a esfuerzos tensionales causados por la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, dando lugar a la formación de la Cadena Volcánica activa del Cuaternario (Kuang, 1971 y Weinberg, R. 1990). Esta provincia se extiende desde el Golfo de Fonseca hasta el extremo sureste de Nicaragua, con aproximadamente 70 Km de ancho y 300 Km de longitud y con dirección Noroeste- Sureste.

### 2.2.3 Vulcanismo Cuaternario De Nicaragua.

La cadena volcánica de los Maribios se encuentra dentro del graben de Nicaragua (Ver Mapa 5) paralela al rumbo de la fosa Mesoamericana y al margen del Pacífico.

Dentro de Nicaragua esta desplazada por una estructura transversal con una dirección NE-SW (alineamiento punta Huete intercepta la cordillera) y cerca de Managua el lineamiento está conformada por dos segmentos; el del NW de rumbo N56°W y el del SE de rumbo N49°W. Otras dos estructuras transversales lo limitan, en el Norte de Honduras y en el Sur con la frontera de Costa Rica (Hodson, Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua, 2000) (ver figura 10).

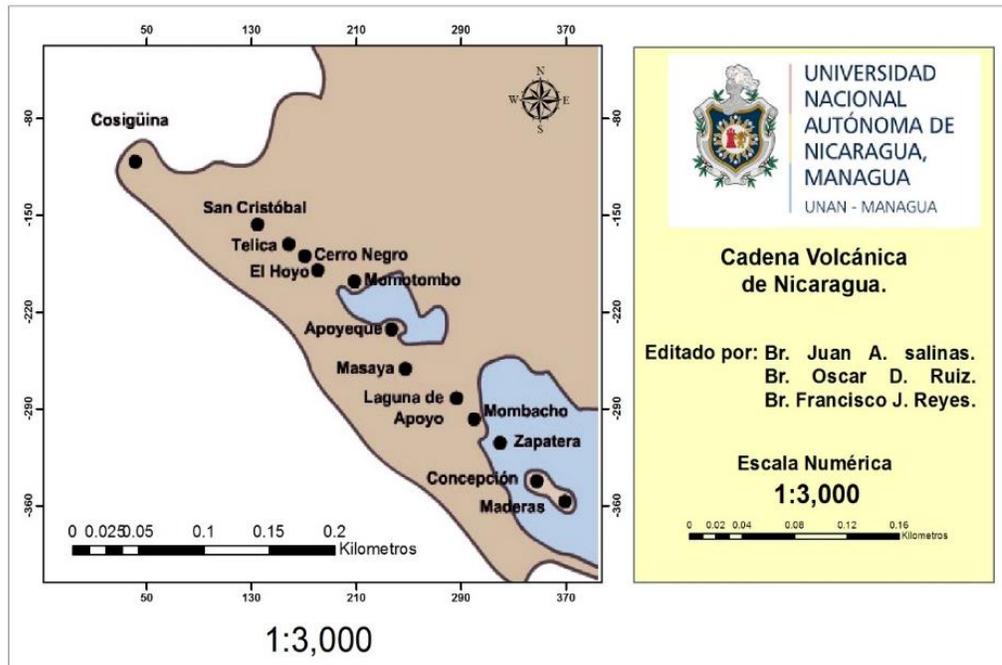


Figura 10: Mapa editado de la Cadena volcánica de Nicaragua.

Stoiber fue el que señaló en 1973 las fracturas del rumbo NE-SW en la zona de subducción, posteriormente fueron interpretadas como fisuras. Como la cadena volcánica se encuentra alineada directamente encima de esta zona, fue desplazada a lo largo de la fisura de ese sector.

Krushensky 1974 señala que el alineamiento punta Huete representa la expresión superficial de una de esta fisura, el cual está intersectado por la línea de falla Nejapa al W de Managua, pero hacia la fosa Mesoamericana (refleja que la Cordillera volcánica está desplazada por la falla Punta Huete y no por el alineamiento Nejapa) (Hodgson, 1978).

La cordillera es la zona de concentración de la mayoría de los volcanes activos de Nicaragua, pero aparentemente no se ha detectado fallas activas a lo largo del alineamiento, pero como se ha señalado arriba su relación con la zona de subducción, y a los numerosos volcanes activos, debe representar una estructura mayor de debilidad estructural de la corteza (Hodgson, 1978).

#### 2.2.4 Volcán Momotombo.

El macizo volcánico de Momotombo se ubica en el sector central de la Depresión Nicaragüense, y constituye la extremidad SE de la Cordillera de los Marrabios. El cono del Volcán Momotombo creció sobre formaciones lávicas más antiguas, que afloran principalmente en los relieves de la Loma La Guatusa, ubicados inmediatamente al SE y al E del volcán Momotombo, y parcialmente sobre el edificio volcánico de la Caldera de Galán que se encuentra en la base de su ladera NO del volcán. Alrededor del volcán, ya sea en la zona al N como en la región al SO de este, aflora ampliamente una formación de tobas y pómez generalmente conocida como Escudo Ignimbrítico de Malpaisillo (van Wyk de Vries, 1993).

En base a los datos de geología del subsuelo en el campo geotérmico de Momotombo, este se extiende por debajo de las lavas de la Loma a Guatusa, por lo tanto, representa la formación más antigua aflorante en la zona. (Comision Nacional de Energia, 2001).

El Volcán Momotombo (cuyo significado es 'gran cumbre hirviente') por el permanente penacho de "humo", o gases volcánicos que se desprenden de su cúspide, es un volcán nicaragüense situado en el departamento de León, cerca del pueblo de Puerto Momotombo, tras la ribera del lago Xolotlán, es un volcán relativamente joven con apenas unos 4 500 años. Se puede decir que es el volcán más impresionante del territorio nicaragüense, debido a su estructura y forma de un cono perfecto que se alza a 1 300 metros de altura sobre el nivel del mar. (EcuRed, 2018).

En la base del volcán se encuentra rodeado por espesos bosques que han sido declarados reserva natural; sin embargo, la parte superior del cono-arriba de los

700 metros, es una empinada ladera de arenas rojizas calcinadas que mantienen la cumbre desprovista de vegetación. Durante una erupción, el 11 de enero de 1610 causó la destrucción del poblado español fundado por Francisco Hernández de Córdoba, cuyas ruinas quedan en León Viejo, antiguo asentamiento de la actual ciudad de León. (EcuRed, 2018).

Las erupciones del Momotombo son tardías, en la última, ocurrida en 2016 pero antes de esa fue en 1905, emitió una abundante colada de laa que descendió por la ladera opuesta al lago, la cual todavía es visible. Desde entonces, un penacho de gases corona su aguda cumbre. A sus pies se encuentra la Planta Geotérmica, donde se aprovechan los vapores para generar energía termoeléctrica. La planta sólo puede ser visitada con permiso especial de las autoridades. (EcuRed, 2018).

Este Volcán tiene un Aprovechamiento geotérmico, el vapor es aprovechado para la generación de energía eléctrica mediante las instalaciones de la Planta Geotérmica "Momotombo". El campo geotérmico Momotombo posee una planta compuesta por dos turbinas de vapor de 35 MW cada una; sin embargo, debido a la insuficiente cantidad de vapor actualmente sólo está en funcionamiento una turbina. Se espera que en años posteriores se incremente la generación de energía en la planta. (Comision Nacional de Energia, 2001) (Ver figura 11.)



*Figura 11. Fotografía desde Puerto Momotombo Fuente: Propia.*

## **2.3 HIPÓTESIS**

La actualización cartográfica Geológica aportará nueva información de los procesos y cambios Geodinámicos que ha sufrido la corteza terrestre a través del tiempo. Las estructuras Geológicas que afloran en el sitio de estudio son los complejos volcánicos, antiguas calderas, conos cinéuticos, conos de escorias y cerros, están relacionados directamente con la actividad tectónica que ocurre a lo largo de la Depresión de Nicaragua.

Con nuestro estudio pretendemos caracterizar los fenómenos volcánicos que dieron origen a los diferentes depósitos litológicos y definir estructuras geológicas regionales y locales relacionadas al vulcanismo en la zona de estudio.

## **Capítulo III**

### **3.1 DISEÑO METODOLGICO.**

El presente trabajo constó de tres etapas muy importantes, las cuales se dividieron en una serie de pasos que nos ayudaron a desarrollar el trabajo con éxito. Las tres etapas son las siguientes:

#### **3.2 Tipo De Estudio.**

El enfoque utilizado del presente estudio es de carácter cualitativo y cuantitativo: cuantitativo porque en el siguiente estudio se presentarán funciones numéricas que ayudarán a cuantificar diferentes estructuras como, por ejemplo: fallas, fracturas, tipos de roca, etc. Y cualitativo porque se utilizarán métodos y técnicas cualitativas de recolección de datos.

Por otra parte, el tipo de estudio es descriptivo porque se describirán la caracterización estructural de la zona, las unidades geomorfológicas y litológicas.

#### **3.3 Área De Estudio.**

El área de estudio está ubicada en la zona SW del complejo volcánico Momotombo y consta 56 km<sup>2</sup>. Se encuentra situada en el municipio de la Paz Centro con coordenadas geográficas 12200 N, 86410 W y con hoja topográfica No. 2853-II La Paz Centro-León; el cual tiene sus límites definidos que corresponden al norte con el municipio Malpaisillo o Larreynaga, al sur con el municipio de Nagarote, al este con el Lago Xolotlán y el municipio de el Jicaral y al oeste con el municipio de León, la cabecera municipal está ubicada a 56 km de la ciudad de Managua capital de la Republica de Nicaragua.

### **3.4 Universo y Muestra.**

El universo del área de investigación consta 56 km<sup>2</sup> que comprende la comunidad de puerto Momotombo y sus alrededores. La muestra de la investigación consistió en el estudio de las estructuras (fallas, fracturas, unidades litológicas, unidades geomorfológicas, entre otras.) que se encontraron en el campo de estudio.

### 3.5 Operacionalización De Variables.

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECIFICO.	VARIABLES CONCEPTUALES.	SUB VARIABLES	VARIABLES OPERATIVAS INDICADOR.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN.					
					Recolección de datos en campo.	Etapa de exploración de campo.	Elaboración de diagramas estructurales	laboratorio Petrográfico.	Análisis documental (fotografías aéreas, ortofotomapas, mapas topográficos y geológicos, DEM).	
Actualizar la cartografía geológica del sector Oeste de la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores en una escala semidetallada 1:40,000.	Determinar las unidades litológicas para elaboración de la columna estratigráfica del área de estudio.	Unidades litológicas.	Espesor y textura.	Tipos de rocas.		•	•		•	
	•Definir las unidades geomorfológicas en la zona de estudio.	Unidades geomorfológicas	Factores geográficos y antrópicos.	Ambientes geológicos.		•			•	
	Realizar caracterización estructural en la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores.	Estructuras Geológica.	Fallas.	Lineamientos y geomorfías.	•	•			•	
	•Efectuar un análisis petrográfico para la caracterización de las unidades litológicas en el sitio de estudio.	Secciones delgas para estudio petrográfico.	Tipos de rocas.	Tipos de rocas Tipos de litología.	•	•		•	•	
						•			•	

### **3.6 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

La etapa de trabajo de gabinete consistió en dos pasos fundamentales como lo son: la recolección de información, y dos la elaboración del mapa base para la preparación de la segunda etapa del estudio como lo es la etapa de campo.

Recolección de datos: la recolección de datos es uno de los pasos fundamentales en el estudio realizado debido de que a partir de la recolección y revisión de los datos o estudios antecedentes son la base de la investigación que se llevó acabo como es la actualización de la cartografía geológica de 56 km<sup>2</sup> en la zona de la comunidad de puerto Momotombo y sus alrededores.

En este paso se estudió de la geología en general y su comportamiento, así mismo la revisión de la diferente bibliografía que nos ayudó a comprender mejor las estructuras que se encontraron en campo.

Elaboración del mapa base: este paso es uno de los más fundamentales debido a que la elaboración de este mapa a escala 1.40.000, funciono como una referencia principal y general del área, para esta actualización cartográfica a semi detalle.

La elaboración del mapa base partió de los mismos antecedentes de los estudios ya practicados en la zona y sus alrededores, al igual se utilizaron imágenes satelitales obtenidas de la página de la USGS, así también se utilizó el modelo de elevación digital (DEM) de Nicaragua de una altura de 30 metros, también se auxilió de otras herramientas como son los softwares Global Mapper, Arc gis y Auto CAD.

### 3.6.1 Trabajo De Campo.

En esta etapa se comprobó toda la información recopilada en el trabajo de gabinete y recolección de datos en los diferentes trabajos realizados en la zona o en sus alrededores.

El trabajo de campo está enfocado en los siguientes objetivos:

1. Corroboración de la información recopilada.
2. Reconocimiento de campo.
3. Realización de muestreo.
4. Levantamientos geológicos.
5. Reconocimientos de estructuras en campo (fallamiento, estructuras geomorfológicas, etc.).
6. Estudio de cortes en campo.
7. Determinar tipo de litología y unidades geomorfológicas.
8. Practicar muestreos para estudios petrográficos.

Cabe destacar que la fase del trabajo de campo se realizó en diez visitas de campo a la zona estudio, los cuales fueron seccionados por sectores, llevando un orden cronológico que nos auxilió en la obtención de datos para el procesamiento de manera ordenada y exitosa.

### **3.7 Etapa De Procesamiento E Interpretación De Datos.**

Esta es una de las etapas más significativa debido que es en esta fase se procesaron todos los datos que se obtuvieron a partir del trabajo de campo realizado.

En el procesamiento de datos se efectuaron los análisis de las muestras obtenidas en campo, esto en cuanto a nivel macroscópico y microscópico, al igual que se examinaron las fracturas encontradas en campo y se analizaron con ayuda del diagrama de rosas para determinar los esfuerzos ejercidos sobre el terreno.

## **Capítulo IV**

### **4.1 Análisis y discusión de resultados.**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de los análisis realizados en la exploración de campo, las características geológicas y estructurales del área del estudio se definieron en base a la interpretación de fotografía aéreas, análisis de mapas topográficos, modelo de elevación (DEM) e imágenes satelitales lo que ayudo a la actualización del mapa geológico con escala 1:40,000 determinando la litología y patrones estructural en el sitio de interés.

#### 4.1.1 Geología local.

Los rasgos geológicos del área de estudio han sido resultado de la constante actividad volcánica del complejo volcánico Momotombo y de las antiguas estructuras volcánicas, De acuerdo a la cartografía realizada se lograron determinar tres unidades litológicas las cuales son: depósitos aluviales, materiales volcánicos indiferenciados y lavas con piroclasto indiferenciados. A continuación, se describirán las unidades litológicas encontradas, de la más antigua a la más joven:

- Unidad I: Flujos piroclásticos.
- Unidad II: Material volcánico de caída.
- Unidad III: Depósitos aluviales.

##### 4.1.1.1 Unidades litológicas.

##### 4.1.1.2 Unidad I: flujos piroclásticos.

Los flujos piroclásticos se refieren, a todo tipo de materiales compuestos por fragmentos incandescentes. Éstos son una mezcla de partículas sólidas o fundidas y gases a alta temperatura que puede comportarse como líquido de gran movilidad y poder destructivo, cubriendo grandes extensiones de terreno.

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

Esta unidad se originó durante la prolongada actividad volcánica del cuaternario. Específicamente se deducen que estos flujos fueron originados por las antiguas calderas que corresponden a los nombres de: San Pancho (Laguna seca) la Hoyada y las Mercedes, estos flujos piroclásticos se encuentran desplazadas sobre la superficie de forma masiva y cubren aproximadamente el 60% del área de estudio, siendo esta la unidad litológica más representativa, este material presenta una composición andesítica-basáltica. (Ver Foto 1 y anexo 12)



*Foto 1. Flujos Piroclásticos correspondientes a la caldera Mercedes expuesto sobre la carretera con coordenadas UTM 538272 E, 1371389 N fuente: (propia).*

Dentro de los materiales de flujos piroclásticos encontramos ceniza soldada con un grado alto de compactación denominada toba, de color grisáceo y de composición andesítica, presenta textura piroclástica, estos se forman a partir de la consolidación de ceniza, lapilli, gotas fundidas, bloques angulares arrancados del edificio volcánico etc. (Ver foto 2)

Una condición importante para la aparición de la toba, es que ocurran erupciones violentas, en este caso hacemos énfasis que las estructuras volcánicas circundantes en el área de estudio, se caracterizan por haber sufrido explosiones violentas y colapso de su estructura, cuando estas erupciones se producen, el polvo, las partículas, las cenizas volcánicas y el magma se asientan en la superficie

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

terrestre y se van acumulando, luego sufren un proceso de enfriamiento rápido lo que causa que no se pueda dar el proceso de cristalización por eso este material no tiene una estructura cristalina.



*Foto 2. Toba, Muestra de mano extraída en corte expuesto sobre la carretera con Coordenadas UTM 136857 E, 1366087 N.*

Toba Pertenece al segundo corte descrito (*ver foto 3*) donde se logra observar la textura piroclástica de grano fino. Este material pertenece a la caldera laguna seca que se caracteriza por presentar fragmentos selectos. Además, se encontró un paquete de flujos piroclásticos expuestos sobre un camino hacia la comunidad las palmas en donde la diferencia de altura era notoria y se logra observar una diferencia en la disposición de los materiales. (*Ver Foto 4*).

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.



Foto 3. Flujos Piroclásticos con intercalaciones de ceniza con nivel de compactación alta (Toba), tefra, suelo fósil y pómez. Ubicado en las Coordenadas UTM 136857 E, 1366087 N.9.



Foto 4. Flujo piroclástico compuesto por suelo holoceno, seguido de un flujo de pómez con matriz de ceniza, intercalación de suelo tobaceo con pómez y por último arena de grano fino. Con coordenadas UTM 535998 E, 1369682 N. (Descrito de forma descendente).

Cabe destacar que esta unidad está siendo afectada por materiales de caídas donde se logra observar en los cortes expuestos un factor que nos indica que existió una relativa calma de los eventos volcánicos, que separa una unidad de la otra específicamente el suelo fósil está en medio del depósito de Tefra y el depósito de pómez.

#### 4.1.1.3 Unidad 2 Material piroclásticos de caída.

Durante la etapa del mapeo geológico se lograron identificar zonas de depósitos piroclásticos de caída, que se asentaron luego de los flujos piroclásticos que fue expulsado de forma explosiva, formando columnas de 8 hasta 16 m de altura, de igual forma se lograron encontrar Depósitos de escorias que forman conos de escoria cuyo origen podría estar relacionado a las actividades volcánicas correspondientes a las antiguas calderas, en este caso el material encontrado se asocia a la caldera Las Mercedes, con coordenadas UTM 536470 E, 1370815 N. Debido a eso esta Unidad fue subdividida en Depósitos de Escoria y Depósitos de pómez.

##### **Depósito de Escoria.**

Se localiza en el costado SW de la caldera Las Mercedes. Esta unidad cubre un área de 5 km de longitud aproximadamente. Presenta una altura de 10 m básicamente consiste en un cono de escoria de composición básica que está conformado por fragmentos semi redondeados y angulosos de escoria, además de fragmentos de rocas andesíticas, este pequeño depósito de escorias esta intercalado con arena de grano muy fino (*Ver foto 5*).

Una escoria volcánica se forma a partir de un magma fluido, un magma rico en ferromagnesiano y pobre en sílice (la sílice tiene una gran importancia en la viscosidad, cuanto más hay sílice el magma es viscoso, o magma ácido), esta composición química del magma induce el color de la roca por ende el color oscuro que presenta el material nos indica que proviene de un magma básico.

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*



*Foto 5. Depósito de escorias con intercalaciones arena de grano muy fino, con una altura aproximada de 3.10m. Ubicada en las cercanías de la caldera Las Mercedes con coordenadas UTM 536470 E, 1370815 N.*

De manera más detallada se observan los fragmentos de arena con granos finos de color oscuro y escorias con formas sub angulosas de color oscuro, esto debido a que su origen es de un magma con una composición básica.

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

### **Depósito de Pómez.**

Esta unidad es el resultado del material expulsado durante las actividades eruptivas pasadas que han sido depositadas a lo largo de la mayor parte del área de estudio, siendo este un indicador principal de los eventos masivos en cuanto a materiales de caída, estos materiales han rellenado las diferentes estructuras volcánicas antiguas (Calderas) la pómez que se encontraron es de color claro y su tamaño no es homogéneo, depositadas de manera horizontal (*Ver Foto 6*).



*Foto 6. Depósito de Pómez con matriz de ceniza, con una altura de 5m aproximadamente, encontrada en el corte expuesto en la carretera, cerca de la caldera Las Mercedes. Con coordenadas UTM 538203 E, 1371362 N.*

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

De igual forma se observan estos depósitos expuestos sobre la carretera, ubicada en la parte SW de la caldera laguna seca, estos materiales posiblemente se encuentren asociados a esta antigua caldera, estos depósitos presentan tamaños que van de los 2 a 54 mm, formando capas con espesores de 1m hasta 5 metros de altura. (Ver Foto 7).



*Foto 7. Material compuesto por pómez con alternancia de ceniza fina, lapilli y toba seguido de una capa de pómez con un espesor de 2m. Con coordenadas UTM 536822 E, 1366100 N. (Descrita de forma ascendente).*

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

En esta unidad, también se encontró aglomerados en diferentes puntos, correspondientes a diferentes estructuras volcánicas (calderas), estos materiales posiblemente están asociadas a los eventos de las antiguas caldera que corresponden a las mercedes y caldera laguna seca, este material se solidifica casi siempre durante el recorrido aéreo, los fragmentos sólidos o piroclastos se aglomeran alrededor de la estructura geológica adquiriendo diferentes formas y tamaños, a continuación se mostrara la descripción de aglomerados encontrados en diferentes sitios, en donde se logra observar una cambio de tonalidad de oscuro a claro esto debido a la alteración de agentes atmosféricos. (Ver fotos 8, 9, 10,11).



*Foto 8. En el punto correspondiente a la antigua caldera Laguna seca, se encontró un aglomerado con matriz de ceniza fina y materiales de diferentes fragmentos y tamaño con coordenadas UTM 538364E, 1368131N.*

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*



*Foto 9.*



*Foto 10.*



*Foto 11.*

*Representación de los aglomerados encontrados en la cercanía del banco de material mencionado anteriormente con coordenadas UTM 536470 E, 1370815 N.*

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

#### 4.1.1.4 Unidad 3. Depósitos Aluviales y Fluviales.

Esta unidad se encuentra en su mayor parte al este y sur este del área de estudio cubriendo aproximadamente un 20% de la zona de interés, esta unidad se presenta como la unidad de menor extensión, originada por los procesos de meteorización, erosión y transporte, el material que ha sido producto de estos procesos es arrastrada de las partes más altas y depositados en las zonas más bajas, por la misma acción del viento y el agua. También cabe destacar que en la zona se encuentran afluentes secundarios que aportan al arrastre del material. (Ver foto 12,13, 14,15).



*Foto 12. Suelo aluvial de tipo limo arenoso en el rio La Sabaneta, con dirección 80° NE. ubicado en las coordenadas UTM 536663 E, 1371745.*

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

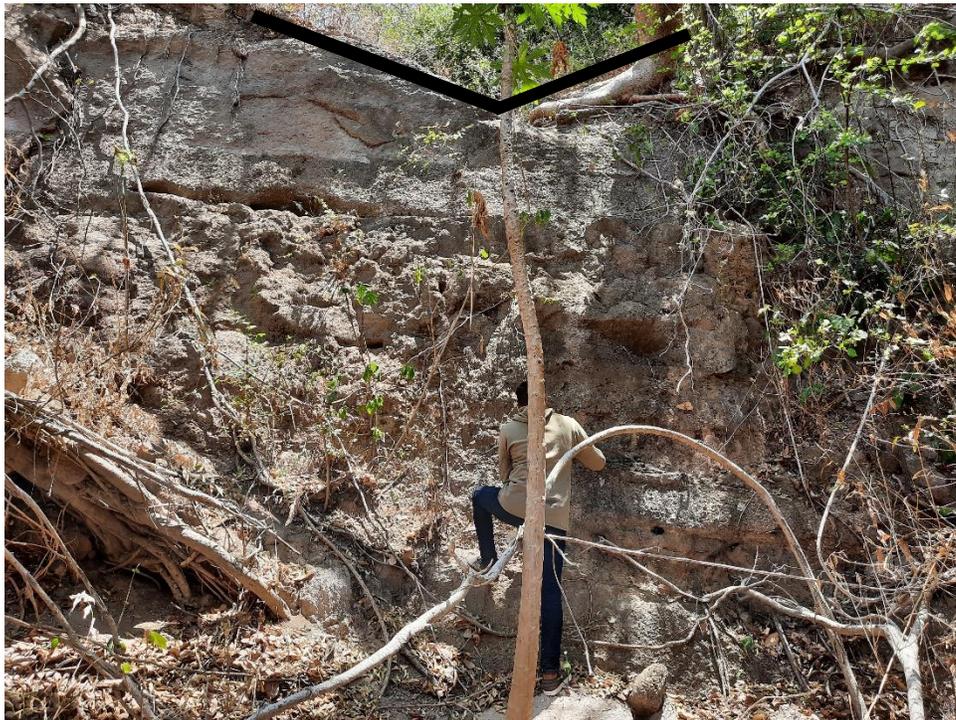


*Foto 13.*



*Foto 14.*

*En la parte superior de un punto de interés en las cercanías al lago Xolotlan se encontró una quebrada con suelo de tipo limo arenoso, con una profundidad de 4m aproximadamente con dirección N12° E, luego tiene un cambio de dirección y se proyecta a N 42° E, posiblemente este afectada por fallamiento local.*



*Foto 15. Parte baja de la quebrada (Pared donde corta).*



*Foto 16. Suelos tipo limo arcilloso, destacando que el suelo cambia drásticamente cuando se aleja de las costas del lago teniendo una transición de suelo arenoso a suelo arcilloso. Punto ubicado en las coordenadas UTM 538301 E, 1368890 N.*

#### 4.1.2 Geomorfología.

La geomorfología es una rama de la geología y la geografía que estudia las formas de la superficie terrestre y los procesos que los generan según (Lugo 1989) define el estudio de la geomorfología como el análisis que contribuye al conocimiento del relieve, a través de la cuantificación de elementos lineales, aréales y puntuales, esto con el fin de facilitar la interpretación de la génesis y la formación del relieve.

En el presente trabajo se han definido cuatro unidades geomorfológicas, que para poder definir las macroformas geomorfológicas, se realizaron diferentes mapas morfométricos con el fin de obtener los resultados que nos ayudaron a la delimitación de las unidades geomorfológicas, a continuación, se describió de manera expedita los mapas que se realizaron.

##### 4.1.2.1 Mapa de órdenes de corrientes.

Este mapa se elaboró con el fin de ver el comportamiento de los drenajes en las pendientes encontradas en el área de estudio, implementado el método de Stralher

en el software de Arcgis, para la delimitación y clasificación del orden de los drenajes.

A partir de la implementación del método ya mencionado y auxiliándose del software, se puede definir que el tipo de drenaje encontrado en campo es de tipo paralelo, este resultado está relacionado directamente a la baja permeabilidad de la roca y a las pendientes que van de altas a moderadas, contribuyendo a la formación de este tipo de drenaje en la zona.

En cuanto al orden de los afluentes de drenaje según el método de Stralher, se definen de primer y segundo orden teniendo como predominante los de primer orden, que se caracterizan como vínculos sin afluente esto se debe por la topografía del terreno y por la baja permeabilidad de los materiales que se encuentran en el terreno.

#### 4.2.2.2 Mapa de altitud.

Se realizó un mapa altimétrico de la zona, para definir el comportamiento de la topografía en el campo de estudio, y de esta manera poder representarla de manera sugestiva por medio de una paleta de colores, en el cual queden definidas de mejor forma que en un mapa topográfico o de curvas de nivel, todo esto a partir de las alturas máximas y mínimas que nos proporciona un modelo de elevación digital (DEM) de 12.5 m de altura.

Con el mapa altimétrico se obtuvo como resultado una mejor definición de la morfología del sitio de estudio, obteniendo alturas que varían desde los 50m hasta los 300m sobre el nivel del mar, esto ayudo a representar las macroformas que se encontraron en el área, de este modo se pudo concluir que la mayor parte del terreno se localiza en una zona de planicie, con alturas que van de los 50m a 100m. En cuanto a las elevaciones de 150m estas están asociados a conos cineríticos, pertenecientes a calderas antiguas, con respecto a las alturas que van de los 150m a los 250m se le denomino zona de cerros y colinas, también se encontró algunos

cerros como lo son cerro el coyotepe y cerro las montañas, estos muestran menos afluencia en la zona al igual que las elevaciones que van de los 250m a los 300m que únicamente se obtuvieron en un punto en el área de estudio.

#### 4.1.3 Unidades geomorfológicas.

Las unidades geomorfológicas que a continuación se describen, son el resultado del estudio de los diferentes mapas que se hicieron mención anteriormente, también de los diferentes métodos que se aplicaron como es la (fotogeología), siendo estas herramientas de gran ayuda para la definición de las siguientes unidades geomorfológicas.

- Unidad de calderas.
- Unidad de conos cineríticos.
- Unidades de cerros y colinas.
- Unidad de planicies.

##### 4.1.3.1 Unidad de calderas (Uc).

Esta unidad es una de las macroformaciones más impórtate dentro de la zona de trabajo, debido a que de ellas se derivan la mayor parte de los materiales volcánicos encontrado en la zona, esta unidad se encuentra conformada por un grupo de calderas denominadas con los nombres la laguna o San Pancho-laguna seca, caldera la Hoyada, las Mercedes, la chibola y el Rancho, cabe destacar que los nombres que se les designa a cada una de estas calderas son por las cercanías a puntos que se encuentran referenciados en el mapa topográfico y el mapa geológico.

Estas estructuras se encuentran fuertemente erosionadas debido a los agentes atmosféricos, procesos tectónicos y volcánicos, dichas calderas se encuentran ubicadas en las siguientes coordenadas: caldera san pancho ubicada al Oeste de la finca Santa Emilia con coordenadas UTM 537771E, 1367957N, Caldera La Hoyada ubicada al este de la comarca La Sabaneta con coordenadas UTM 537929E, 1369338N, caldera las mercedes ubicada al Noroeste del camino hacia

la finca El Rosario con coordenadas UTM 537128E, 1371028N, caldera la chibola se encuentra ubicada al norte de la finca La Chibola con coordenadas UTM 536651E, 1372497N, caldera El Rancho esta se encuentra ubicada Noroeste de la comunidad El Guacucal con coordenadas UTM 534142E,1371897N.

La composición de las paredes de estas calderas es de cenizas basálticas, pómez dacíticas y escorias acumuladas en bloques, algunos trabajos del servicio geológico checo hacen alusión que estas unidades de caldera se formaron por el colapso de los edificios volcánicos y explosiones, Las calderas, La Hoyada y San pancho presentan una pendiente en su topografía y en sus escarpe una leve inclinación que va de los 5° a 15° facilitando a que se cree pequeños drenajes de forma paralela de primer y segundo orden alimentando pequeñas lagunas durante el invierno.

#### 4.1.3.2 Unidad de conos cineríticos.

Esta unidad se le denomino unidad de conos cineríticos porque se asocia a las unidades caldericas que anteriormente se mencionaron. Estas estructuras se formaron a partir de las actividades volcánicas de estos edificios volcánicos antiguos. Conceptualmente, los conos cineríticos se forman a partir de la expulsión de materiales piroclásticos del conducto del cráter del volcán el cual se acumula en bloques alrededor de la estructura volcánica.

En el área de estudio se pudo comprobar que estos conos cineríticos están compuestos de piroclastos definidos como escorias, cenizas pomáceas y basálticas, en algunos casos se logran encontrar líticos de basalto y andesita, estos conos se pueden apreciar en otros trabajos realizados como lo es el caso de “EL MAPA DE LA CADENA VOLCANICA NICARAGUENSE” realizada por el Servicio Geológico Checo.

#### 4.1.3.3 Unidad de cerros y colinas.

Esta unidad hace referencia a las zonas de alturas medias y altas, las cuales están compuesta en su totalidad por flujos piroclásticos y algunos materiales de caída del vulcanismo más reciente, esta unidad es de las más representativa, debido a

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

que sus dimensiones cubren aproximadamente el 60% de la zona de estudio, cabe mencionar que estos flujos piroclásticos pertenecen a diferentes eventos volcánicos ocurrido en el cuaternario, sin embargo, se encuentra muy poca información sobre estos eventos que posiblemente estén asociados a los edificios volcánicos antiguos como son la caldera San Pancho, La Hoyada y Las Mercedes.

La morfología de esta unidad se encuentra directamente asociada a los flujos piroclásticos mencionado anteriormente, dentro de esta unidad predominan algunas estructuras como: cerros de pendientes suaves que se observan con facilidad en el mapa altimétrico. Cabe resaltar que debido a la construcción reciente de la carretera que va de la paz centro hacia Malpaisillo, algunos cortes han quedado expuestos donde se puede apreciar los materiales que componen estos lomeríos, siendo de gran ayuda para su descripción. (Ver foto 17 y 18).



*Foto 17 corte expuesto sobre la carretera, con una altura de 6m en su totalidad donde se pueden apreciar los materiales de flujos piroclásticos y materiales de caídas. Coordenada UTM 536857E, 1366087N. En la siguiente foto se observará de forma más detallada los materiales que componen el corte.*

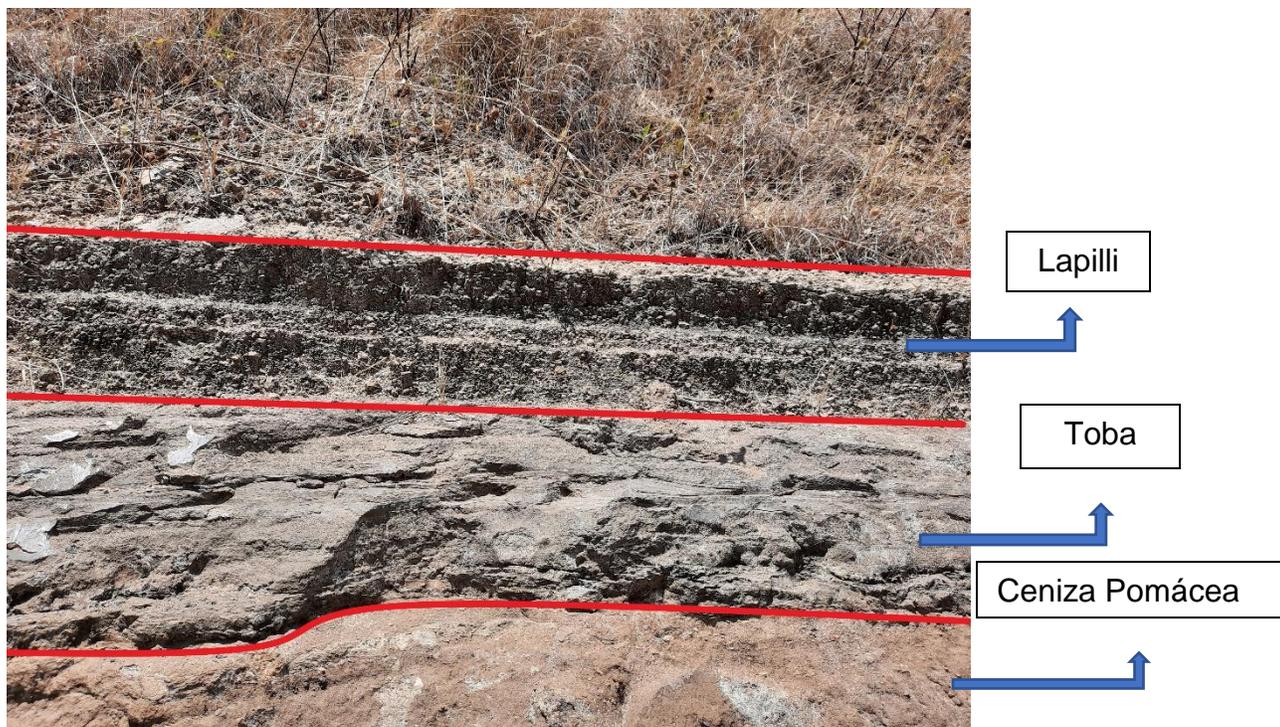


Foto 18. En la imagen se puede apreciar el flujo piroclástico, el cual se encuentra conformado por ceniza pomácea de color rosácea compacta, seguidas de un flujo cenizas suprayacente más compactas o soldadas, las cual las denominamos como tobas , seguida de una intercalación de lapilli, luego se aprecia una capa de suelo fósil, que nos indica un tiempo de calma, luego se aprecia un paquete de ceniza pomácea poco soldadas de color más clara debido a alto contenido de sílice, posiblemente este paquete sea depósitos de caída perteneciente a otro evento volcánico y por ultimo tenemos la capa de suelo Holoceno o residual.

#### 4.3.3.4 Unidad de planicies (UP).

La unidad de planicie en su mayor parte se encuentra al este y sur este del área de estudio cubriendo un 20% del área de estudio, la topografía de esta unidad se encuentra caracterizada por llanos con pendientes suaves. En cuanto a la topografía se presentan alturas relativamente bajas y planas que oscilan desde los 50 msnm hasta los 100 msnm (metros sobre el nivel del mar).

En cuanto a la litología que se presenta en esta unidad se definen dos tipos unidades litológicas según la geología local el cual son; unidad de flujos piroclásticos

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

(flujos de cenizas pomáceas y tobas) y unidad de material aluvial (suelos residuales, limos arcillosos y limos arenosos).

#### **4.1.4 Geología estructural.**

El análisis estructural tiene como objetivo reconocer las estructuras tectónicas de una determinada región, para poder realizar la caracterización estructural del área de estudio. Todo esto a través de criterios y factores determinantes que se pudieron encontrar en campo (fallamiento local, zonas de fracturas y algunos indicadores cinemáticos).

La zona de estudio se encuentra ubicada al SW del complejo volcánico Momotombo el cual se encuentra dentro del graben de Nicaragua, según diversos autores la depresión nicaragüense es considerada como un graben que está delimitado por una serie de fallas de tipo extensionales entre las que sobresale la falla Mateare, y varios sistemas de fallas recientes. *(Ver figura 12).*

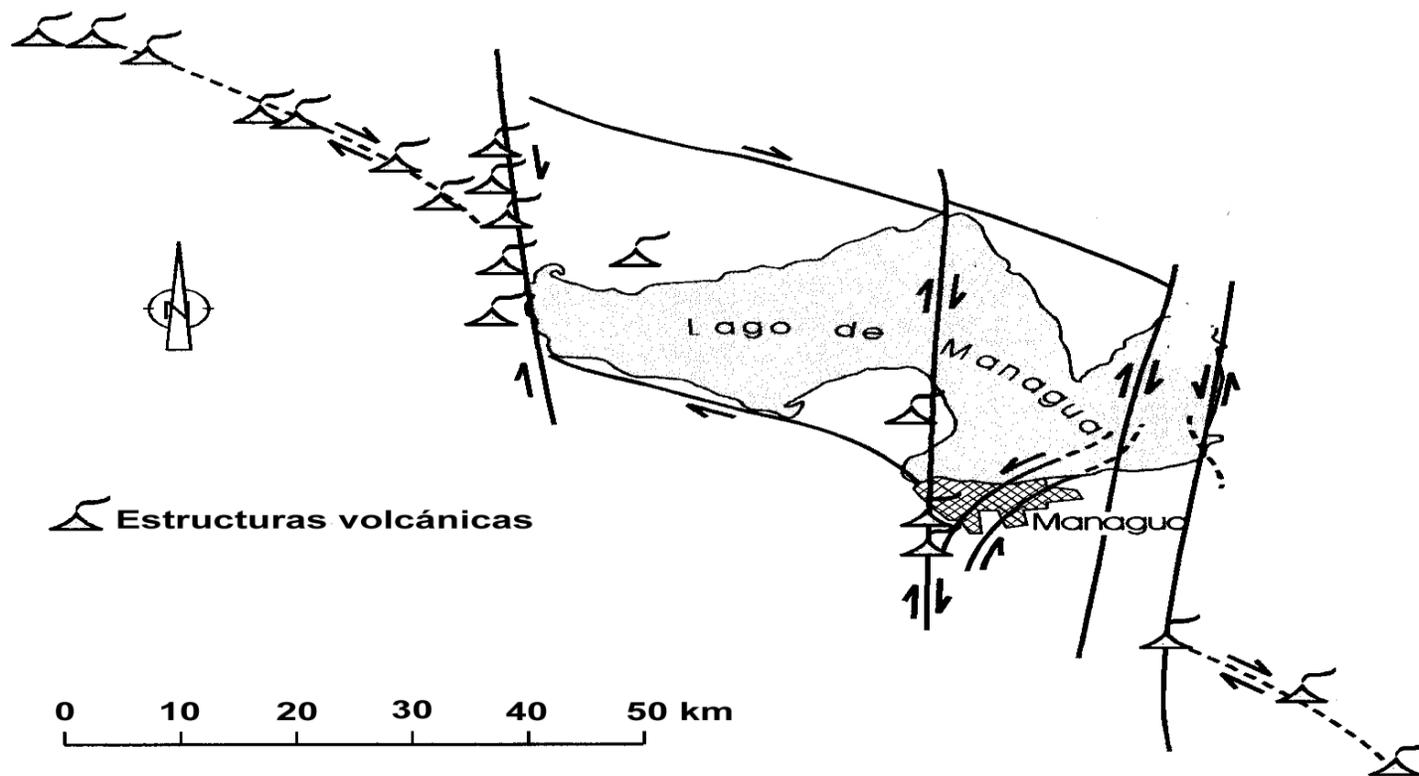


Figura 12. Sistema de fallas que modelan el graben. Fuente (Frischbutter 1998).

La ubicación en la que se encuentra zona de investigación es de ambiente volcánico se hace mención por lo importante que esto significa para el análisis estructural de campo, debido a que el vulcanismo reciente del cuaternario ha modificado el relieve topográfico con grandes extensiones de flujos piroclásticos y material de caída en toda el área de estudio, generando perdida por la sepultación de evidencia morfológicas, haciendo casi imposible identificar estas estructuras en campo. Cabe mencionar que la mayoría de las estructuras fueron inferidas por medio de mapa geológico, imágenes satelitales, fotografías aéreas, modelos de elevación digital (DEM) y mapa de sombras.

### **Análisis estructural del área.**

Las condiciones de esfuerzo que existen en el interior de la corteza terrestre van cambiando a lo largo del tiempo, estos cambios conducen a menudo a la deformación permanente de las rocas de la corteza terrestre, dando como resultado la formación de fracturas y fallas, a esto se le conoce como deformación frágil.

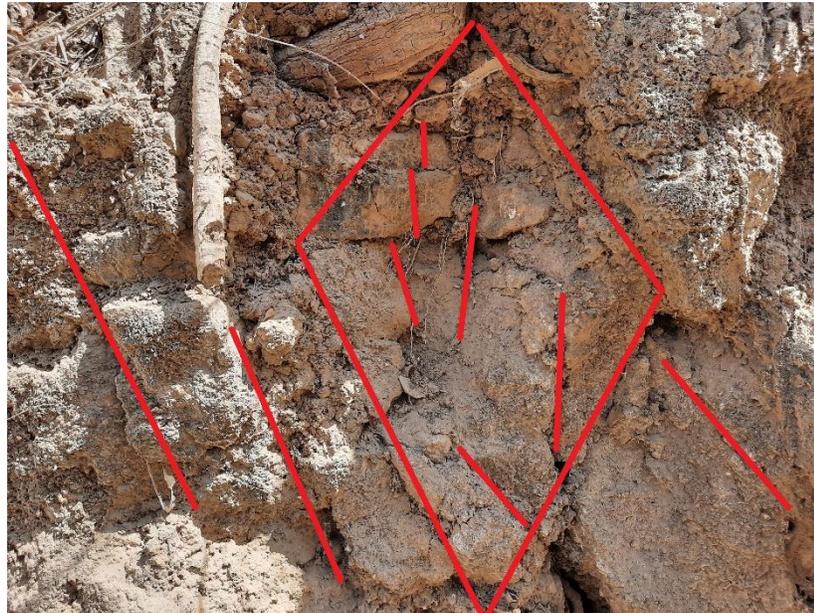
Para realizar el análisis estructural del área de estudio se tomaron en cuenta varios criterios debido a los factores que ayudaron a determinar e inferir las diferentes estructuras.

- El ambiente geológico del área de estudio es de origen volcánico lo que por naturaleza conlleva a una deformación frágil.
- Las estructuras en campo se encontraron a nivel superficial en el cual los mecanismos de deformación tienden a ser frágil y están expuesto a los procesos erosivos.
- El área de estudio se encuentra sometida a esfuerzos de compresión, extensión que se estudiaron a través de los diagramas de roseta, el cual por las características de las rocas dan lugar a deformarse frágilmente.

Se hace énfasis en el ambiente geológico que se encuentra la zona de estudio debido a que nos encontramos en un ambiente de origen volcánico, por lo cual no fue posible observar marcadores estratigráficos que nos ayudaran a ver el sentido y dirección de las estructuras, por lo tanto, se trató de encontrar otro tipo de

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

indicadores cinemáticos que estuvieran visibles como, por ejemplo: fracturas paralelas y sigmoides. (Ver foto 18 y 19).



*Foto 19. Sistema de fracturas paralelas con orientación NW-SE con presencia de un sigmoide ubicada en las coordenadas UTM 540319 E, 1367000 N.*



*Foto 20. Sistemas de fracturas paralelas con orientación NW-SE, con coordenadas UTM 540319 E, 1367000 N.*

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.

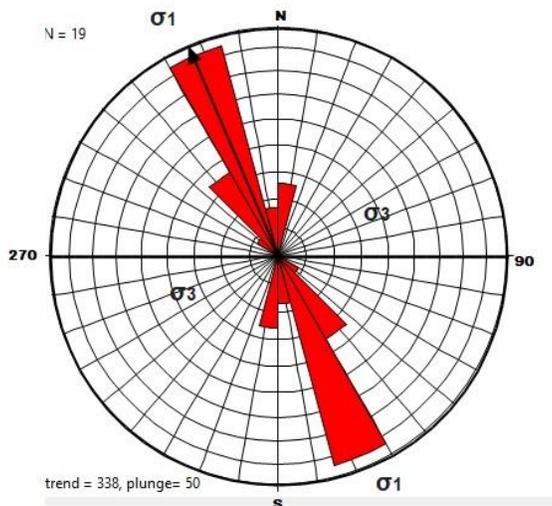


Figura 13. Diagrama de fracturas de 20 datos estructurales de fracturamiento con esfuerzos máximos en dirección NW-SE, propuesto en base al comportamiento de los indicadores cinemáticos medidos en campo.

Las fracturas son las estructuras más frecuentes en la superficie de la Corteza terrestre, son observables en cualquier afloramiento y en cualquier tipo de roca. El estudio de las fracturas es de particular importancia porque afectan la resistencia de las rocas a los esfuerzos, en campo se pudo observar una fractura miento masivo, que siguen un patrón de dirección NW – SE, que están siendo afectadas por fallamiento regional. (Ver foto 20).



Foto 21. Fracturamientos en el piso, con presencia de sigmoide, direccionadas NW-SE, con coordenadas UTM 542190 E, 1365654 N.

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.

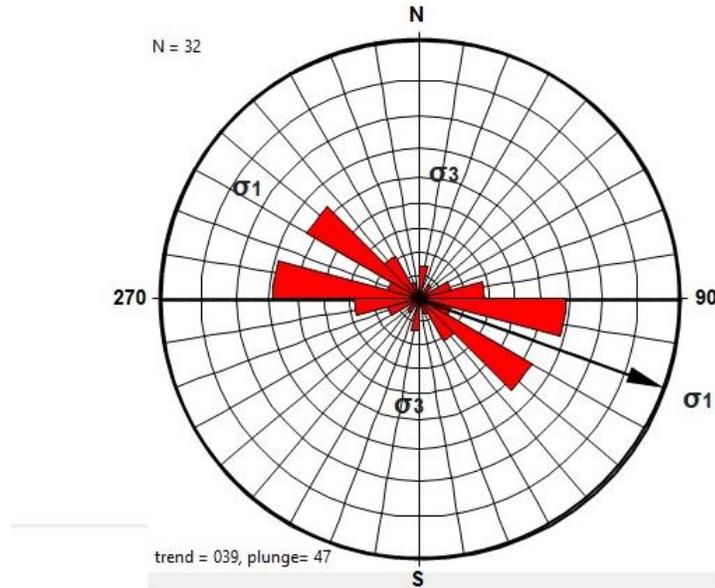


Figura 14. Diagrama de fracturas de 32 datos estructurales de fracturamientos con esfuerzos máximos en dirección NW-SE, propuesto en base al comportamiento de los indicadores cinemáticos medidos en campo.



Foto 22. Fracturas conjugadas, con presencia de sigmoide, siguiendo una dirección NE-SW, con coordenadas UTM 536470E, 1370815N.

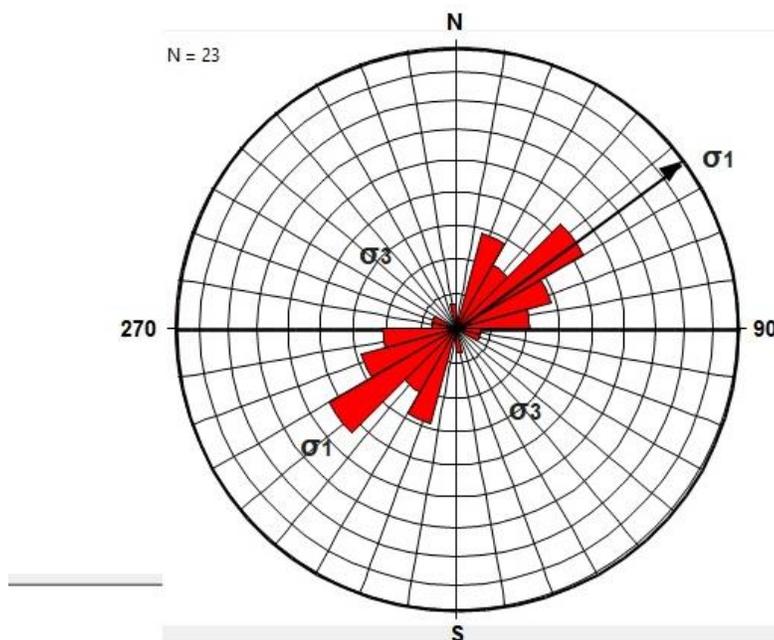
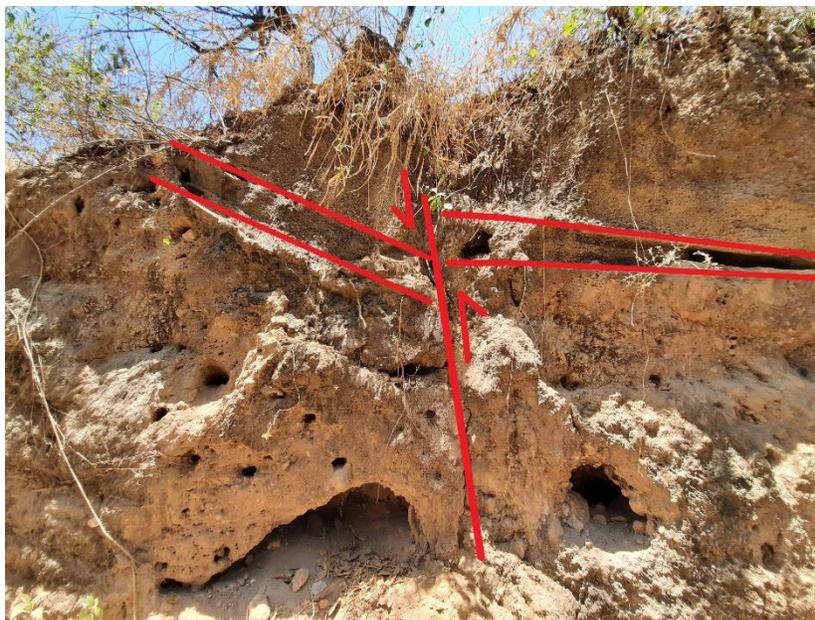


Figura 15. Diagrama de fracturas de 23 datos estructurales de fracturamientos con esfuerzos máximos en dirección NE-SW, propuesto en base al comportamiento de los indicadores cinemáticos medidos en campo. Coordenadas UTM 535998 E, 1369682 N.

Una falla es una fractura lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura, una falla es una discontinuidad que se forma debido a la fractura de grandes bloques de rocas en la Tierra cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. El movimiento causante de esa dislocación puede tener diversas direcciones: vertical, horizontal o una combinación de ambas. (INPRES, 2012).

La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento tangencial de las rocas respecto a ese plano, en la zona de estudio se encontró una falla (inversa) que representa la influencia del fallamiento regional. (Ver foto 22).

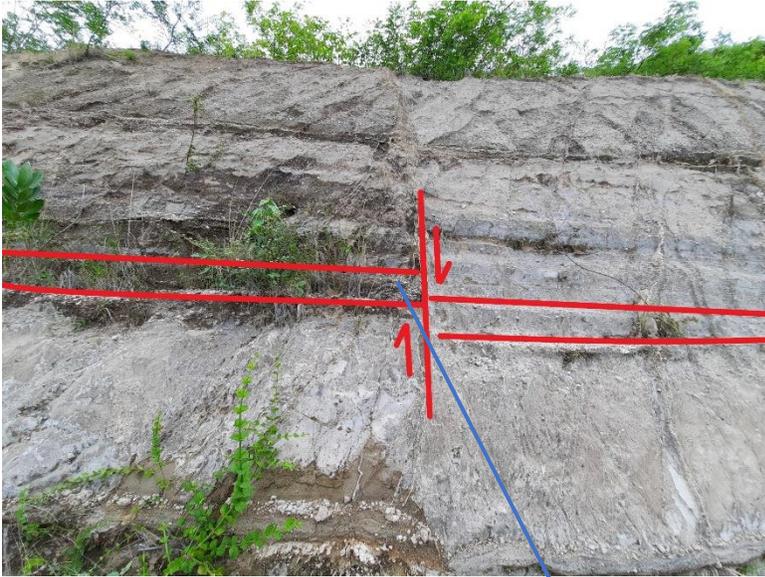


*Foto 23. Falla inversa con rumbo de 15° NW, encontrada en finca el Rosario, con alto grado de erosión. Con coordenadas UTM 539073 E, 1365916 N.*

Teniendo en cuenta que geología estructural es uno de los factores importantes para comprender los procesos de deformación de las rocas, las cuales se manifiestan de manera general mediante fallas y fracturas. Las fallas constituyen la deformación frágil más frecuente en geología, por tanto, al igual que en el caso de los pliegues, se trata de uno de los elementos más representativos en geología estructural. El descubrimiento de nuevas estructuras nos permite determinar la orientación de los ejes principales de esfuerzos y así llegar a la determinación de los desplazamientos diferenciales existentes en el área de estudio. (Ver Foto 24).

En las siguientes se describirán una zona de fallamiento normal y fracturamiento que están afectando el corte expuesto sobre la carretera correspondiente a la antigua caldera las Mercedes, que a su vez está siendo afectada por un fallamiento regional con dirección NW-SE.

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*



*Foto 24. Fallamiento Normal con desplazamiento de 0.35m con 70° de inclinación con dirección 72° N. Coordenadas UTM 538203 E, 13711362 N.*

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.



Foto 25. Falla de tipo inversa con un desplazamiento de 0.30m con inclinación de 38° y dirección 22° NE. Coordenadas UTM 538203 E, 13711362 N.



Foto 26. Falla de tipo inversa con desplazamiento 0.60m con inclinación de 30° y dirección 18° NE UTM 538203 E, 13711362 N.

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.



Foto 27. Falla de tipo normal con un desplazamiento de 0.22m con inclinación de  $14^{\circ}$  y dirección  $48^{\circ}$  NE. coordenadas UTM 538203 E, 13711362 N.



Foto 28. Sistema de fracturas paralelas con dirección NW, expuestas sobre el corte de la antigua caldera Las Mercedes. Coordenadas UTM 538203 E, 13711362 N.

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.



Foto 29. En el corte expuesto en la carretera perteneciente a la caldera Las Mercedes se logran observar los materiales que están siendo afectados debido a un sistema de fallas normales. Donde se deduce que los materiales de ceniza, pómez y toba están siendo desplazados por el fallamiento regional. (Ver Mapa Geológico, Anexo No.13) ubicado en las coordenadas UTM 538203 E, 13711362 N.

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.

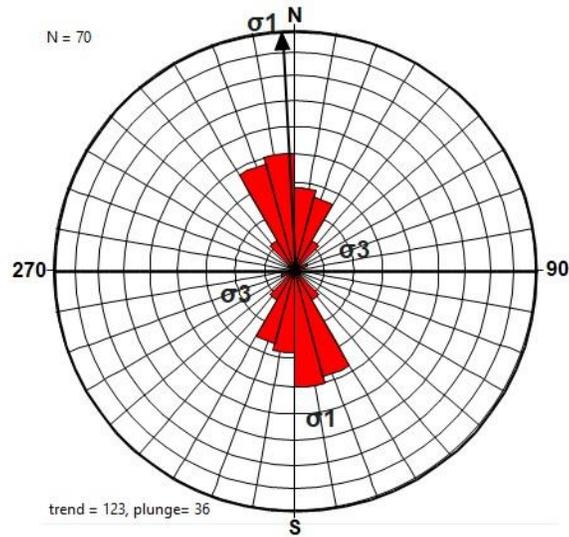


Figura 16. Diagrama de fracturas de 70 datos estructurales de fracturamientos con esfuerzos máximos en dirección NW-SE, propuesto en base al comportamiento de los indicadores cinemáticos medidos en campo. Coordenadas UTM 538203 E, 13711362 N.

## **Capítulo V**

### **5.1 Conclusiones.**

Geológicamente el área de estudio está compuesta por depósitos volcánicos pertenecientes al Cuaternario, que se caracteriza por presentar rocas de tipo extrusiva que proceden de flujos piroclásticos y material de caída originado por de la actividad volcánica de las antiguas calderas (caldera Las Mercedes, caldera Laguna seca, y La hoyada) de las cuales se hizo referencia en todo el documento debido a su gran importancia y relevancia en la zona cartografiada. Llegando a la conclusión que se pudieron definir tres unidades litológicas que se nombraran a continuación de las más antigua a las más reciente Unidad I: Flujos piroclásticos Unidad II: Material volcánico de caída y Unidad III: Depósitos aluviales.

La unidad de flujos piroclásticos cubre una extensión de un 60% del área siendo las más representativa, este material presenta una composición andesítica-basáltica La Unidad de materiales de caída se lograron identificar zonas de depósitos piroclásticos de caída, que se asentaron luego de los flujos piroclásticos que fue expulsado de forma explosiva, formando columnas de 8 hasta 16 m de altura, de igual forma se lograron encontrar Depósitos de escorias que forman conos de escoria cuyo origen podría estar relacionado a las actividades volcánicas correspondientes a las antiguas calderas. Unidad de depósito aluvial: Esta unida se encuentra en su mayor parte al este y sur este del área de estudio cubriendo aproximadamente un 20% de la zona de interés, esta unidad se presenta como la unidad de menor extensión, originada por los procesos de meteorización, erosión y transporte.

En el presente trabajo se han definido cuatro unidades geomorfológicas, que para poder definir las macroformas geomorfológicas, se realizaron diferentes mapas morfométricos y análisis de fotografías aéreas, con el fin de obtener los resultados que nos ayudaron a la delimitación de las unidades geomorfológicas: Unidad de calderas. Unidad de conos cineríticos. Unidades de lomeríos y Unidad de planicies.

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

El análisis estructural tiene como objetivo reconocer las estructuras tectónicas de una determinada región, para poder realizar la caracterización estructural del área de estudio. Todo esto a través de criterios y factores determinantes que se pudieron encontrar en campo (fallamiento local, zonas de fracturas y algunos indicadores cinemáticos).

## **5.2 Recomendaciones.**

A las futuras generaciones de estudiantes de la carrera ingeniería geológica o ciencias a fines, que realizaran estudios cartográficos en áreas cercanas se les recomienda:

- ✓ Realizar un estudio petrográfico, donde se describa de forma microscópicamente las unidades litológicas.
- ✓ Análisis más a detalle de las unidades y estructuras volcánicas antiguas.
- ✓ Aplicar Métodos Geofísicos gravimétricos y magnéticos para la delimitación de fallas y modelar estructuras geológicas en la zona.

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

### **5.3 BIBLIOGRAFÍA.**

- Asociación Cartográfica Internacional . (15 de 05 de 1995). *Asociacion Cartográfica Internacional*.  
Obtenido de icaci.org: <https://icaci.org/>
- Cano, R., & Prudente, R. (2019). *ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO, DEL DEPARTAMENTO DE LEÓN, NICARAGUA*. Unan-Managua, Departamento de Tecnología. Managua: UNAN.
- Centro, A. d. (23 de 08 de 2009). *Lapazcentro.com*. Obtenido de <https://lapazcentro.com/index1.htm>
- Comisión Internacional de la Estratigrafía. (25 de 08 de 2013). *Stratigraphy.org*. Obtenido de Guía Estratigrafica: <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-stratigraphicguide>
- Comision Nacional de Energia. (2001). *Plan Maestro Geotermico de Nicaragua - Evaluacion del Momotombo*. Investigativo, CNE, Managua.
- Dengo, G. (1969). *Estructura Geologica, Historia Tectonica y Morfologia de America Central*. Guatemala: GeoG.
- EcuRed. (13 de octubre de 2006). *EcuRed Geologia*. Obtenido de Geodinamica Interna de la tierra: [https://www.ecured.cu/Geodin%C3%A1mica\\_interna](https://www.ecured.cu/Geodin%C3%A1mica_interna)
- EcuRed. (05 de 02 de 2009). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed: [https://www.ecured.cu/La\\_Paz\\_Centro\\_\(Nicaragua\)#Posici.C3.B3n\\_geogr.C3.A1fica](https://www.ecured.cu/La_Paz_Centro_(Nicaragua)#Posici.C3.B3n_geogr.C3.A1fica)
- EcuRed. (22 de 05 de 2010). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed: [https://www.ecured.cu/Geolog%C3%ADa\\_estructural](https://www.ecured.cu/Geolog%C3%ADa_estructural)
- EcuRed. (25 de agosto de 2015). *EcuRed Vulcanologia*. Obtenido de [http://www.ecured.cu/Volc%C3%A1n\\_Momotombo\\_\(Nicaragua\)](http://www.ecured.cu/Volc%C3%A1n_Momotombo_(Nicaragua))
- EcuRed. (12 de 02 de 2018). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed: [https://www.ecured.cu/Volc%C3%A1n\\_Momotombo](https://www.ecured.cu/Volc%C3%A1n_Momotombo)
- GeologiaWeb. (20 de 02 de 2016). *geologiaweb*. Obtenido de <https://geologiaweb.com/>
- Geoxnet. (20 de 05 de 2011). *Geoxnet*. Obtenido de Geoxnet Geologia Estructural: [https://post.geoxnet.com/geologia-estructural/#definicion\\_de\\_geologia\\_estructural](https://post.geoxnet.com/geologia-estructural/#definicion_de_geologia_estructural)
- Gomez, D., & Hernandez, B. (2016). *Actualizacion de la Cartografia Geologica y evaluacion del efecto de sitio en la estacion biologica Francisco Guszman Pasos y sus alrededores, Juigalpa-Chontales*. Managua: Unam-Managua.
- HiruEusGeologia. (24 de 08 de 2013). *Hiru.eus*. Obtenido de <https://www.hiru.eus/es/geologia/que-es-la-geomorfologia>
- Hodson, G. (1978). *Geologia de Nicaragua*. Managua: SGN.

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

Hodson, G. (2000). *Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua*. Servicio Geológico Nacional. Managua: Servicio Geológico Nacional.

IGME Spain Geology. (09 de Enero de 2008). *IGME*. Obtenido de Instituto Geológico y Minero de España: <http://info.igme.es/cartografiadigital/portada/default.aspx?mensaje=true>

INGEMMET. (s.f.). *Intituto Geologico, Minero y Metalurgico de Peru* . Obtenido de INGEMMET: [http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page\\_id=102](http://ovi.ingemmet.gob.pe/?page_id=102)

INPRES. (05 de 06 de 2012). *Instituto Nacional de prevencion Sismica* . Obtenido de Fallas Geologicas: <https://www.inpres.gob.ar/desktop/>

Instituto Nacional de Información de Desarrollo . (2008). *La Paz Centro en Cifras*. INIDE. Managua: INIDE.

Morales, A. (mayo de 2000). *INETER*. Obtenido de <http://webserver2.ineter.gob.ni/boletin/2000/05/historia-momn0005.htm>

Perez, J. (2017). *Actualización Cartográfica de la parte NE y SE, de la hoja Topográfica Larreynaga a escala 1: 50,000*. Unan-Managua, Departamento de Tecnología. UNAN.

Quiroz, C. (1998). *Recomendaciones para llevar a cabo una cartografía geológica regional*. Instituto de Geología de México, Departamento de Geología. UNAM.

Salinas, E., & Palma, J. (2015). *ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN DE LA AMENAZA VOLCÁNICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO – PUERTO MOMOTOMBO*. Unan-Managua, Departamento de Tecnología. Managua: UNAN.

Servicio Geológico Mexicano. (18 de 06 de 2011). *sgm.gob.mx*. Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Petrografia.html>

Silva, Gilberto, Mendoza, C., & Campos, E. (2010). *Elementos de una Cartografía Geológica* (1ª ed.). Ciudad de México, México: Universidad Autónoma de México .

Tarbutck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la tierra* (8ª edición ed.). (M. M. Romo, Ed.) Madrid, España: Pearson Education S.A.

Universidad Veracruzana. (13 de 02 de 2009). *Universidad Veracruzana*. Obtenido de Centro de ciencias de la tierra : <https://www.uv.mx/cienti/diapositivas/vulcanologia/>

ViaNica. (20 de 05 de 2012). *ViaNica.com*. Obtenido de ViaNica.com: <https://vianica.com/sp/headline/711>

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

# ANEXOS.

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste de la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.

**Tabla de los datos de fracturas obtenidos en campo.**

Tabla de los datos de fracturas obtenidos en las coordenadas UTM 540319E, 1367000N, camino hacia el lago de Managua Xolotlán.

No	Rumbo
1	N 42° W
2	N 30° W
3	N 32° W
4	N 22° W
5	N 30° W
6	N 32° W
7	N 30° W
8	N 3° W
9	N 24° W
10	N 20° W
11	N 18° W
12	N 12° W
13	N 38° W
14	N 12° E
15	N 28° W
16	N 46° W
17	N 2° E
18	N 4° W
19	N 24° W
20	N 24° W

Anexo 1. Fuente (propia).

Tabla de los datos obtenidos de las fracturas ubicadas en las coordenadas UTM 5421900 E, 1365654 N, cerca de la finca san Cristóbal.

No	Rumbo	No	Rumbo
1	N 10° W	21	N 20° W
2	N 11° W	22	N 30° W
3	N 82° E	23	N 10° W
4	N 78° E	24	N 38° W
5	N 44° W	25	N 38° W
6	N 72° E	26	N 28° W
7	N 22° E	27	N 76° E
8	N 44° W	28	N 4° W
9	N 62° E	29	N 38° W

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste de la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.

10	N 8° W	30	N 42° W
11	N 86° E	31	N 12° E
12	N 42° W	32	N 30° W
13	N 12° W		
14	N 58° W		
15	N 44° W		
16	N 32° W		
17	N 38° E		
18	N 12° W		
19	N 10° W		
20	N 10° W		

Anexo 2. Fuente (propia).

Tabla de los datos de fracturas rellenas por el mismo material ceniza soldada obtenida en las coordenadas UTM 540633 E, 1370856 N, Puerto Momotombo.

No	Rumbo	No	Rumbo
1	N 42° W	14	N 22° E
2	N 28° W	15	N 62° W
3	N 30° W	16	N 68° E
4	N 15° W	17	N 14° W
5	N 22° W	18	N 30° w
6	N 12° W		
7	N 20° W		
8	N 10° W		
9	N 18° W		
10	N 8° W		
11	N 42° W		
12	N 8° W		
13	N 38° W		

Anexo 3. Fuente (propia).

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste del complejo volcánico Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

Datos de fracturas obtenidos en el perteneciente en el corte de San Blas (banco de material) con coordenadas UTM 536470E, 1370815N.

No	Rumbo
1	N 69° E
2	N 14° E
3	N 22° E
4	N 54° E
5	N 68° W
6	N 48° E
7	N 72° W
8	N 66° W
9	N 2° E
10	N 70° W
11	N 84° W

*Anexo 4. Fuente: (propia).*

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste de la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

Datos de Fracturas Obtenidos en el rio Coordenadas UTM 536640 E, 1971724 N.

No	Rumbo
1	N 8° E
2	N 4° E
3	N 22° W
4	N 46° E
5	N 46° W
6	N 26° W
7	N 18° W
8	N 66° W
9	N 34° W
10	N 72° W
11	N 32° W
12	N 74° E
13	N 34° E
14	N 18° W
15	N 65° W

*Anexo 5. Fuente: (propia).*

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste de la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

Datos de Fracturas obtenidos en carretera hacia Las Palmas con coordenadas UTM 535998 E, 1369682 N.

No	Rumbo
1	N 72° E
2	N 12° W
3	N 66° E
4	N 18° W
5	N 18° E
6	N 36° E
7	N 24° E
8	N 58° E
9	N 52° E
10	N 22° E
11	N 48° E
12	N 70° E
13	N 48° E
14	N 42° E
15	N 78° W
16	N 80° E
17	N 78° E
18	N 48° E
19	N 42° E
20	N 56° E
21	N 21° E
22	N 24° E
23	N 82° E

*Anexo 6. Fuente (propia).*

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste de la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.

Datos de fracturas obtenidos carretera hacia la comunidad el Remolino con coordenada UTM 535449 E, 1369976 N.

No	Rumbo
1	N 6° E
2	N 32° E
3	N 66° W
4	N 345° W
5	N 334° W
6	N 350° W
7	N 20° E
8	N 310° W
9	N 285° W
10	N 120° W
11	N 302° W
12	N 140° W
13	N 308° W
14	N 247° W
15	N 12° E
16	N 346° W
17	N 312° W
18	N 33° E
19	N 340° W
20	N 295° W
21	N 310° W
22	N 295° W
23	N 355° W
24	N 314° W
25	N 304° W
26	N 308° W
27	N 264° W
28	N 280° W
29	N 305° W
30	N 295° W
31	N 302° W
32	N 312° W
33	N 305° W
34	N 344° W
35	N 326° W
36	N 28° E
37	N 300° W
38	N 335° W
39	N 298° W

Actualización cartográfica geológica del sector suroeste de la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.

40	N 295° W
41	N 316° W
42	N 336° W
43	N 285° W
44	N 10° E
45	N 270° W
46	N 334° W
47	N 300° W
48	N 340° W
49	N 288° W
50	N 335° W

Anexo No 7.Fuente (propia).

Datos de fracturas obtenidas dentro de la caldera las mercedes con coordenadas UTM 538203 E, 1371362 N corte expuesto sobre la carretera.

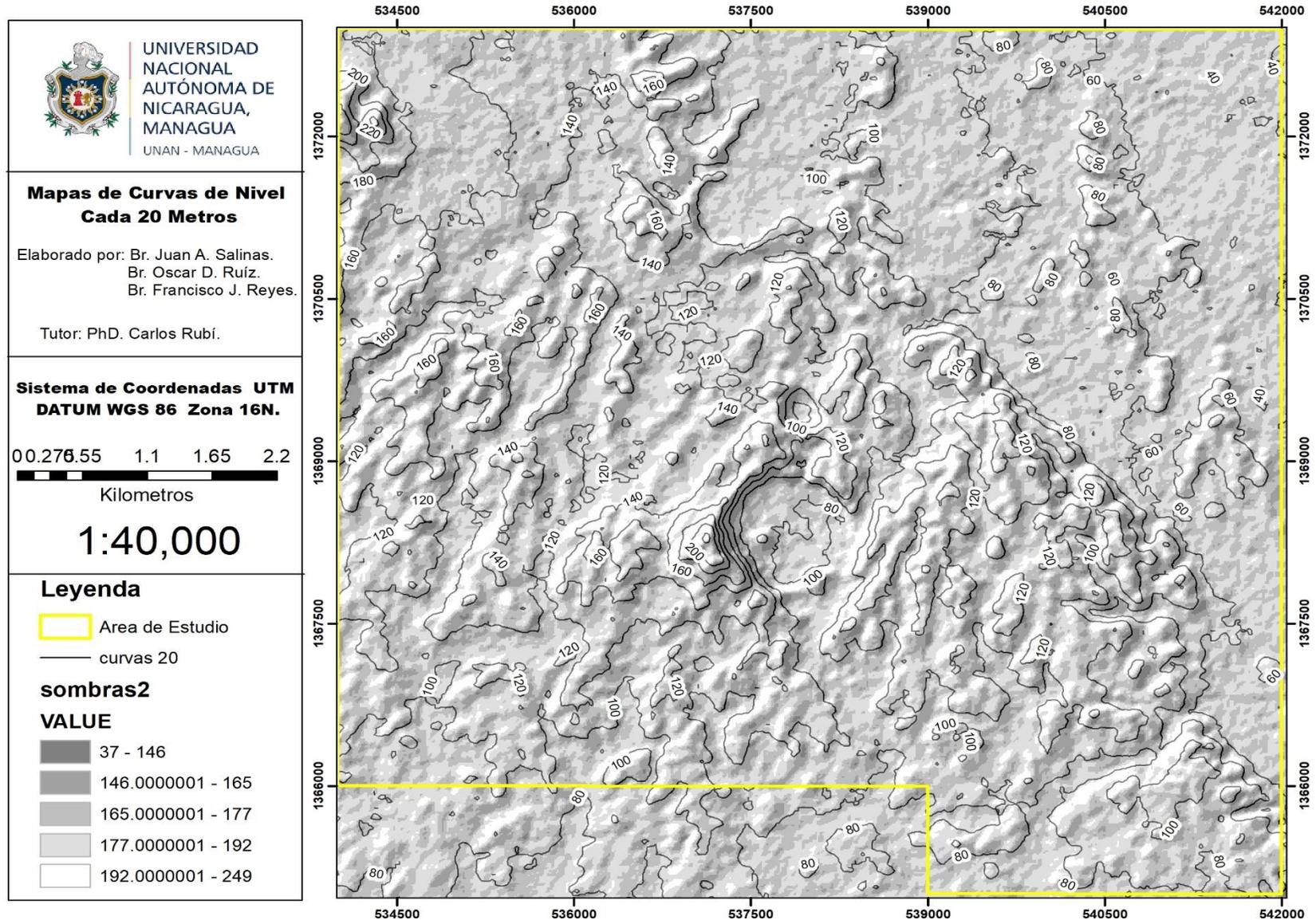
No	Rumbo	No	Rumbo
1	N 334° W	36	N 32° E
2	N 332° W	37	N 60° E
3	N 332° W	38	N 34° E
4	N 334° W	39	N 28° E
5	N 336° W	40	N 334° W
6	N 342° W	41	N 24° E
7	N 352° W	42	N 10° E
8	N 348° W	43	N 23° E
9	N 346° W	44	N 8° E
10	N 348° W	45	N 26° E
11	N 348° W	46	N 4° E
12	N 8° E	47	N 308° W
13	N 358° W	48	N 60° E
14	N 334° W	49	N 8° E
15	N 346° W	50	N 48° E
16	N 348° W	51	N 350° W
17	N 330° W	52	N 34° E
18	N 348° W	53	N 24° E
19	N 352° W	54	N 20° E
20	N 346° W	55	N 356° W
21	N 358° W	56	N 22° E
22	N 332° W	57	N 26° E
23	N 321° W	58	N 330° W
24	N 338° W	59	N 12° E
25	N 322° W	60	N 20° E
26	N 320° W	61	N 18° E
27	N 322° W	62	N 358° W

*Actualización cartográfica geológica del sector suroeste de la zona de Puerto Momotombo y sus alrededores a escala 1:40,000.*

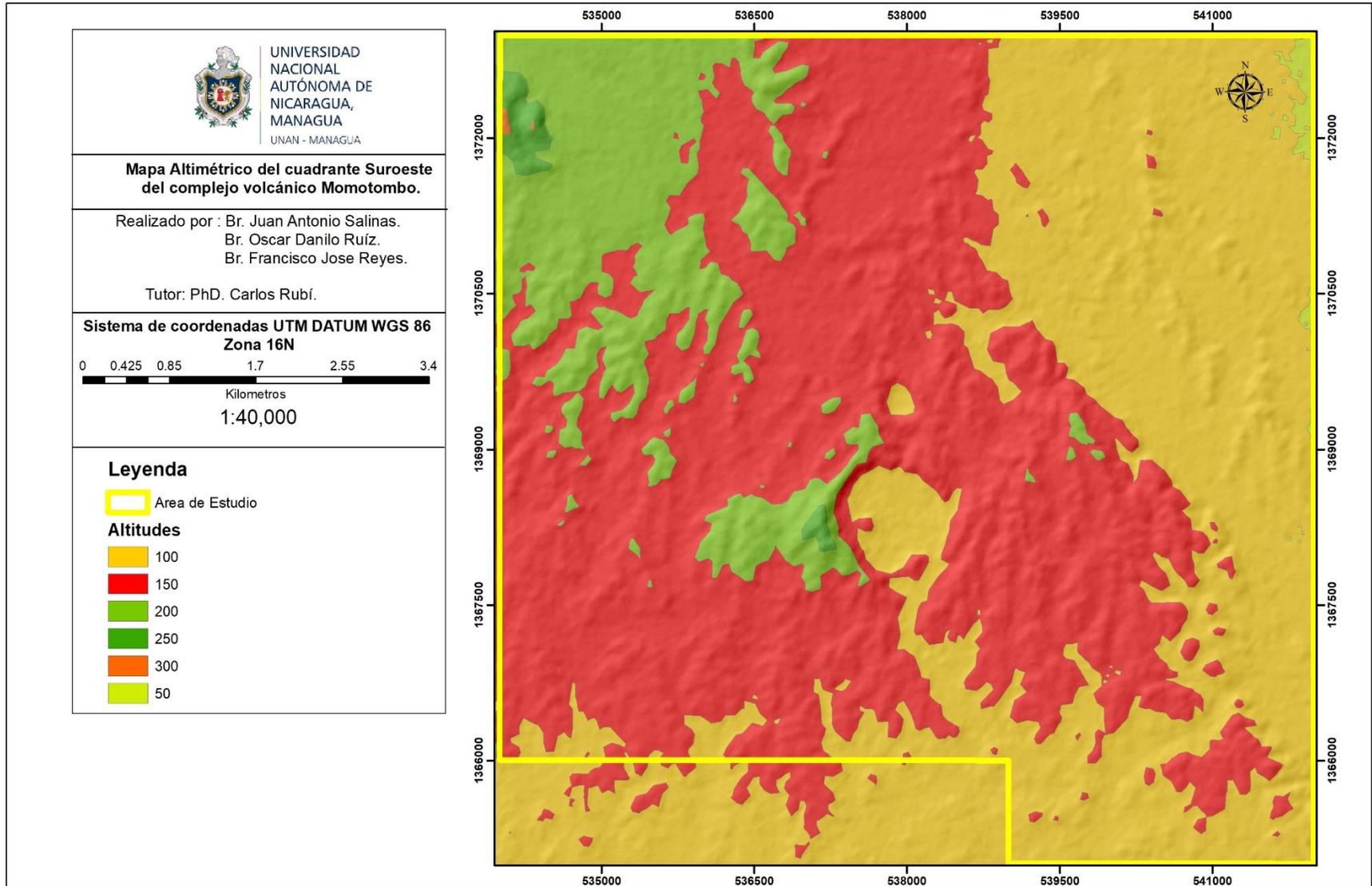
28	N 4° E	63	N 10° E
29	N 332° W	64	N 12° E
30	N 33° E	65	N 8° E
31	N 16° E	66	N 334° W
32	N 10° E	67	N 338° W
33	N 328° W	68	N 348° W
34	N 32° E	69	N 332° W
35	N 318° W	70	N 358° W

*Anexo No 8. Fuente (propia).*

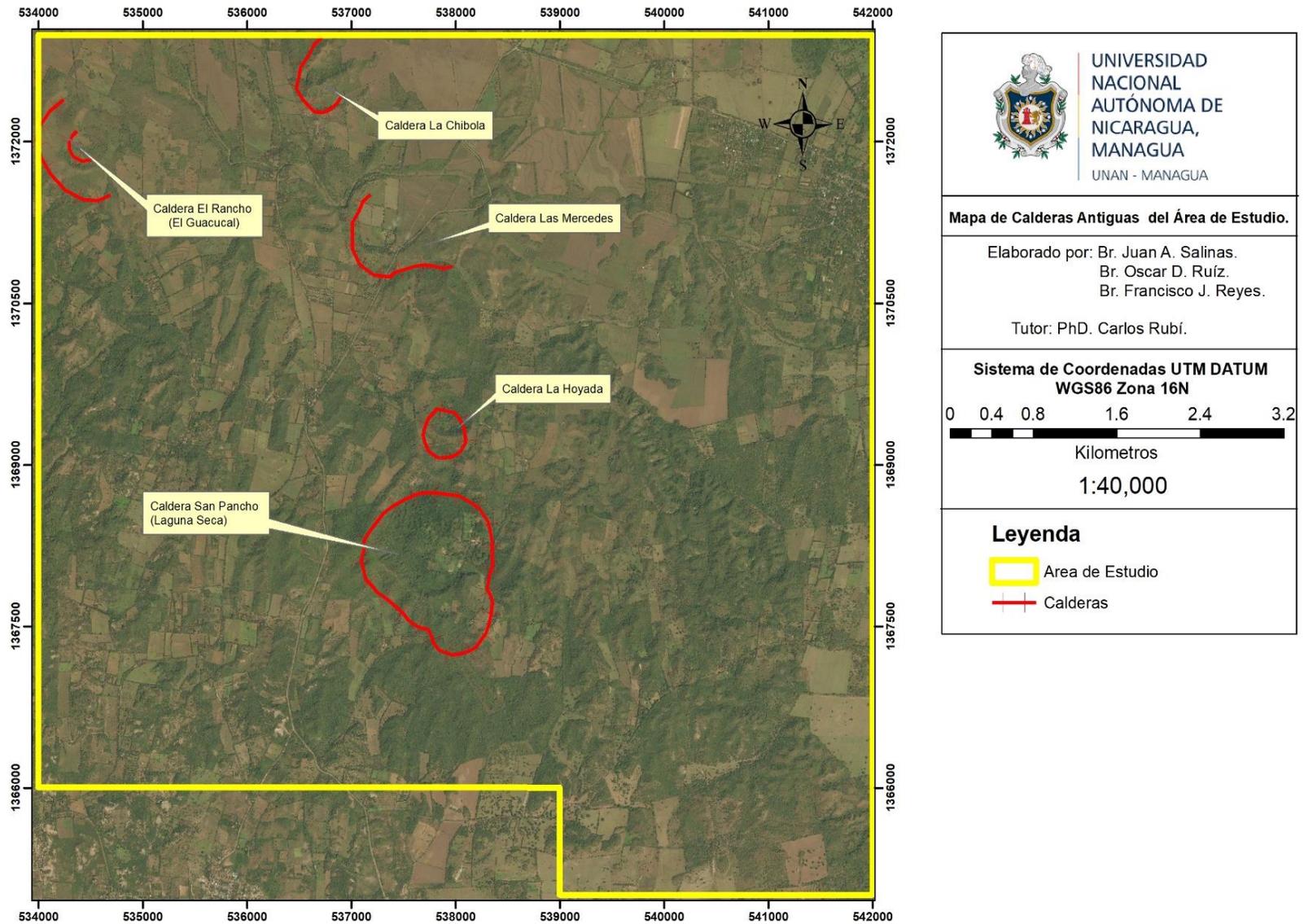
### Anexo 9. Mapa de curvas de nivel.



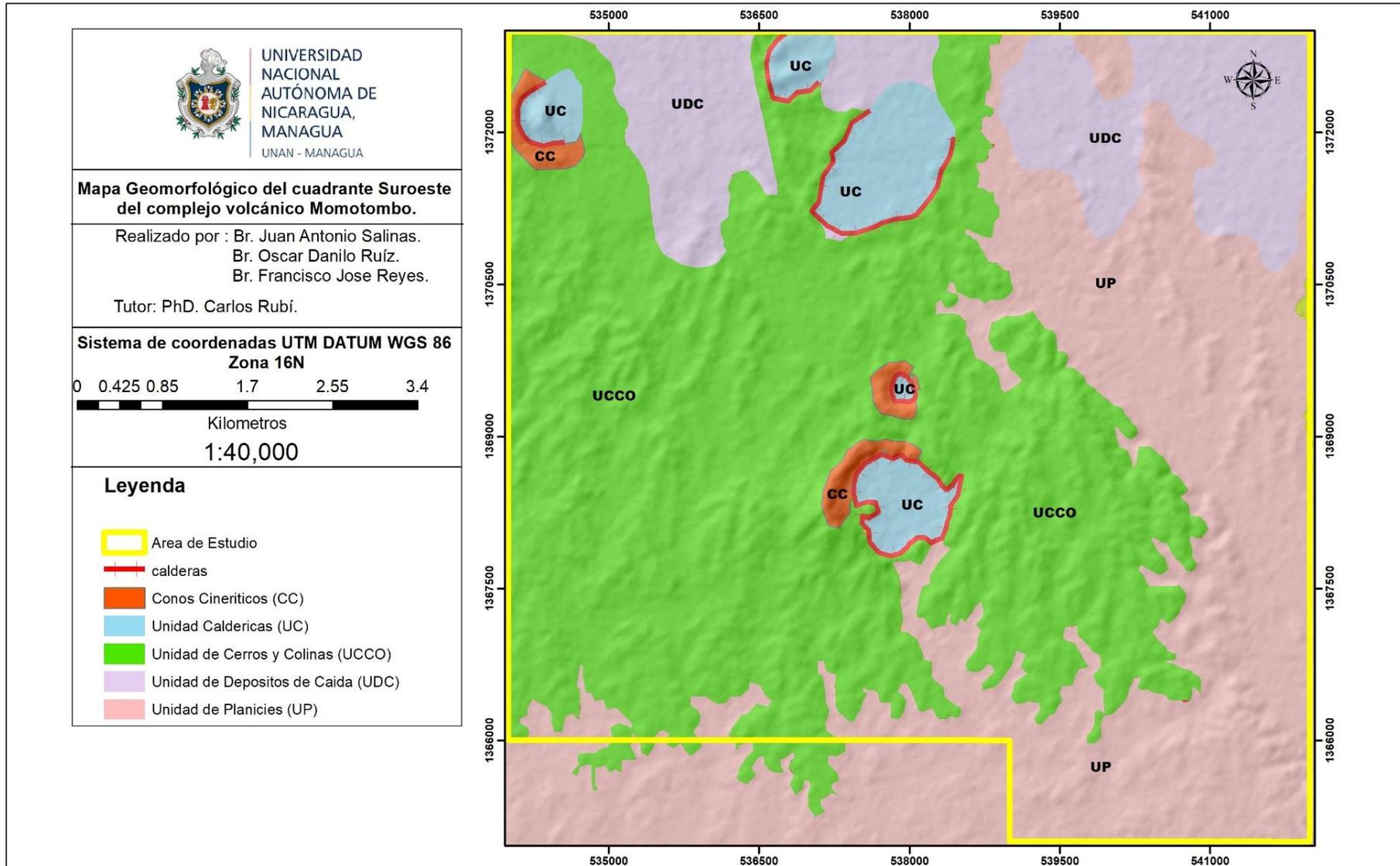
### Anexo 10. Mapa Altimétrico.



### Anexo 11. Mapa de Antiguas Calderas.



### Anexo 12. Mapa Geomorfológico.



### Anexo 13. Mapa Geológico.

