



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN - MANAGUA

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**SEMINARIO DE GRADUACION PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIEROS GEÓLOGOS**

TÍTULO: CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

SUB-TEMA:

***“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN
MOMOTOMBO, DEL DEPARTAMENTO DE LEÓN, NICARAGUA”***

ELABORADO POR:

- ✓ **Br. Rudy Manuel Cano.**
- ✓ **Br. Rodrigo Javier Prudente**

TUTOR: MSc. Francisco Espinoza

Asesor: MSc. Gema Velásquez

Managua, Febrero de 2019.

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo I. Introducción	1
1 Localización	2
1.2 Antecedentes	4
1.3 Justificación	9
1.4 Objetivos	11
1.4.1. Objetivo General	11
1.4.2. Objetivos Específicos	11
Capítulo II. Diseño Metodológico	12
2.1 Tipo de Estudio	12
2.2 Metodología del Trabajo de Gabinete	14
2.3 Metodología del Trabajo de Campo	15
2.4 Trabajo de Laboratorio e Interpretación de Datos	16
2.4.1 Análisis Estructural	17
2.4.2 Interpretación Petrográfica	20
2.4.3 Análisis Geomorfológico	20
2.5 Etapa Final	21
Capítulo III. Marco Geo-Tectónico y Geológico de Nicaragua	23
3.1 Geotectónica de Centroamérica	23
3.2 Geología Regional	25
3.2.1 Geología Local	28
3.3 Vulcanismo Cuaternario de Nicaragua	29
Capítulo IV. Análisis y Resultados	33
4.1 Unidades Litológicas	34
4.1.1 Unidad I – Andesitas -Basálticas	34
4.1.2 Unidad II – Andesitas	38
4.1.3 Unidad III-Depósitos Piroclásticos	41
4.1.4 Unidad IV – Flujo de Lava	44
4.2. Geología Estructural.	49
4.2.1 Análisis Estructural del Área	50
4.3 Unidades Geomorfológicas	56
Capítulo V. Discusiones	68
Capítulo VI. Conclusiones	71
Capítulo VII. Recomendaciones	73
Capítulo VIII. Bibliografía	74
Anexo	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	3
Figura 2. Mapa de Antecedentes de los estudios realizados en el volcán Momotombo.	8
Figura 3. Mapa Topográfico del volcán Momotombo.	18
Figura 4. Tectónica regional de América Central (fuente modificada de Frischbutter (2002) y Avellán (2009).	24
Figura 5. Provincias Geológicas de Nicaragua, (Redibujado de Hodgson, 1998). 28	
Figura 6. Cadena volcánica de Nicaragua, Base de datos INETER.....	30
Figura 7. Diagrama de fracturas para patrones de fallamiento con esfuerzos máximos en dirección NW-SE propuesto en base al comportamiento de los indicadores cinemáticos medidos en campo.....	54
Figura 8. Diagrama de fracturas para esfuerzos máximos en dirección NE-SW, propuesto en base al comportamiento de los indicadores cinemáticos medidos en campo.....	55
Figura 9. Mapa Geomorfológico del área de estudio.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas del sitio de investigación	2
--	---

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Primera actividad volcánica registrada en el año 2015 luego de haber permanecido inactivo durante 110 años.....	32
Foto 2. Fuerte erupción de gases, ceniza y lava registrada en el volcán momotombo en el año 2016.....	32
Foto 3. Frente del flujo de lava de 2.5 m de altura de composición andesítica basáltica ubicada en el sector se del volcán momotombo.	35
Foto 4. Bloques lávicos con alteraciones por óxido de hierro.....	35
Foto 5. Lab 170006 mtra. #1. aumento x10, coordenadas----sección delgada de la unidad basalto-andesita, la muestra tiene una textura porfídica en ocasiones glomeroporfídica, se observan fenocristales de plagioclasas (plg), piroxenos (px), olivino (olv) y minerales metálicos (mx), además de burbujas de desgasificación, estos fenocristales están inmersos en una matriz criptocristalina.	37
Foto 6. Fragmentos de plagioclasas (plg), piroxenos (px) y olivino (olv) observados en nicoles cruzado.	37

Foto 7. Flujo de lava andesítica de textura masiva ubicada en el flanco se del cerro motoso (coordenadas UTM 545299 E; 1376763 N).....	39
Foto 8. Lab 170007 mtra. #2. aumento x10, coordenadas utm 545299 e; 1376763 n. sección delgada de la unidad andesita, la muestra tiene una textura porfídica, se observan fenocristales de plagioclasas (plg), piroxenos (px), máficos (mx), además de una zona de desgasificación, estos fenocristales están inmersos en una matriz vítrea.....	40
Foto 9. Cono de escoria monogenético originado por fisuras producto de las ramificaciones de la cámara magmática del volcán momotombo (coordenadas UTM 545722 E; 1374019 N).....	42
Foto 10. a) Depósitos de lapilli, escoria y ceniza.....	43
Foto 11. Depósito de lapilli localizadas en la parte central de la caldera monte galán (coordenadas UTM 546465 E; 1375700 N).....	43
Foto 12. Escorias observadas sobres las planicies del área de estudio (coordenadas UTM de las fotos están dadas de izquierda a derecha 545300 E; 1378500 N y 550534 E; 1378000 N).	44
Foto 13. Flujo de lava de composición basáltica, este flujo se presenta en forma de bloques masivos con pocas evidencias de fracturas, se encuentra en la zona ne del volcán (coordenadas UTM 551500 E; 1374850 N).....	45
Foto 14. Lab 170009 mtra. #3. aumento x10, coordenadas UTM 547878 E; 1375951 N. sección delgada de la unidad basalto, la muestra tiene una textura porfídica, se observan fenocristales de plagioclasas (plg), olivino (olv), anfíbol (hornblenda), piroxenos (px) y minerales metálicos (mx), además de una burbuja de desgasificación, estos fenocristales están inmersos en una matriz microlítica-pilotaxítica.	46
Foto 15. Vista en nicoles cruzado, los principales fenocristales que componen a la unidad basalto, a) fragmentos de plagioclasas(plg), olivino (olv) y piroxeno (px). b) fragmentos de plagioclasas en una matriz microlítica.....	47
Foto 16. Lab 170008 mtra. #4. aumento x10, coordenadas----sección delgada de la unidad basalto, se observan fenocristales de plagioclasas (plg) piroxenos (px), anfíbol y máficos (mx). tiene una textura porfídica- glomeroporfídica, en una matriz vítrea.....	48
Foto 17. a) minerales de plagioclasas (plg) y matriz vítrea. b) minerales de piroxeno en la parte inferior y plagioclasas formadoras de la unidad basalto, vista en nicoles cruzado.	49
Foto 18. Sistemas de fracturas paralelas con dirección SE-NW y presencia de sigmoide, (coordenadas UTM 543558 E; 1378745 N. foto tomada de NW a SE).	53
Foto 19. Sistemas de fracturas paralelas con dirección SE-NW, localizadas en el cerro montoso (coordenadas UTM 545000 E; 1377860 N).....	53

Foto 20. Zona de cizalla localizada al SW en el escarpe de la caldera monte galan, con fracturas mayormente orientas hacia el SW, vista de la foto de NE a SW (coordenadas UTM 545258 E; 1375540 N).....	55
Foto 21. Estructuras volcánicas que conforman el complejo volcánico momotombo.	62
Foto 22. Estructura volcánica cerro montoso, vista de SW-NE.	63
Foto 23. Vista de N-S y actual centro eruptivo del volcán momotombo.	64
Foto 24. Flujos de lavas de composición basáltica ubicados en el flanco N y NW del volcán momotombo (coordenadas UTM 551562 E; 1375114 N).....	65

DEDICATORIA

Primeramente, a DIOS que me ha permitido llegar hasta este momento tan importante en mi vida y poder compartir con mi familia de este gran logro. A mi más grande fuente de inspiración, ejemplo de vida y de lucha mi Mama ROSA IVANIA CARRANZA, quien me ha brindado su apoyo incondicional durante todos estos años y quien me ha dado ánimo, fuerza y consejos para lograr mis metas. ¡GRACIAS!!!

A mi familia, mi Papa MANUEL CANO, mis hermanas LISSETH CANO y AMANDA CANO a mi bella sobrinita DANELSY GRIJALVA, todos ellos han sido parte importante en mi formación tanto personal como profesional, son quienes me motivan y apoyan para que cumpla mis metas. Gracias familia.

A mis amigos y compañeros de la carrera con quienes cree una gran amistad, en especial a OCTAVIO PEREZ, GERARDO MARTINEZ, AMADO MARTINEZ, YOKASTA OLIVAS, VALERIA REYES, ELIECER MENDOZA, JORDY MENDIETA con quienes compartí de los buenos y malos momentos durante toda esta etapa universitaria apoyándonos el uno al otro, siendo incondicionales en todo momento y regalándome su hermosa amistad. ¡GRACIAS CHICOS!!!!!!!

Rudy Manuel Cano Carranza.

Este seminario de investigación se la dedico a Dios primeramente ante todas las cosas, por haberme guiado siempre por el camino correcto para ser mejor persona día a día, por darme las fuerzas necesarias para salir siempre adelante en momentos difíciles y no desalentarme ante cualquier situación o problema difícil que se presentara en el camino.

A toda mi familia quienes por ellos y por todo su apoyo estoy donde estoy. A mis padres MARIA AMANDA PRUDENTE y ALEJANDRO CESAR PRUDENTE (q.e.p.d.); por su apoyo incondicional, sus valiosos consejos, comprensión, atención, amor, ayuda incondicional en los momentos más difíciles, por apoyarme con sus recursos necesarios para poder culminar mis estudios profesionales. Ellos me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi abuelita BERNABELA DEL SOCORRO por darme una buena educación y hacer de mí una mejor persona, por preocuparse por mí en todos los sentidos.

A mi novia MARIA MAGDALENA TALAVERA por estar a mi lado en los buenos y malos momentos que he pasado.

Este logro es para toda mi familia especialmente a mi padre ALEJANDRO CESAR PRUDENTE GRIJALVA (q, e, p. d).

Rodrigo Javier Prudente Guzmán.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer primeramente a Dios por darnos la vida, la salud y el amor incondicional de quienes forman parte de nuestro entorno. Agradecer a nuestras familias por el enorme apoyo y comprensión durante todo el desarrollo de nuestra carrera y por brindarnos las herramientas necesarias para que logremos ser profesionales capaces de cumplir nuestros sueños y metas.

*De manera especial agradecemos a nuestros tutores **Msc Gema Velásquez** y **Msc Francisco Espinoza** por sus valiosos conocimientos transmitidos y por el apoyo incondicional a lo largo de la realización de este documento.*

Agradecemos a la convocatoria de Fondos para Proyectos de Investigación de la UNAN-MANAGUA (FPI), por brindarnos la oportunidad de realizar este trabajo investigativo y facilitarnos de las herramientas necesarias para la ejecución del mismo y poder presentar estos resultados.

Agradecemos inmensamente a todos aquellos docentes que han sido parte importante en nuestra formación profesional impartiéndonos el pan del saber, regalándonos valiosos consejos, pero sobre todo brindarnos su amistad, es por ellos que hacemos mención especial a los docentes; MARIO CHAVEZ (q. e. p. d), JOSE LUIS SUAZO, GEMA VELASQUEZ, FRANCISCO ESPINOZA, MARVIN VALLES y ANTONIO ALVAREZ (q. e. p d.).

De igual manera agradecer a nuestros amigos de la carrera por todas las vivencias buenas y malas que nos han hecho crecer como personas y profesionales.

RESUMEN

El sitio de estudio se encuentra localizado al NW del Lago de Managua, en el municipio de La Paz Centro del departamento de León. El complejo volcánico Momotombo está situado en el extremo SE del segmento NW de la cordillera volcánica de los Maribios. Este complejo volcánico Momotombo durante el transcurso del tiempo ha venido evolucionando por su continua actividad vulcano-tectónica, lo cual ha generado cambios de su centro eruptivo hacia el S-E, teniendo como actual centro de emisión el Volcán Momotombo, por lo tanto, la erupción que se originó en 1905 tenía su centro de emisión al N-W, siendo este el resultado de la intensa actividad volcánica.

Desde el punto de vista geológico se lograron definir cuatro unidades litológicas principales en el área de estudio, 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.

El sitio de estudio está definido por cuatro estructuras geológicas, que se encuentran alineadas en dirección NW-SE, estas corresponden a estructuras volcánicas (Montoso, Los Palomos y Colorado), depresión de tipo caldérica (Monte Galán), y el actual edificio volcánico (Momotombo). La geomorfología del área de estudio está controlada por los procesos endógenos y exógenos, así mismo por procesos antropogénicos, de tal forma que se pudo identificar cuatro unidades geomorfológicas bien definidas en el complejo volcánico Momotombo, subdividiéndose en Unidad Caldérica, Unidad de Conos de lavas y Estratovolcán, Unidad de Flujos Lávicos y Unidad de planicie.

Estructuralmente se determinaron dos fases de deformación, la primera fase de deformación consiste en fracturas paralelas con esfuerzos principales en dirección NW-SE localizado en el cerro Los Palomos, la segunda fase de deformación

consiste en fracturas paralelas con esfuerzos principales en dirección NE-SW localizados en la parte SW de la caldera Monte Galán.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

La intensa actividad volcánica que se ha venido dando desde la época Terciaria hasta los últimos días, teniendo como resultado la cadena volcánica de Nicaragua, debido a las condiciones geológicas regionales con relación a la zona de subducción conformadas por la Placa Cocos y la Placa Caribe, lo cual ha ocasionado el origen del Graben de Nicaragua y la Cordillera Volcánica de los Maribios, esta se extiende paralela a la Costa del Pacífico, y compuesta por volcanes activos , estructuras caldéricas , estructuras volcánicas residuales y lagunas cratéricas (Wyk de Vries,1993).

El presente documento es el resultado del estudio investigativo llevado a cabo en el volcán Momotombo y sus alrededores, este estudio fue realizado con el apoyo de los Fondos para Proyectos de investigación (FPI) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, (UNAN-Managua).

El trabajo investigativo contempla principalmente la identificación y descripción de las unidades litológicas y estructurales del complejo volcánico Momotombo, resultados obtenidos mediante el análisis del ambiente geológico, mediciones estructurales y muestreo de rocas, que conllevaron a determinar las características litológicas en cada unidad, e identificar y determinar las nuevas unidades litológicas originadas como consecuencia de las recientes actividades eruptivas del volcán Momotombo. La finalidad de la investigación fue la actualización cartográfica del volcán Momotombo abarcando un área de 70 km², donde se proyectaron las unidades litológicas identificadas y corroboradas durante las campañas de campo en el complejo volcánico Momotombo y así realizar el mapa geológico a detalle a escala 1: 20,000.

Pretendemos que los resultados que se lograron obtener en la realización de este documento sea un aporte para futuras investigaciones geológicas en la zona del volcán Momotombo.

1 LOCALIZACIÓN

El volcán está ubicado al NW del Lago Xolotlán (Lago de Managua), en el Municipio de La Paz Centro del departamento de León, en las coordenadas UTM 13 73502 N, 550171 E, entre los cuadrantes de los mapas Malpaisillo hoja topográfica No. 2853-I, La Paz Centro hoja topográfica No. 2853-II, Momotombo hoja topográfica No. 2953-III, San Francisco Libre hoja topográfica No. 2953-IV. El área de investigación abarca 70 km². A continuación, se presenta la **(Tabla No. 1)**, que contiene los vértices y coordenadas que forman los límites del área de estudio **(Figura No. 1)**.

TABLA 1. Coordenadas del Sitio de Investigación

Vértices del Área	Coordenadas UTM WGS 84. Hoja Topográfica 2853 - II	
	Este	Norte
1	542008	1378990
2	553045	1379125
3	553058	1370983
4	547986	1370959
5	548002	1374016
6	544005	1373998

Las vías de acceso de Managua hacia el Volcán Momotombo son por medio de la carretera nueva a León (asfalto de primer orden), carretera No. 28, desviándose al Norte en el km 56, tomando el camino de segundo orden (mecanizado de todo tiempo), hasta llegar a puerto Momotombo y lugar del Proyecto de la energía Geotérmica, rodeando el volcán Momotombo hay caminos vecinales de fácil acceso, al N a Malpaisillo, al NE caminos de las haciendas El Papalonal en la cual hay trochas para el ingreso (INETER-1982).

“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

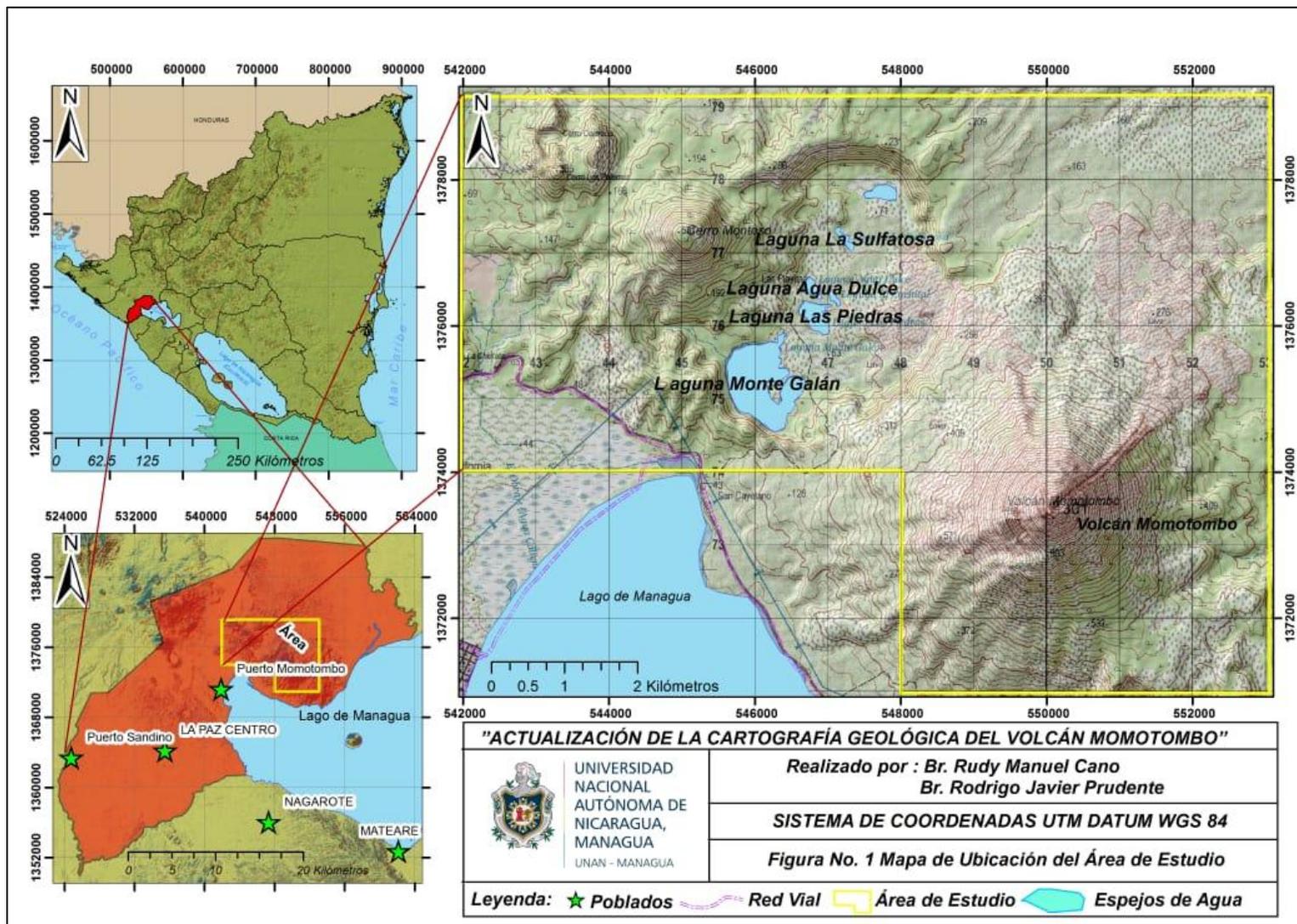


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

1.2 ANTECEDENTES

En el proceso de la revisión bibliográfica de la temática, se logró encontrar a nivel nacional los siguientes estudios relacionados al tema de investigación (**Figura 2**), los cuales nos servirán como información base durante el desarrollo del trabajo geocientífico.

Las primeras investigaciones relacionadas al volcán Momotombo fueron estudios enfocados a geotermia en Nicaragua, estas investigaciones en el área de Momotombo se ejecutaron en el año 1966 por la empresa Electroconsult, y en el año 1974 fue perforado el primer pozo de exploración geotérmica por parte de la Empresa Nacional de Luz y Fuerza (ENALUF). Mediante estas perforaciones lograron obtener información estratigráfica del subsuelo hasta profundidades de 1,000 metros.

Durante la fase de exploraciones del desarrollo del campo geotérmico, también fueron realizados estudios de carácter geológico, geofísico, geoquímico y de ingeniería del reservorio geotérmico, en base a todos estos estudios se contribuyó a una amplia información del medio geotérmico, permitiendo así el análisis y descripción de la estratigrafía de testigos de pozos perforados, para posteriormente llevar a cabo la etapa de explotación del recurso geotérmico en el costado S del volcán Momotombo.

- **Moore et al., 1981.** Los autores realizan estudio para determinar la distribución de temperaturas en el campo geotérmico del volcán Momotombo de Nicaragua, ejecutan un reconocimiento de las estructuras volcánicas (La Guatusa, Caldera Monte Galán, Cerro Montoso, Cerro Colorado-Cerro Los Palomos), elaboraron columnas estratigráficas para determinar las diferentes unidades litológicas, así mismo hacen una correlación estratigráfica de los diferentes grupos en diferentes episodios volcánicos, también plasman

mapas de isopacas de unidades distintas, proponen mapas de isotemperaturas a profundidades múltiples.

Las rocas encontradas por estos autores son lavas de composición basáltica y andesitas basálticas y tobas.

- **Menyailov. I. A. et al., 1986.** El estudio realizado consiste en el análisis de la temperatura, composición química de los gases en las fumarolas y la datación de los elementos químicos que conforman estos gases, con el fin de encontrar indicadores geoquímicos de erupción y la posible causa de variación de la temperatura y de la composición de gases durante un periodo interactivo de la actividad del volcán Momotombo.

Hacen mención del nuevo cono eruptivo (volcán Momotombo) y de las rocas lávicas de composición andesítica y basálticas, además de la escoria que forman parte del volcán Momotombo.

- **Combredet et al., 1987.** En este estudio realizaron una correlación petrográfica de núcleos y análisis de los fluidos hidrotermales en los cristales de cuarzo, situado en la planta geotérmica del volcán Momotombo Nicaragua.

El tipo de roca encontradas por estos autores corresponden a lavas de composición andesítica, basalto andesitas, tobas e Ignimbritas.

- **Quisefit J.P. et al., 1989.** La contribución de estos autores refiere a la evolución del enfriamiento de los gases volcánicos del volcán Momotombo de Nicaragua, también realizan observaciones de modelos termoquímicos y muestreo de análisis de los gases, plasman esquemas de las diferentes temperaturas que posee cada componente de incrustaciones bajas, de igual

manera proponen esquemas de las concentraciones elementales de condensados recogido en el volcán Momotombo.

- **Servicio Geológico de la Republica Checa, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, 2001.** El principal aporte realizado por estos autores asociados a este trabajo, se relaciona al reconocimiento de grupos litoestratigráficos que se presentan en el volcán Momotombo y sus alrededores. Además, el de reconocer índices de peligros geológicos (endógenos y exógenos) en el volcán Momotombo.

Los grupos litoestratigráficos que definen estos autores 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.

- **Frische et. al., 2006.** El aporte de estos autores, se enfoca más que todo en la realización de métodos analítico de fumarolas emplazadas en el cráter del volcán Momotombo y elaboran esquemas donde correlacionan los gases de tres fumarolas que se encuentran en el cráter del volcán, concluyen que los gases de las fumarolas poseen gran similitud en cuanto a sus componentes volátiles.
- **Briceño. F., 2015.** Realizó un estudio en mención de Geo estadística aplicada a la vulcanología con un enfoque al análisis probabilístico del historial eruptivo de los volcanes más importantes de Nicaragua.

Según el autor la probabilidad de ocurrencia de erupción en la cadena volcánica Nicaragüense es de 90 % y específicamente en el volcán Momotombo es de 83.3 % con un intervalo de 1-2 años.

“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

→ **Porras et al., 2007.** Realizó un análisis de modelamiento numérico del sistema geotermal del Momotombo, Nicaragua. En el que menciona el reconocimiento de seis unidades litológicas basadas en perforaciones realizadas por las empresas geotérmicas.

Las unidades litológicas reconocidas por el autor van desde Basaltos, Dacitas, rocas volcanoclasticas, tobas, sedimentos y rocas sedimentarias e intrusivas.

→ **Salinas E. et al., 2015.** Realizaron un análisis de la percepción de la amenaza volcánica del volcán Momotombo- Puerto Momotombo, estos autores generaron mapas de amenaza por colada de lava y caída de Tefra del volcán Momotombo y sus alrededores.

→ **Alemán M., 2017.** Realizó un estudio que consistió en la cartografía Geológica de 16 km² del campo geotérmico ubicado en el sector S del volcán Momotombo.

“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

La autora define tres unidades litológicas en el área de interés, las que se nombran a continuación: unidad de depósitos piroclásticos, unidad de andesitas basálticas y unidad de andesita.

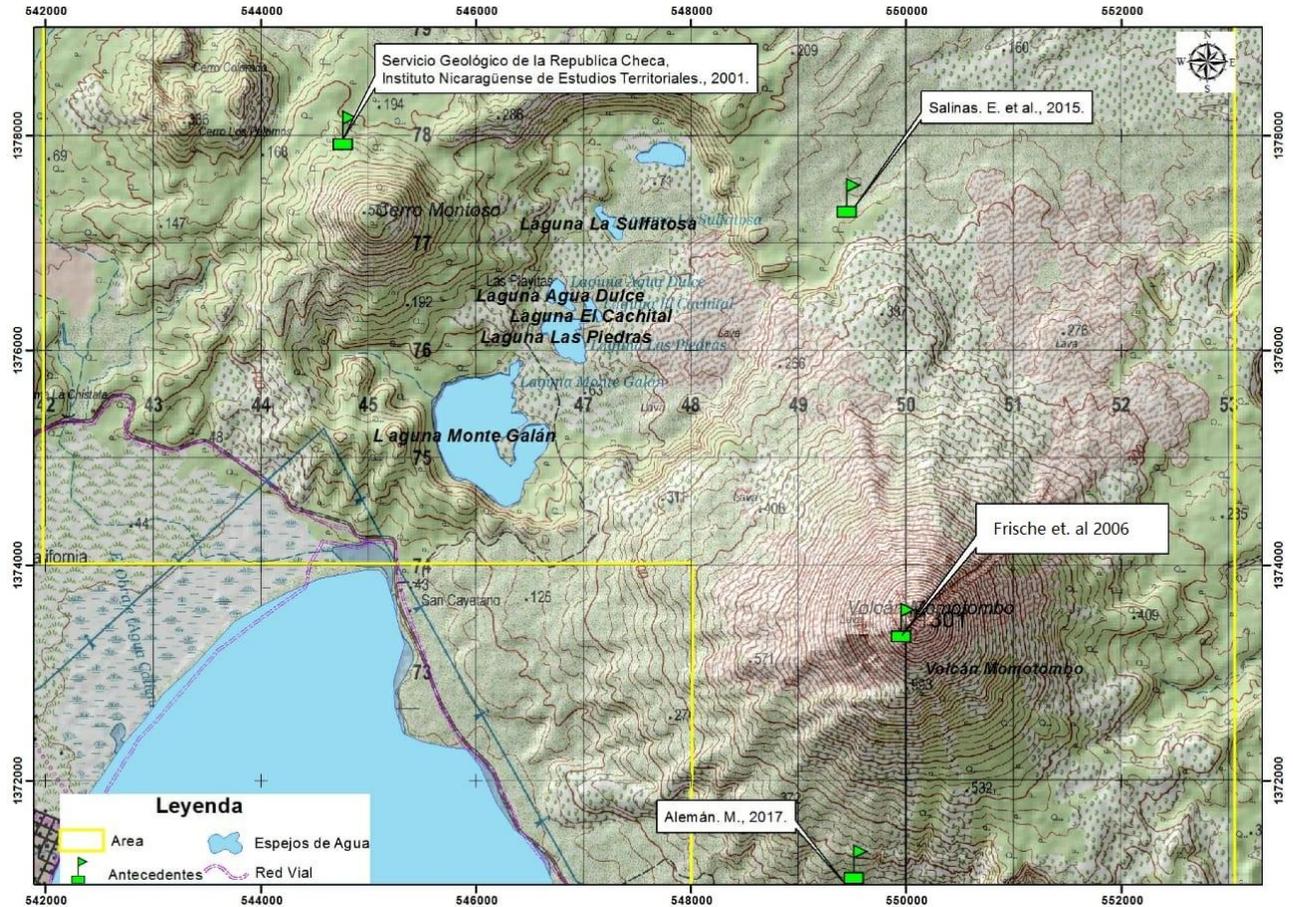


Figura 2. Mapa de Antecedentes de los estudios realizados en el volcán Momotombo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Durante la historia geológica del complejo volcánico Momotombo se registran una considerable cantidad de actividad sísmica y eruptivas que se han generado en el pasado geológico de este lugar y recientemente es el actual volcán Momotombo que presentó actividad eruptiva entre 2015 y 2016, siendo así el principal causante de los cambios de la morfología de la superficie terrestre.

El principal factor que hace necesaria esta cartografía Geológica es el ambiente vulcano-tectónico y los cambios que este genera en el sitio de interés. Es por ello que la cartografía geológica se hace necesaria, ya que esta contribuye para evaluar y determinar las condiciones de las formas topográficas de la superficie terrestre en las que se encuentra el área de estudio.

Es de suma importancia mencionar que los estudios geo-científicos que se han realizado en este complejo volcánico se remontan a los años 1981- 2006 y el más reciente en el año 2017. Este último estudio realizado consistió en la cartografía geológica de una porción del complejo Momotombo, específicamente de 16 km² del sector S donde se ubica el campo geotérmico Momotombo. Mientras que nuestro estudio se concentra en la cartografía de 70 km² que abarca el volcán Momotombo y las estructuras volcánicas ubicadas al NW.

Es por ello que la presente investigación se realizó con el fin de aportar información reciente en cuanto a la actualización cartográfica geológica del volcán Momotombo, ya que los estudios geotérmico en el que se realizó un mapa geológico del área en general del Momotombo es del año 2001 y durante los años siguientes este volcán ha mostrado dos actividades que corresponden a diciembre del 2015 y febrero del 2016, lo cual ha venido a modificar la morfología del lugar y el entorno mediante el material emanado del volcán durante dichos eventos eruptivos, lo que hace

“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

necesario que se ejecute este tipo de investigación para que se permita realizar una actualización en la cartografía del complejo, donde se anexe estos nuevos materiales rocosos presentes en el área de estudio.

Se pretende que el presente estudio sea de gran utilidad para futuras investigaciones geológicas, mediante se promueva e impulse más a detalle el conocimiento geológico y volcánico de Nicaragua.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar una actualización Cartográfica Geológica en el volcán Momotombo y sus alrededores a escala a 1:20,000.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las unidades litológicas presentes en el área de estudio.
- Analizar la cinemática y dinámica de las estructuras geológicas principales encontradas en los alrededores del volcán.
- Realizar un análisis petrográfico de las muestras tomadas en el levantamiento geológicos.
- Proponer la secuencia litoestratigráfica de la zona de estudio.

CAPITULO II. DISEÑO METODOLÓGICO

Los estudios geológicos se realizaron mediante revisiones de informaciones de la zona en estudio, fotointerpretaciones y campañas de campo los cuales se hicieron muestreos de rocas, mediciones de rumbos y buzamientos de estructuras presentes, elaboración de columnas estratigráficas, análisis mineralógico y petrográfico para poder describir la composición mineralógica y clasificación de la roca.

Teniendo como resultado de todos estos parámetros se facilitó la elaboración de mapas preliminares que nos permitieron definir rasgos geológicos y estructurales que luego fueron corroborados en campo (**ANEXO 1**).

- Mapa Geológico-Estructural a escala 1:20,000
- Mapa de Curvas a escala 1:20,000
- Modelo de Sombra a escala 1:20,000
- Mapa de Pendiente a escala 1:20,000
- Mapa Geomorfológico a escala 1:20,000

Las herramientas metodológicas utilizadas para la realización del proyecto de investigación son las siguientes:

2.1 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio de esta investigación tiene un carácter cualitativo y cuantitativo, ya que todo el trabajo realizado se presenta como funciones descriptivas y funciones numéricas que permitan cuantificar (fallas, fracturas, diaclasa, rocas, indicadores cinemáticos etc.), donde se plasman las características generales y toda la información colectada en mención a investigaciones en la zona del volcán Momotombo.

Descripción del ámbito de Estudio

El estudio se llevó a cabo en el volcán Momotombo y sus alrededores, este complejo volcánico está conformado por las siguientes estructuras volcánicas; La Guatusa, Caldera Monte Galán, Cerro Colorado, Cerro Los Palomos, Cerro Montoso y el volcán Momotombo. Tienen una edad aproximada de 4,500 años y se encuentra ubicado en la parte NW del Lago Xolotlán.

Enfoque de la investigación

El proyecto de investigación abarca dos parámetros correspondientes, los cuales se enuncian a continuación: cualitativo y cuantitativo, por medio de estos parámetros se logró realizar una serie de recopilación de información en relación al tema de investigación, de igual manera se hizo una selección de la información que sería la necesaria y la más importante a plasmar en el documento.

Universo-Muestra

El universo de nuestra investigación corresponde a los 70 km² del área en estudio que será actualizada mediante la cartografía geológica. En cuanto a la muestra de nuestra investigación corresponde al estudio a detalle de todas aquellas unidades litológicas y de estructuras geológicas que se presentan dentro de nuestro universo de investigación, se realizaron 4 secciones delgadas de las diferentes muestras tomadas en toda la zona de estudio

Línea de investigación

Esta etapa del proyecto tiene como línea: Investigaciones geológicas que dentro de ello involucra la cartografía geológica.

2.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE GABINETE

Esta etapa consiste básicamente en la recopilación de documentos que estén relacionados con el tema de dicha investigación. El proceso fue llevado a cabo mediante dos pasos como son: Revisión Bibliográfica y la elaboración de Mapa Base.

❖ Revisión Bibliográfica.

Para la elaboración del trabajo investigativo fue necesario la recopilación de toda la información existente relacionada al tema y al área de interés; estudios (geológicos, geofísicos, hidrogeológicos, entre otros), tesis monográficas relacionadas al mismo, fotografías aéreas a escala 1: 40,000, imágenes Radar año 2016, Boletines científicos emitidos por INETER entre 2004-2014, mapa topográfico y geológico regional editados por INETER a escala 1.50,000.

❖ Elaboración de mapa base.

Una vez obtenida toda la información existente se procedió a elaborar y diseñar el mapa base; el cual fue elaborado a partir del análisis e interpretación de fotografías aéreas de los años 1996, e imágenes satelitales Landsat a escalas 1: 40,000 y 1: 20,000 respectivamente. Además, se analizó el modelo de sombra de Nicaragua con resolución de 1: 30 con curvas de nivel cada 10 metros, así como el modelo de elevaciones del terreno (DEM) del que se obtuvo el mapa de pendiente que en conjunto con la fotointerpretación permitió la identificación de patrones estructurales y contactos litológicos, permitiendo la elaboración de nuestro mapa base a escala 1: 20,000.

2.3 METODOLOGÍA DEL TRABAJO DE CAMPO

En esta etapa se procedió a corroborar las unidades litológicas y estructurales obtenidas a través del análisis de fotografía aéreas reflejadas en nuestro mapa preliminar siendo este nuestra base para localizar las zonas más representativas tales como afloramientos donde se expusieran la litología de las rocas e indicadores cinemáticos, con el propósito de tener una mejor perspectiva de la dinámica estructural que experimenta el complejo volcánico Momotombo.

El levantamiento consistió en mediciones directas de rumbo, buzamiento y longitudes de las diferentes estructuras del área de estudio. Se realizó un muestreo de rocas encontradas en campo (**ANEXO 2**) a la que se le realizaron una descripción macroscópica y levantamiento de columnas litológicas. Durante este proceso fue posible observar en algunas zonas espesores de rocas y materiales piroclásticos desde 1 m hasta más de 10 m, de igual manera se hizo un reconocimiento de las morfologías de las estructuras volcánicas del área de estudio para determinar las unidades geomorfológicas que presentan el complejo volcánico Momotombo.

Se fotografiaron cada uno de los afloramientos presentes en el área de estudio con el propósito de poder justificar el presente trabajo realizado, por lo tanto, los puntos visitados con mayor representación geológica se captaron con un sistema de posicionamiento (GPS) con la proyección geográfica UTM y DATUM WGS-84.

Para la ejecución correcta de esta etapa se necesitó de los instrumentos que se muestran a continuación:

2.4 TRABAJO DE LABORATORIO E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Una vez culminada la etapa de levantamiento geológico de campo esta información fue interpretada y procesada; esto se hizo mediante la ayuda de: revisión de diccionarios técnicos geológicos, análisis microscópico y la utilización del software ArcGis 10.2.

Esta última fase de trabajo se efectuó de la siguiente manera:

1. Procesamiento de toda la información recolectada durante las campañas de campo, de igual manera la interpretación de perfiles geológicos, columnas estratigráficas y delimitaciones de contactos geológicos.
2. Se realizó una descripción petrográfica de muestras de rocas mediante preparación de secciones delgadas, para determinar la composición mineralogía que presenta y así poder asignar el nombre que le corresponde a cada una de las muestras recolectada en los diferentes puntos visitados durante giras de campo.
3. Se elaboraron 4 secciones delgadas de las muestras recolectadas en campo y así poder definir sus características petrográficas de cada una de ellas, para este análisis se utilizó el Microscopio Petrográfico, con el propósito de conocer las diferentes variantes de texturas presentes en cada muestra, por otro lado, determinar minerales primarios y secundarios, en base a ello podemos definir el tipo de roca que más predomina en el complejo Momotombo.
4. Se procedió a la digitalización de mapas a escala 1:20,000, este proceso digital se amplió en el Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual será ejecutado con el Software ArcGIS versión 10.2.

2.4.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para realizar el análisis estructural fue necesario tomar mediciones de rumbo de las fracturas encontradas en los afloramientos observados en campo teniendo como resultado la toma de 150 mediciones de rumbos (**Anexo 3 y 4**) los cuales fueron agrupados y procesados en el software Auto-Cad 2017. Además, de esto se generaron mapas preliminares tales como mapa altimétrico, mapa de relieve de sombra y mapa topográfico los cuales permitieron determinar rasgos estructurales del área de estudio. Estos mapas se describen a continuación:

❖ Mapa Topográfico.

En ellos se incluyen curvas de nivel, que permiten reflejar la forma de la superficie del terreno, dentro del mismo existe una utilización de colores en los diversos niveles con otros símbolos que nos permite reconocer montañas, valles, ríos, y otras características del terreno.

Con la interpretación y análisis que reflejan las curvas de nivel se pueden manifestar tres regiones predominantes en el sitio de investigación.

La primera región se encuentra ubicada en el sector central del área de estudio, lo cual está enmarcada por curvas de nivel muy continuas y de forma concéntrica alargada en sus extremos, la cual está representado por una estructura geológica como es la Caldera Monte Galán, ya que dentro de ella se encuentran emplazadas cinco lagunas, las curvas de nivel marcan zonas bajas con una altura que van de 60 a 150 m la curva mayor (**Figura 3**).

La segunda región se encuentra ubicada en el sector S-E donde se encuentra una de las estructuras geológicas más representativa, como es el volcán Momotombo correspondiente a la cadena volcánica de Nicaragua, esta zona es la que posee valores de curvas de nivel muy continuas, de forma circular que van de la curva 200 a 1260 m (**Figura 3**).

“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

La tercera región se localiza en el sector N-W del área de investigación se localizan cuatro estructuras geológicas pequeñas, la cuales corresponden a conos de escorias y flujos de lava, caracterizadas por curvas de nivel menores que oscilan entre 120 a 520 m la curva mayor de igual manera presenta formas concéntricas irregulares, cabe mencionar que estas estructuras geológicas están alineadas a la línea tectónica de Nicaragua (**Figura 3**).

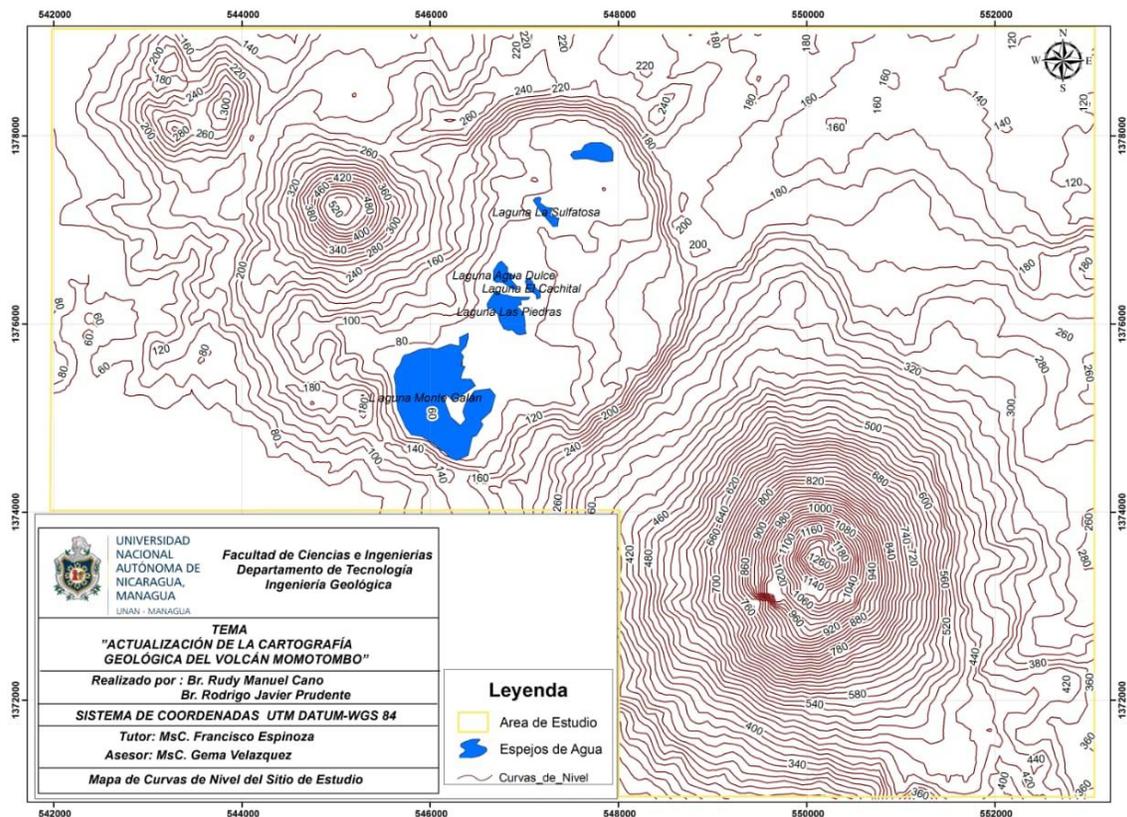


Figura 3. Mapa Topográfico del volcán Momotombo.

❖ Mapa de Relieve de Sombra.

Este plano de modelo de relieve sombreado se encuentra ligado con el mapa topográfico, de igual manera también con la ayuda de las fotografías aéreas, esto nos ayuda a una mejor visualización de la morfología del terreno, estructuras presentes y rasgos litológicos en la región de investigación.

Este mapa nos brinda gran información de suma importancia, ya que nos permite poder visualizar de una forma más detallada la morfo estructura, contactos litológicos, dirección de flujos de lava, lineamientos de estructuras volcánicas y fallas geológicas

❖ **Mapa Altimétrico.**

Este representa las diferentes elevaciones topográficas por medio de tonalidades de colores bien marcados.

En este caso se usó tonos de colores que fuesen de acorde con las elevaciones representadas, dando así tonos de baja intensidad a aquellas zonas con menor elevación y aumentando la intensidad de colores a medida que las elevaciones lo requirieran. Con la finalidad de que nos permita visualizar con mayor exactitud los rasgos estructurales y alineamientos volcánicos.

Al sur este del área de estudio se visualiza una estructura volcánica de nombre Momotombo, marcado con tonalidades de colores fuertes en alusión a ser la estructura geológica predominante de mayor elevación, alturas que varían desde 460 hasta 1260 m. en la parte central se observa la menor elevación del área de estudio marcado con tonos de menor intensidad, alturas que varían de los 60 hasta los 150 m, este corresponde a la caldera denominada Monte Galán.

En la parte noroeste del área de estudio se identificaron dos estructuras semicirculares que están alineadas en dirección N-W, la de mayor altura de estas dos estructuras varía de 300 hasta 520 m, denominado cerro Montoso. Una de estas estructuras se encuentra subdividida en tres estructuras semi circulares con alturas promedio que varían de 180 hasta 300 m para estas tres subestructuras.

2.4.2 INTERPRETACIÓN PETROGRÁFICA

De las muestras que se recolectaron durante las campañas de campo se seleccionaron aquellas muestras encontradas en zonas representativas y que se hallaban con menor porcentaje de alteraciones, el objetivo de esta selección fue la realización de secciones delgadas (**Anexo 4**) de dichas muestras para determinar los minerales formadores de la roca que permitieran así definir la unidad litológica del sitio.

2.4.3 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Para realizar el análisis Geomorfológico y poder definir las unidades geomorfológicas que se presentan en el área de estudio se elaboraron mapas morfométricos tales como altimétrico, de drenaje, y de energía de relieve. Estos mapas permiten tener información de la morfología del área de estudio lo que conlleva a poder clasificar el relieve, en cuanto a la morfología, longitud, alturas, pendientes y orientaciones.

A continuación, se mencionan los mapas morfométricos que se elaboraron en esta etapa y que nos permitió clasificar las unidades geomorfológicas del área de estudio:

- Mapa Altimétrico

Este representa las diferentes elevaciones topográficas por medio de tonalidades de colores bien marcados.

En este caso se usó tonos de colores que fuesen de acorde con las elevaciones representadas, dando así tonos de baja intensidad a aquellas zonas con menor elevación y aumentando la intensidad de colores a medida que las elevaciones lo requirieran. Con la finalidad de que nos permita visualizar con mayor exactitud los

niveles de elevaciones que existen en el área de estudio y los rasgos estructurales y alineamientos volcánicos.

- Mapa de Drenaje

La elaboración de este mapa nos permite determinar clasificar el tipo de drenaje y las corrientes en ordenes numéricos de acuerdo al criterio: una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 solo tiene tributarios de primer orden (Aparicio,1992).

- Mapa de Energía de Relieve

La elaboración de este mapa sugiere la división del mapa topográfico en cuadrantes de 4 km², con el fin de determinar la diferencia máxima en metros, se toma la altura máxima de la curva de nivel que este dentro de cada cuadrante, de igual forma se realiza el mismo procedimiento para determinar la curva de menor elevación, una vez realizado este procedimiento se procedió a restas las curvas de mayor altura con la de menor altura en cada cuadrante. Obteniendo así los diferenciales de alturas que expresan la relación que existe la diferencia de altura con respecto a los esfuerzos que estos experimenten.

Las elaboraciones de todos los mapas utilizados para estos dos análisis fueron realizadas mediante el software ArcGis 10.2, haciendo uso de las herramientas ArcMap, ArcToolbox y ArcCatalog aplicaciones que contiene este software.

2.5 ETAPA FINAL

En base a la interpretación de todo lo alcanzado en las diferentes fases de la investigación, se llevó a cabo la elaboración del documento final, con sus respectivas representaciones graficas a través de la elaboración de mapas.

“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

En definitiva, se englobaron todas las actividades que se ejecutaron durante las etapas que anteriormente se enunciaron, para plasmar finalmente la elaboración del documento final, introduciendo principalmente las investigaciones que otros autores realizaron en esta zona

CAPITULO III. MARCO GEO-TECTÓNICO Y GEOLÓGICO DE NICARAGUA

3.1 GEOTECTÓNICA DE CENTROAMÉRICA

Las placas tectónicas son estructuras rocosas rígidas, que forman la superficie de la tierra y el suelo de los continentes y océanos. Estas placas tectónicas flotan sobre masa ígneas metálicas más pesadas (magma) en el interior de la tierra. Sus movimientos provocan choques y roces siendo sus bordes las principales áreas de riesgo sísmico y volcánico (McBirney y Williams, 1965; Dengo, 1969).

Centroamérica es geológicamente joven, emergiendo entre hace 5 y 20 Ma (millones de años), formando actualmente parte de la Placa Centroamérica Caribe, que sigue emergiendo por subducción de la Placa Coco. En su extremo N se ubica la Placa Norteamericana, separada de la Placa Caribe por el sistema de fallamiento transcurrente denominado Motagua – Polochic de movimiento lateral izquierdo, limitada al S y al E por la Placa Sudamericana y al Oeste por la Placa Cocos. La Placa Caribe en su límite W está delimitada por la Fosa Mesoamericana que es paralela a la Depresión Nicaragüense (**Figura No. 4**).

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 (McBirney y Williams, 1965; Dengo, 1969). Esta depresión empezó a formarse a finales del Cenozoico, producto de los esfuerzos de tensión local que actúan en la cresta de un geoanticlinal, como consecuencia de la compresión regional que existe sobre la Fosa Mesoamericana.

La dirección de subducción de la Placa de Cocos por debajo del margen pacífico de la Placa Caribe, es ligeramente oblicua respecto al límite de placa que subduce con una inclinación de 25° en la parte superficial y 84° a profundidades de 100 y 220 km (Burbach, 1984 y Protti , 1993).

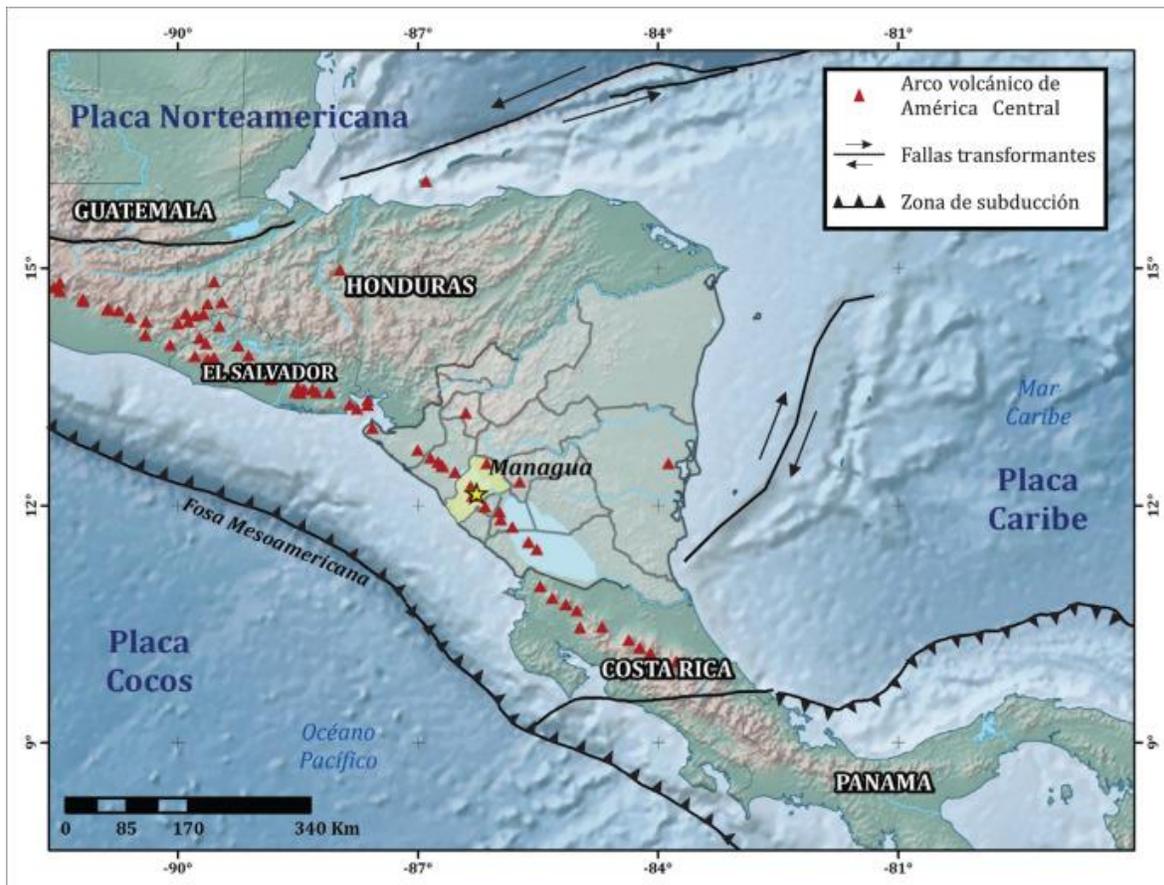


Figura 4. Tectónica regional de América Central (fuente modificada de Frischbutter (2002) y Avellán (2009).

El istmo centroamericano está dividido en tres elementos estructurales: El bloque Maya, El bloque Chortis y el bloque Chorotega:

El bloque Maya está limitado por la zona de fractura de Motagua-Polochic, abarca el Norte de Guatemala, Belice, la Península de Yucatán y el Oeste de México hasta el istmo de Tehuantepec (Dengo, 1993). El basamento del Bloque Maya es de naturaleza sedimentaria del paleozoico (Dengo, 1993).

El bloque Chortis está constituido por un basamento metamórfico de origen continental. Este bloque está definido desde la parte Sur de Guatemala, Honduras, la parte Norte y occidental de Nicaragua. Presentan una naturaleza continental, los

cuales se considera que estaban ligados a la parte occidental de la Placa de Norteamérica y que se movieron gradualmente hasta ocupar la posición actual como parte de la Placa Caribe.

El bloque Chorotega abarca la mayor parte de istmo Centroamericano, incluyendo la parte Sur de Nicaragua. Las estructuras que limitan este bloque son poco conocidas. El lineamiento escarpado de Hess limita este bloque por el NE, mientras que el sistema de fallas de Panamá lo separan del bloque Choco por el Este, (McBirney y Williams, 1965; Dengo, 1969).

3.2 GEOLOGÍA REGIONAL

La configuración geológica de Nicaragua se generó aparentemente en el paleozoico culminando con la intensa actividad volcánica, en los inicios del Cuaternario. Durante esta etapa la región nicaragüense estuvo siendo afectada por numerosos fenómenos, pero estos sucesos no incidieron de la misma forma en toda la zona del país (Mc Birney y William, 1956).

La geología regional de Nicaragua presenta edades del Mesozoico Inferior al Cenozoico. Dentro de estas eras ocurrieron muchos eventos de origen geológicos como el establecimiento de la subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Caribe. Estos eventos marcaron la formación de potentes capas de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias distribuidas en todo el territorio con secuencias estratigráficas de diferentes épocas y edades. A continuación, se describirán de una manera generalizada cada uno de estos depósitos tomando en cuenta su edad, de la más antigua a la más joven.

❖ Mesozoico

A. Cretácico Inferior:

En el Cretácico Inferior se distinguen depósitos metamórficos, conocidos como Esquistos Verdes con diferentes grados de metamorfismo. Entre estas rocas tenemos filitas, esquistos sericíticos y micacitas filíticas (Del Guice D, 1960). En la

región de Siuna, se encuentran rocas sedimentarias de este período como: arenisca, lutita y caliza (Mills, R.A. & Hugh, K.E., 1974).

Estos depósitos de rocas afloran en el norte del país en la región del departamento de Nueva Segovia, parte del departamento de Jinotega y la frontera con Honduras, también, en la región de Siuna, (RAAS, Atlántico Sur). Los depósitos metamórficos presentan una edad del Cenozoico, en su Período Cretácico Inferior de ± 125 Ma (Del Giudice, 1960; Dengo, 1983 y Garayar, 1971).

B. Cretácico Superior Al Cenozoico (Paleógeno Eoceno):

En el período Cretácico Superior al período Paleógeno Eoceno se depositaron grandes espesores de rocas sedimentarias de origen pelágico y turbidíticos. La secuencia estratigráfica fue interrumpida varias veces con la deposición de materiales volcánicos e intrusiones ígneas. Así mismo, hubo levantamiento, hundimiento, invasión y retirada del mar. (Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D., 1958). Estos depósitos se encuentran en la franja costera del Pacífico, desde Corinto hasta la frontera Sur con Costa Rica, al Oeste desde la Plataforma Continental del Pacífico, al Este hasta la Cordillera de Mateare (Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D., 1958).

En estos depósitos, se han identificado 5 formaciones y 1 grupo: Formación Rivas, Formación Brito, Formación Masachapa, Formación El Fraile, Formación El Salto y Grupo Tamarindo, cuyas edades varían de ± 72.1 a ± 26 Ma, (Zoppis Bracci, L & Del Giudice, D., 1958; Paz Rivera, 1964).

❖ Cenozoico

A. Paleógeno Oligoceno al Neógeno Plioceno:

Los depósitos de rocas del Cenozoico se formaron producto de intensas actividades volcánicas, dejando gran volumen y predominio de rocas volcánicas. Estos depósitos afloran al Oeste con la Depresión Nicaragüense, al Sur con el río Indio y al Este, con las planicies de la Costa Atlántica. McBirney & Williams (1965), clasificaron este depósito en dos grandes grupos: Grupo Matagalpa y Grupo Coyol. Grupo Matagalpa: formado en la parte basal por sedimentos volcánicos, brechas laháricas, lavas basálticas y en menor cantidad, rocas andesíticas; la parte media está constituida por tobas e ignimbritas riolíticas, y la parte superior por lavas intermedias andesíticas a lavas félsicas, dacíticas y rocas piroclásticas. Se ha calculado que los depósitos rocosos de este grupo tienen una edad comprendida entre Oligoceno-Mioceno (± 23.03 a 7.25 Ma).

Grupo Coyol, formado por pequeñas capas de lavas máficas e ignimbritas andesíticas a dacíticas. La edad de este grupo se ha estimado entre Mioceno-Plioceno (± 7.25 a 2.6 Ma).

Ehrenborg (1996), propone una nueva estratigrafía para el Grupo Coyol y Matagalpa, en base a las facies distales de la fuente de emisión volcánica. Bajo este criterio los depósitos del Grupo Coyol se clasificaron de la siguiente manera: Domo Ríolítico, Escudo Estratiforme, Unidad Volcánica de Escudo- Estratiforme y Escudo Ignimbrítico.

Así mismo, Ehrenborg (1996), también describe una litología heterogénea de basaltos a basaltos andesíticos. Las rocas más comunes presentes en este grupo son: basalto, andesita, dacita, toba, ignimbrita, flujos piroclásticos dacíticos a riolíticos, brechas y aglomerados. A su vez, estos materiales son intruidos por domos riolíticos.

a. Cuaternario

Los depósitos de rocas Cuaternarias se encuentran paralelas a la faja costera del Pacífico de Nicaragua. Están contenidos principalmente dentro de la Depresión Nicaragüense, la que a la vez contiene la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaragüense y los lagos de Nicaragua (Paz Rivera, 1964; McBirney, A & Williams, H., 1965).

La litología que caracteriza esta unidad son depósito aluvionales intercalados con material piroclástico proveniente de la Cadena Volcánica Cuaternaria. Los depósitos piroclásticos se han agrupado en dos grupos: Grupo Las Sierras y Grupo Managua, cada uno con sus subdivisiones (Kuang, 1971).

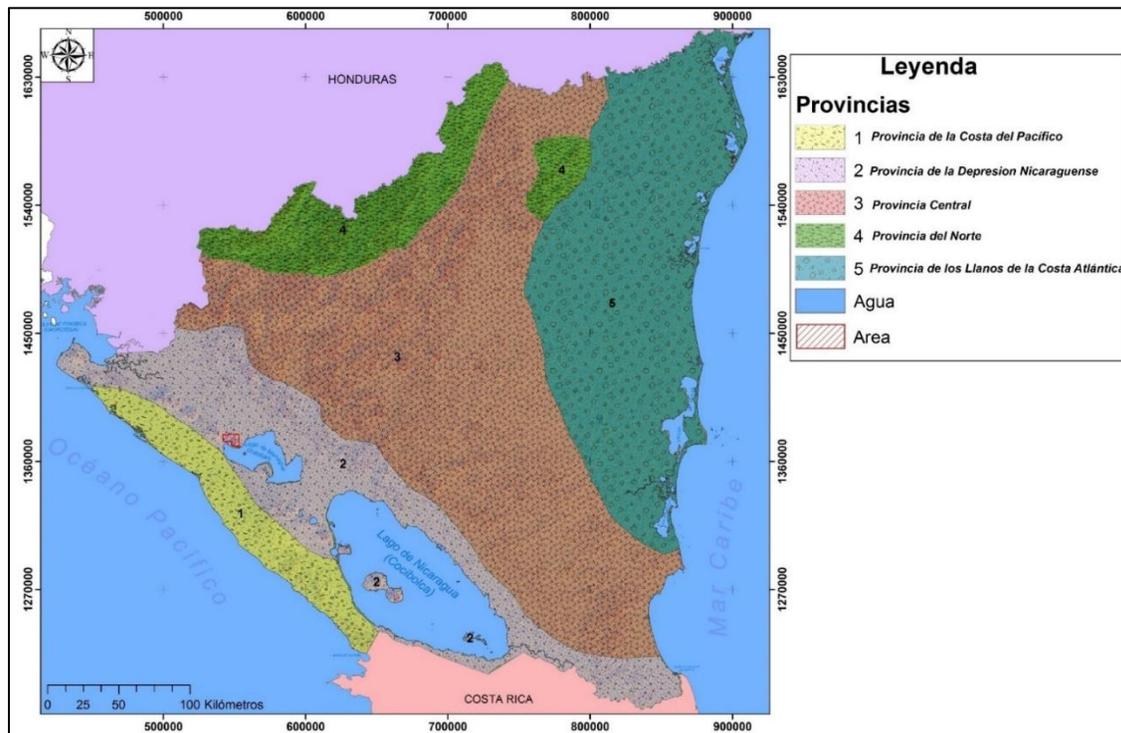


Figura 5. Provincias Geológicas de Nicaragua, (Redibujado de Hodgson, 1998).

3.2.1 GEOLOGÍA LOCAL

El área estudiada se ubica en el sector NW de Nicaragua, en un ambiente vulcano-tectónico de rumbo NW – SE que forma parte de la Depresión Nicaragüense. El complejo volcánico Momotombo se encuentra en el extremo SE del segmento NE y

comprende 5 estructuras volcánicas: Cerro Colorado, Cerro Los Palomos, Cerro Montoso, Caldera Monte Galán y el Volcán Momotombo (Espinoza, 2017).

La evolución geológica de este complejo se encuentra definida por sucesivas actividades eruptivas, lo que evidencia que el actual centro eruptivo creció sobre formaciones lávicas más antiguas, que afloran principalmente en los relieves de loma la Guatusa ubicado al SE y sobre algunas zonas de la caldera Monte Galán ubicada al NE (Van Vyck de Vries, 1993).

3.3 VULCANISMO CUATERNARIO DE NICARAGUA

La cadena volcánica de los Maribios se encuentra dentro del graben de Nicaragua (**Figura No. 6**), 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 intersecta 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 (Hodgson, 1978).

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 esta 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).



Figura 6. Cadena volcánica de Nicaragua (Base de datos INETER).

La cordillera constituye un área débil y fluida, constituyendo una fuente magmática para las frecuentes actividades volcánicas y movimientos sísmicos. Como la profundidad a la zona de subducción debajo de los volcanes es muy profunda debido a su fuerte inclinación, muy intensos movimientos sísmicos en la subducción no alcanzan la superficie (Hodgson, 1978).

Dentro de esta cadena volcánica nicaragüense se encuentra el volcán Momotombo, este volcán tiene unos 4,500 años de edad, presenta una altura aproximada de 1,258 m. Es un estratovolcán cuaternario, cuyo cráter más joven tiene 150 m de ancho por 250 m de largo y presenta fumarolas que mantienen una temperatura que oscila entre 500 y 900 °C (INETER, 2011).

En el historial eruptivo de este volcán se registran actividades eruptivas de tipo Estromboliano y en ocasiones actividades aún más explosivas (Smithsonian institution). El volcán ha permanecido en un estado constante de actividad fumarólica de alta temperatura (Menyailov, 1986).

Se han documentado eventos eruptivos de gran importancia que se mencionan a continuación: (Tomado del sitio web <https://web-geofisica.ineter.gob.ni/vol/momotombo/historia.html>).

- 1522, es el año en el que se obtienen los primeros registros de una marcada actividad eruptiva observado, en el volcán Momotombo.
- 1609, en este año el volcán Momotombo entro en etapa eruptiva acompañada de una gran cantidad de sismos en esa región, la ciudad de León Viejo fue trasladada en 1610 al asentamiento que actualmente ocupa la ciudad de León.
- Después de un largo tiempo de aparente estado de inactividad, en 1764 el volcán se presenta nuevamente en un periodo de crisis eruptiva con VEI 2 (índice de explosividad volcánica).
- En octubre del año 1885 el volcán Momotombo estuvo expulsando gran cantidad de gases con VEI 1 (índice de explosividad volcánica).
- En el mes de febrero del año de 1886, se observó fuego en el cráter durante las noches, y el 20 de mayo del mismo año entro en actividad eruptiva explosiva, emanando grandes cantidades de gases y ceniza hacia el lado occidente y lava en dirección a Managua.
- El día 23 de 1905 fueron completamente oscurecidas las ciudades de León, Corinto y Chinandega por una densa nube de ceniza procedente del volcán en erupción.
- En 1905 el volcán presento actividad, expulsando un flujo de lava.
- Existen registros del año 1918 que indican que durante el mes de abril el volcán descargo gran cantidad de gases pero que no represento ningún peligro.
- 2005 Actividad sísmica, magnitud 3.
- 2014 Actividad sísmica, magnitud 6.2.

“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

- 2015 luego de 110 años de calma, el primero de diciembre el volcán hizo una nueva erupción emanando cenizas, gases y lava.
- En la madrugada del 3 de enero a las 4:22 de año 2016, el volcán registró una explosión de gases y material incandescente, sin provocar daños.
- El 27 de febrero a las 9:01 de la noche del año 2016, se registró una fuerte erupción que estremeció los techos de la ciudad de León.



Foto 1. *Primera actividad volcánica registrada en el año 2015 luego de haber permanecido inactivo durante 110 años.*

El volcán Momotombo emanó una considerable cantidad de gases y cenizas además de lava.

Foto 2. *Fuerte erupción de gases, ceniza y lava registrada en el volcán Momotombo en el año 2016.*



Fotografías tomadas del sitio web de un diario nacional (<http://diariometro.com.ni/nacionales/55769-las-imagenes-mas-impactantes-de-la-actividad-del-momotombo/>).

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Las características geológicas y estructurales del área de estudio son definidas en base a la interpretación de fotografías aéreas, análisis del mapa topográfico, mapa de pendiente, mapa de modelo sombreado e imágenes satelitales, lo que permitió crear un mapa geológico.

Este mapa geológico tiene una escala 1:20,000, la litología y estructuras geológicas que se aprecian fueron definidas, corroboradas y detalladas a través de periodos de exploraciones de campo y de muestreo de roca, así como la elaboración de secciones delgadas y su debido análisis micro y macroscópico. Todo esto permitió crear el mapa geológico del área de estudio correspondiente a 70 km².

El área cartografiada presenta una zona compuesta de rocas extrusivas que corresponden a flujos de lavas de composición basáltica, andesítica, andesita basáltica y depósitos piroclásticos, proveniente de las estructuras volcánicas Momotombo, Cerro Montoso y Momotombo Viejo. Las rocas extrusivas que se mencionaron en el párrafo anterior forman la gran parte del área de estudio, se definieron estas zonas como unidades principales.

La geología del área de estudio está dividida entre rocas volcánicas recientes Cuaternarias que cubren la topografía, estas se pueden dividir en diferentes unidades litogenéticas que se mencionan de la más antigua a la más joven, teniendo en cuenta que la antigüedad de estas unidades está basada en el estudio de campo y no por dataciones, por lo que no se encuentra exenta de errores:

- Unidad I – Andesita – Basáltica.
- Unidad II – Andesita.
- Unidad III – Depósitos Piroclastos.
- Unidad IV- Flujos de lavas.

4.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

4.1.1 UNIDAD I – ANDESITAS -BASÁLTICAS

La unidad se localiza en la caldera Monte Galán ya que estas rocas son las que forman los escarpes de la caldera, además se encuentran en el sector S y SE del volcán Momotombo, estas rocas podrían estar relacionadas a las últimas fases del Momotombo viejo representadas por flujos lávicos de tipo AA de hasta 3 metros de altura y espesores entre 2 a 13 metros, de composición andesita basálticas, desplazadas sobre la superficie de forma masiva y bloques ásperos e irregulares, que cubren un área aproximada de 18 km².

Las rocas se encuentran afectadas por los esfuerzos de gravedad y tectónismo además de las notables alteraciones hidrotermales en algunos sectores. Lo que provoca un cambio de tonalidad en la apariencia de la roca. Teniendo rocas con tonalidades gris oscuro a gris claro, incluso rocas con tonalidad gris rojizo.

Las andesitas basálticas son frecuentemente hemicristalinas, porfídicas con matriz afanítica. Estas rocas tienen grandes extensiones muy amplias, pero en su mayor parte están cubiertas por rocas más jóvenes (INETER-CGU, 2004).



Foto 3. Frente del flujo de lava de 2.5 m de altura de composición andesítica basáltica ubicada en el sector SE del volcán Momotombo (Coordenadas UTM 551800 E; 1373350 N).



Foto 4. Bloques lávicos con alteraciones por Óxido de Hierro (Coordenadas UTM 551844 E; 1373548 N).

Macroscópicamente la muestra presenta una textura porfídica en una matriz afanítica, levemente vesicular, con una tonalidad gris claro, con abundante contenido de plagioclasas cálcicas. La muestra presenta una estructura en sus minerales masiva u homogénea lineal, es decir que los minerales que contiene la roca disponen de una dirección preferencial en este caso la dirección del flujo lávico que se ubica en el costado SE del volcán Momotombo.

Microscópicamente la muestra presenta una textura Glomeroporfídica, la sección se caracteriza por presentar grandes fenocristales que crecieron formando grupos unos en contactos con otros (**Foto No. 5**), observándose también la presencia de pequeñas burbujas de aire que quedaron atrapadas debido al enfriamiento rápido de estos flujos lávicos. Todos estos fenocristales se encuentran inmersos en una matriz microscópicamente no visible denominándose como una matriz criptocristalina.

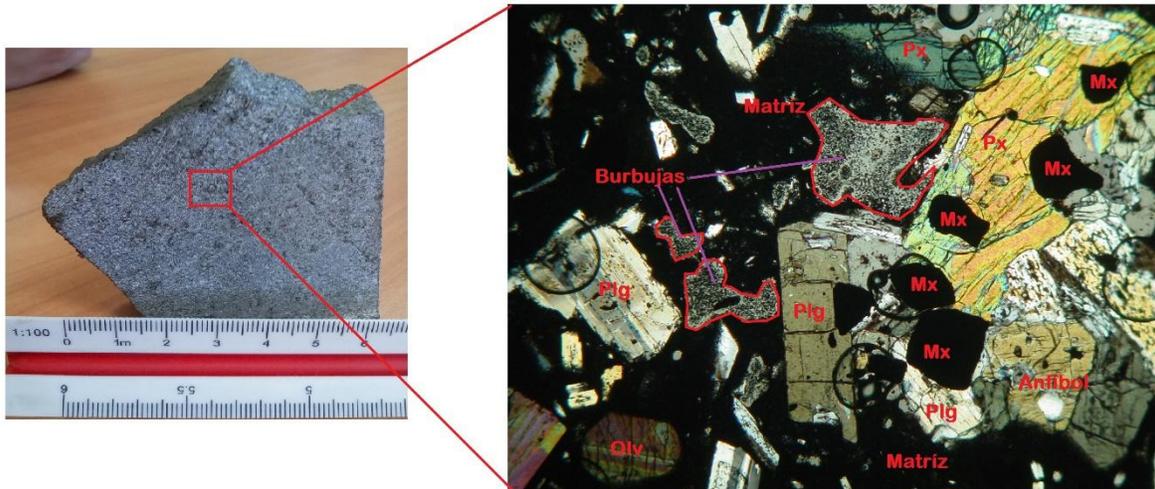


Foto 5. Lab 170006 Mtra. #1. Aumento x10, Coordenadas UTM 551800 E; 1373350 N, sección delgada de la unidad Andesita- Basalto, la muestra tiene una textura porfídica en ocasiones glomeroporfídica, se observan fenocristales de plagioclasas (Plg), piroxenos (px), olivino (Olv) y minerales metálicos (Mx), además de burbujas de desgasificación, estos fenocristales están inmersos en una matriz criptocristalina.

El 100 % de la muestra está dividido en un 5 % de minerales metálicos como óxido de hierro y magnetita, un 5 % de olivino, 5 % de Hornblenda, 15 % de piroxenos, 15 % de plagioclasas que se pueden observar como plagioclasas macladas y plagioclasas zonadas. Además, un 55 % restante está contenida en la matriz que microscópicamente no pueden ser visible su composición definiéndose como una matriz criptocristalina (**Foto No. 6**).

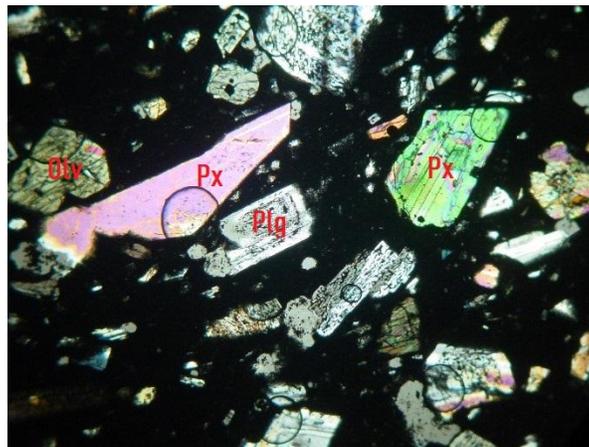


Foto 6. En la foto se observan fragmentos de plagioclasas (Plg), piroxenos (Px) y olivino (Olv) observados en nicoles cruzado.

4.1.2 UNIDAD II – ANDESITAS

Esta unidad es originada por materiales fundidos denominados como flujos lávicos de bloques de composición Intermedia que se transportan sobre la superficie y que se solidificaron relativamente al entrar en contactos con la temperatura ambiente, estos flujos además de ser formados por bloques presentan una superficie lisa en sus bloques (**Foto No. 7**).

Los numerosos flujos de lavas se desplazan sobre las laderas de Los cerros Montoso, Los Palomos y Colorado que presentan pendientes de 15° a 30° son pequeñas estructuras volcánicas, formados por estos flujos lávicos andesíticos que se orientan hacia el NW y hacia el NE. La otra zona en la que se presentan esta unidad es al NW del volcán Momotombo, teniendo una extensión total de 17 km² aproximadamente. Los frentes de estos flujos lávicos de composición Intermedia alcanzan una altura de hasta 5 metros y presentan una morfología de abanico poco visible por la presencia de vegetación.

La unidad se encuentra afectada por esfuerzos de gravedad, tectónismo, y alteraciones hidrotermales, lo que conlleva a la variación de textura, coloración de la roca y minerales de alteración. Estos flujos de lava en su mayoría se encuentran de forma masiva en grandes bloques y la tonalidad de las rocas de estos flujos va desde gris oscuro hasta gris rojizo con textura porfídica.



Foto 7. Flujo de lava de composición andesítica de textura masiva ubicada en el flanco SE del Cerro Motoso (coordenadas UTM 545299 E; 1376763 N).

Macroscópicamente la muestra presenta minerales que se pueden apreciar a simple vista, rodeados en una matriz fina (afanítica), estas características son denominadas como una textura porfídica. La roca presenta una estructura masiva que no tienen una distribución preferencial de sus minerales, los minerales que se logran observar son las plagioclasas, la roca no contiene alteraciones visibles. La muestra fue tomada en el flanco SE del cerro Montoso.

Microscópicamente muestra una textura Porfídica- Glomeroporfídica. La sección se caracteriza por presentar grandes fenocristales que han crecido formando grupos, unos en contactos con otros. Estos grupos de fenocristales pueden ser formados por un mismo mineral o por diferentes minerales y que se encuentran rodeados por la matriz de la roca, el tamaño de estos fenocristales varía en dependencia del desarrollo de los mismo (**Foto No. 8**).

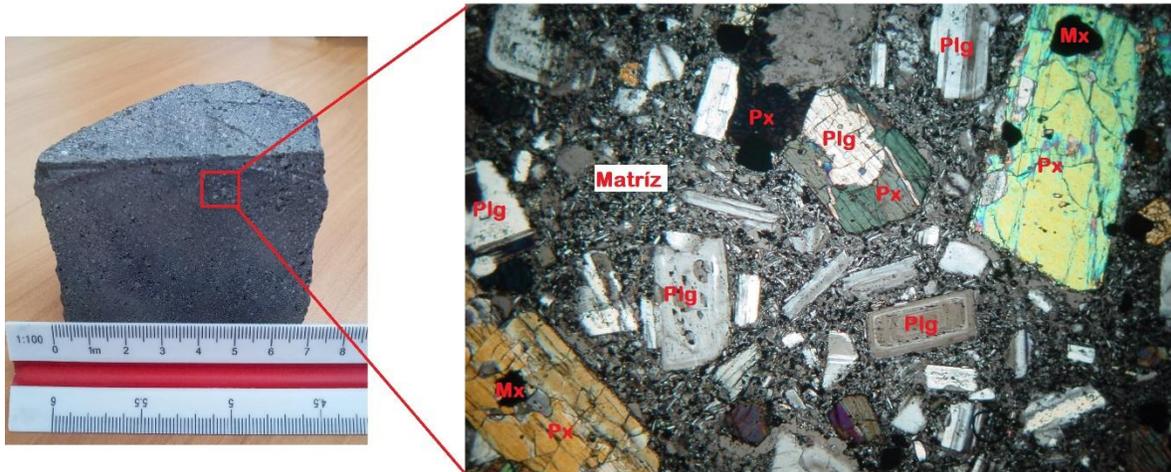


Foto 8. Lab 170007 Mtra. #2. Aumento x10, coordenadas UTM 545299 E; 1376763 N. sección delgada de la unidad Andesita, la muestra tiene una textura porfídica, se observan fenocristales de plagioclasas (Plg), piroxenos (px), Máficos (Mx), además de una zona de desgasificación, estos fenocristales están inmersos en una matriz vítrea.

La matriz de esta muestra se encuentra conformada por vidrio volcánico, definiéndose como una matriz vítrea con abundantes Plagioclasas y Piroxenos. Los fenocristales de Piroxenos se muestran como prismas cortos y largos con ángulo de extensión de 40° a 45° aproximadamente, la mayoría de estos minerales se encuentran corroídos en sus bordes por minerales metálicos.

Esta muestra contiene un porcentaje de un 10 % de minerales metálicos que corroen los bordes de algunos minerales, un 8 % de Hornblenda, un 15 % de piroxeno, 15 % de plagioclasas las que se pueden encontrar como plagioclasas macladas o plagioclasas sonadas y un 52 % restante que consiste en la matriz de la roca que se compone de vidrio volcánico.

4.1.3 UNIDAD III-DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS.

Durante el mapeo geológico se identificaron zonas de depósitos piroclásticos de caída, que se asentaron posteriormente del material ígneo que fue expulsado de forma explosiva, formando columnas de 5 hasta 10 m de altura, de igual forma se lograron encontrar Depósitos de escorias que se encuentran formando conos de escoria cuyo origen podría estar relacionado a fisuras producto de las ramificaciones del volcán Momotombo, de tal forma que esta Unidad fue subdivida en Depósitos de Escoria y Depósitos Piroclásticos de caída.

DEPÓSITO DE ESCORIA.

Se localiza en el costado S de la caldera Monte Galán. Esta unidad cubre un área de 4 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 basálticas y andesítica, este pequeños depósito de escorias es originados por las ramificaciones de la cámara magmática del volcán Momotombo que se presentan como fisuras en la superficie, estas fisuras experimentan actividad volcánica emanando material piroclástico de su base Hasta forma el cono de escoria **(Foto No. 9)**.

En la base de este cono se observa una capa de escoria de fragmentos finos (>10mm) y sobre esta se encuentra una capa de escoria con fragmentos más gruesos (≤ 20 mm). formando un ciclo de alternancia de capas, en cuanto al tamaño de los fragmentos de cada capa es homogéneo (Buena selección). Dada la dependencia que existe entre la energía de la erupción y la distancia que alcanza este tipo de material piroclásticos, las capas con tamaño más grueso implican una mayor energía durante la erupción.



Foto 9. Cono de escoria monogenético originado por fisuras producto de las ramificaciones de la cámara magmática del volcán Momotombo (coordenadas UTM 545722 E; 1374019 N).

DEPOSITOS PIROCLÁSTICOS DE CAIDA.

Se localiza en todo el entorno dentro de la caldera Monte Galán, con un aproximado de 4 km². Se observaron capas compuestas por material fino (>2mm) y hasta bloques de lapilli (2 – 64 mm) con intercalaciones de toba y pómez. Estos depósitos piroclásticos se asumen son procedentes de la caldera Monte Galán producto del colapso de la misma que incluso afloran en cortes al N de la caldera (**Foto No. 10**).

Esta unidad es el resultado del material expulsado durante las actividades eruptivas pasadas que han venido relleno a esta estructura caldérica (Monte Galán). Se observan estos depósitos aflorando en la parte central de la caldera teniendo como base un lapilli con diámetros que van de los 2 a 64 mm, formando capas con espesores de 20 cm hasta 2 metros de altura, seguido de una capa de ceniza fina (>2mm) formando capas de 5 hasta 30 cm de alto y sobre esta se encuentra una capa de pómez con espesor de 4 cm hasta 1 m de alto en algunas zonas. Estos

horizontes de cenizas y pómez solo fueron observados en la parte S dentro de la caldera.

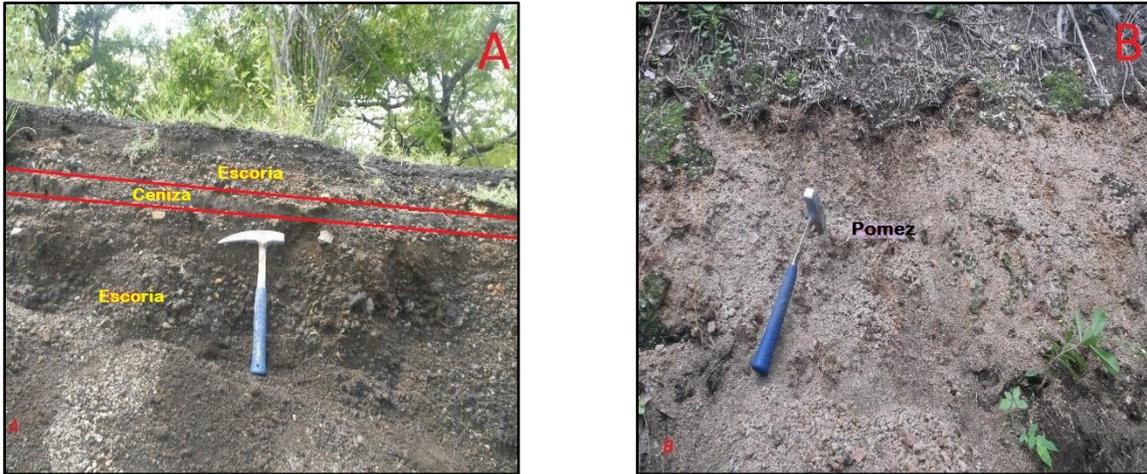


Foto 10. A) Depósitos de lapilli, escoria y ceniza (coordenadas UTM 546455 E; 1375690 N). **B)** Depósito de pómez (coordenadas UTM 546636 E; 1374644 N).



Foto 11. Depósito de lapilli localizadas en la parte central de la caldera Monte Galán (coordenadas UTM 546465 E; 1375700 N).

Además, también fueron observadas escorias de fragmentos semi redondeados de diámetros menores a 64 mm, distribuidas sobre las planicies del área de estudio, estas escorias cubren grandes extensiones de aproximadamente 20 km² de las superficies planas, formando parte del suelo reciente que se ven acompañadas de bombas de composición tanto andesítica como basálticas (**Foto No. 12**).



Foto 12. Escorias observadas sobre las planicies del área de estudio (coordenadas UTM de las fotos están dadas de izquierda a derecha 545300 E; 1378500 N y 550534 E; 1378000 N).

4.1.4 UNIDAD IV – FLUJO DE LAVA

Esta unidad se localiza en los extremos N y NE del volcán Momotombo. Ocupando una extensión aproximada de 8 km² dentro del sitio estudiado, exponiéndose morfológicamente como flujos lávicos de tipo AA, estos flujos presentan características de superficie relativamente plana en forma de abanico, compuesta de bloques fragmentados que al ser enfriados parcialmente y empujados por lavas aun candentes por debajo se agrietan y deforman. La superficie fría y fragmentada de estos flujos se debe a la salida de los gases que producen poros y vacuolas, producto del enfriamiento relativamente rápido de estos flujos. Su mayor exposición se localiza dentro de las coordenadas UTM 551500 E 1374850 N.

Los principales factores que contribuyen a la alteración en las rocas observadas en este sector son esfuerzos gravitacionales, erosión y agentes meteóricos, estas modificaciones en las rocas se distinguen en el cambio de coloración esto en dependencia de la reacción química que estas experimenten, evidencia de ello es la presencia de oxidación (**Foto No. 13**).



Foto 13. Flujo de lava de composición basáltica, este flujo se presenta en forma de bloques masivos con pocas evidencias de fracturas, se encuentra en la zona NE del volcán (coordenadas UTM 551500 E; 1374850 N).

Macroscópicamente la muestra exhibe una textura porfídica vesicular con un color café oscuro (**Foto No. 14**). Presenta una estructura masiva en sus minerales y una matriz de granos finos de plagioclasas y vidrio volcánico, presentando algunas alteraciones por Óxido de Hierro. La muestra fue tomada de costado NE del volcán Momotombo.

Microscópicamente muestra una textura porfídica de grano fino. La sección se caracteriza por presentar fenocristales dispersos que han crecido sin el contacto con otros minerales. Siendo ocupada casi por completo por su matriz microlítica-pilotaxítica. Conformada por microlitos de plagioclasas y vidrio volcánico.

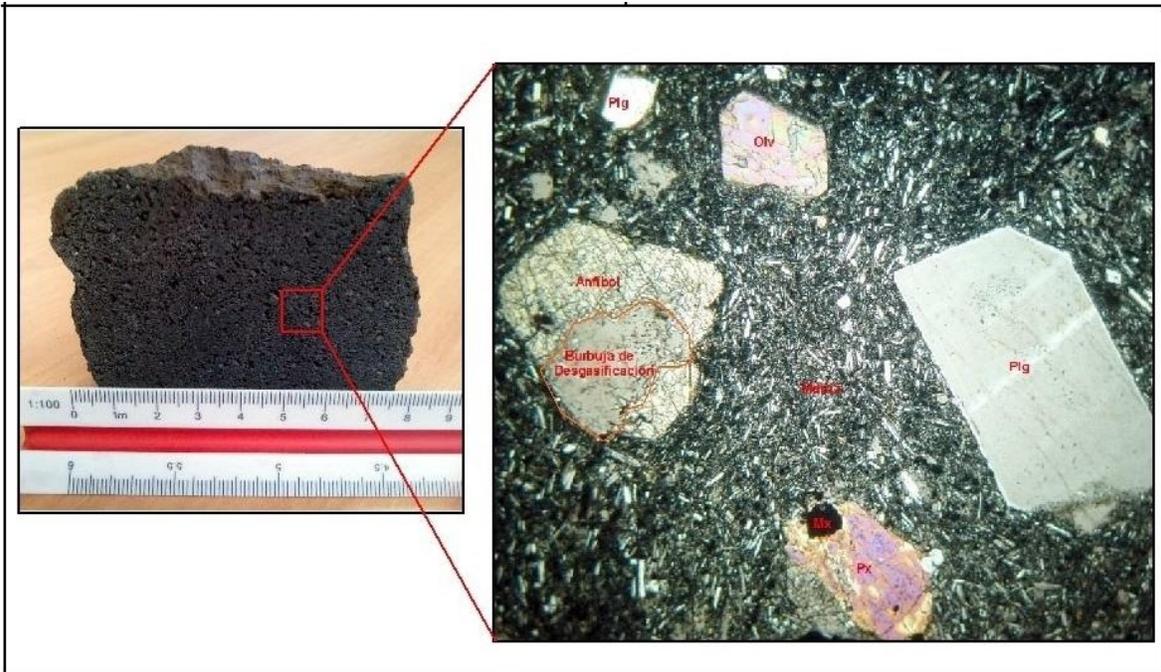


Foto 14. Lab 170009 Mtra. #3. Aumento x10, coordenadas UTM 551640 E; 1376000 N. Sección delgada de la unidad basalto, la muestra tiene una textura porfídica, se observan fenocristales de plagioclasas (Plg), olivino (Olv), Anfíbol (Hornblenda), piroxenos (px) y Minerales Metálicos (Mx), además de una burbuja de desgasificación, estos fenocristales están inmersos en una matriz microlítica-pilotaxítica.

Con el estudio microscópico realizado a la muestra se definió una matriz denominada Microlítica – pilotaxítica que está conformada por microlitos de plagioclasas y vidrio volcánico que se encuentran dispuestos en una misma dirección. En la sección se observan fenocristales de anfíbol y olivino además de plagioclasas y piroxenos en forma de prismas largos y otros cortos, estos piroxenos experimentan un ángulo de extensión que varía aproximadamente de 40° a 45° y se encuentran siendo corroídos en sus bordes por minerales metálicos.

Esta muestra contiene un porcentaje de 5 % de minerales de Metálicos como son la magnetita y el óxido de Hierro, 5 % de Hornblenda, 5% de Olivino ,10% de piroxeno ,10 % de plagioclasas, algunas de estas plagioclasas se encuentran macladas y algunas veces sonadas, y el 65 % restante está ocupada por la matriz de la roca.

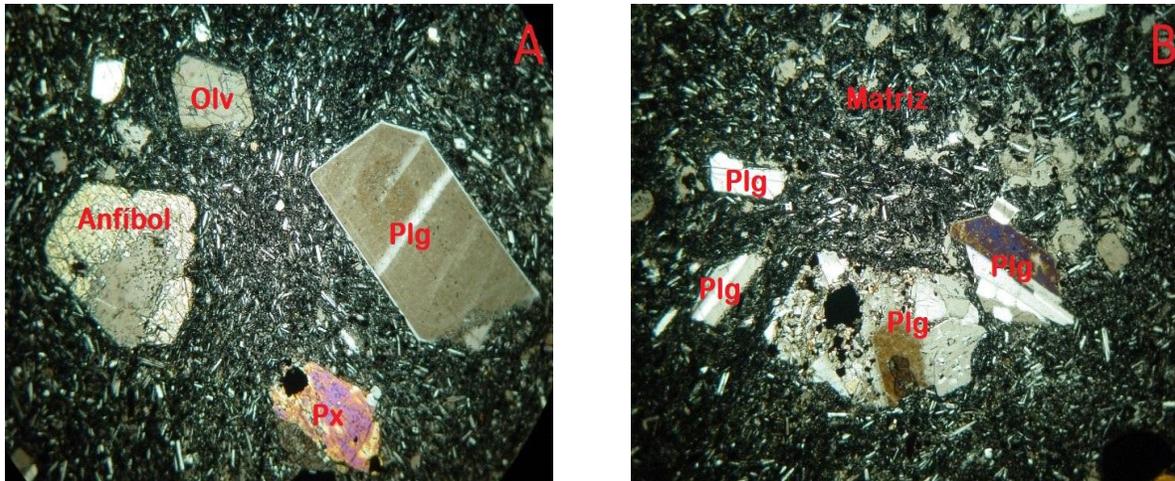


Foto 15. Vista en nicoles cruzado, los principales fenocristales que componen a la unidad Basalto, **A)** Fragmentos de plagioclasas(Plg), Olivino (Olv) y piroxeno (Px). **B)** Fragmentos de plagioclasas en una matriz microlítica.

Macroscópicamente la muestra presenta minerales visibles de plagioclasas y olivinos en una matriz fina compuesta de plagioclasas y vidrio volcánico, la muestra no contiene una distribución preferencial de sus minerales. La roca fue definida con una textura porfídica de color gris con una estructura masiva, presentando algunas alteraciones por Óxido de Hierro. La muestra fue tomada del costado W del volcán Momotombo.

Microscópicamente muestra una textura Glomeroporfídica. La sección se caracteriza por presentar fenocristales que han crecido formando grupos, unos en contactos con otros. Estos grupos de fenocristales pueden ser formados por un mismo mineral o por diferentes minerales y que se encuentran rodeados por la matriz de la roca, el tamaño de estos fenocristales varia en dependencia del desarrollo de los mismo (**Foto No. 16**).

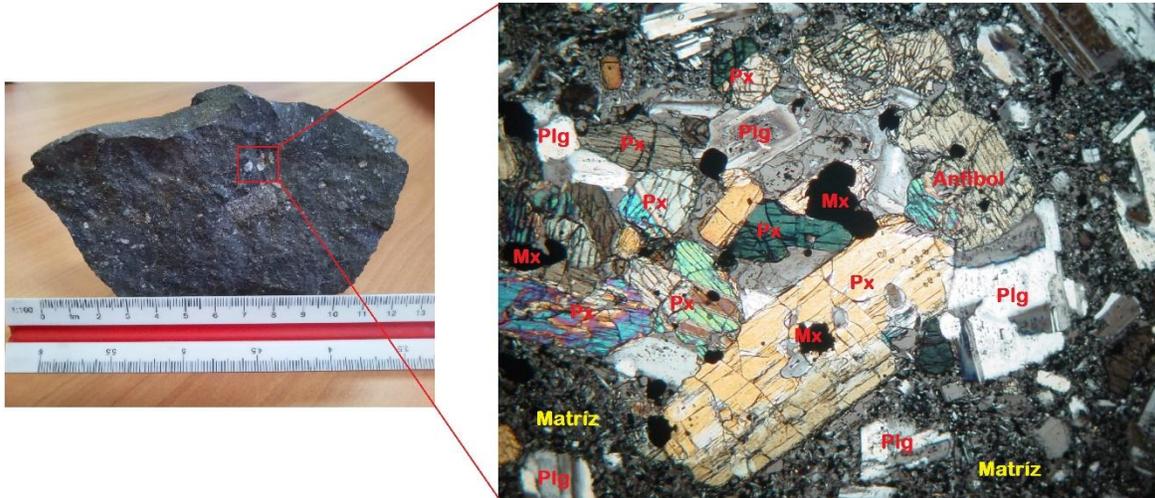


Foto 16. Lab 170008 Mtra. #4. Aumento x10, coordenadas 551560 E; 1375150 N sección delgada de la unidad Basalto, se observan fenocristales de plagioclasas (Plg) piroxenos (px), anfíbol y máficos (Mx). Tiene una textura porfídica- glomeroporfídica, en una matriz vítrea.

La matriz de esta muestra se encuentra conformada por vidrio volcánico, definiéndose como una matriz vítrea con abundantes Plagioclasas y Piroxenos. Los fenocristales de Piroxenos se muestran como prismas cortos y largos con ángulo de extensión de 40° a 45° aproximadamente, la mayoría de estos minerales se encuentran corroídos en sus bordes por minerales metálicos (**Foto No.17**).

Esta muestra contiene un porcentaje del 4% de minerales de olivino dispersos en toda la sección, un 8% de minerales metálicos que corroen los bordes de los demás minerales, un 8% de hornblenda, un 15% de piroxenos, 15% de plagioclasas las que se pueden encontrar como plagioclasas macladas o plagioclasas sonadas y un 50 % restante que consiste en la matriz de la roca que se compone de vidrio volcánico.

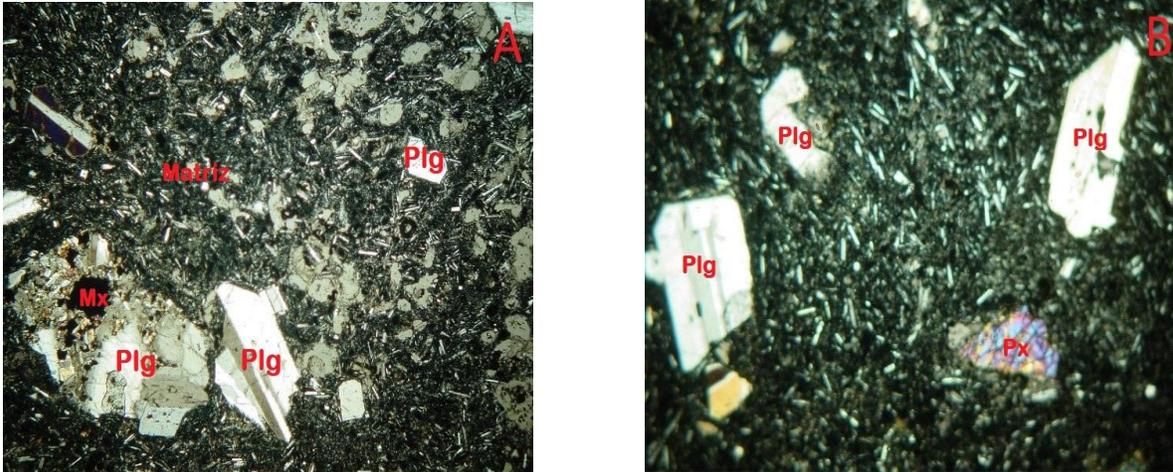


Foto 17. A) Minerales de plagioclasas (Plg) y matriz vítrea. **B)** minerales de piroxeno en la parte inferior y plagioclasas formadoras de la unidad Basalto, vista en nicoles cruzado.

4.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

El complejo volcánico Momotombo es parte de la cordillera volcánica de los Maribios que se ubica dentro de la depresión Nicaragüense. La cual es considerada como un semi-graben, que es delimitado por una serie de fallas de tipo extensionales entre la que sobre sale la falla Mateare, reconociéndose también varios sistemas de fallas recientes, entre los cuales resalta el sistema Noroeste-Sureste, asociado con movimientos transcurrentes izquierdos, mientras que los sistemas de fallas normales Norte-Sur y Suroeste-Noreste son menos comunes (GeothermEx, 2001).

El tectónismo del área es atribuida a tres fases distintas (Weinberg ,1992). Los cuales se mencionan a continuación:

- Fase Miocénica: Caracterizada por fenómenos de compresión con esfuerzos principales NE-SO, que han originado los plegamientos de las formaciones sedimentarias de la zona Costera del Pacífico.
- Fase del Plioceno –Pleistoceno Inferior: Se caracteriza por un ambiente de extensión, que ha originado las fallas normales con rumbo NE-SO, que

afectan las formaciones pliocénicas y está acompañada por la migración del vulcanismo hacia el pacífico, estos fenómenos sugieren un incremento del ángulo de subducción de las placas y una reducción de la velocidad de convergencia entre ellas.

- Fase del Pleistoceno Superior –Holoceno: Está representada por una componente principal de compresión N-S de la corteza, que ha originado fallas normales a lo largo de la misma dirección y fallas transcurrentes conjugadas NE-SO y NO-SE. Las estructuras más evidentes son depresiones tectónicas de tipo “pull-apart” que es conocida como “Graben de Managua”.

Lo antes mencionado tiene gran importancia sobre la situación vulcano-geológica específicamente del área de Momotombo. Ya que la abundante extensión de productos piroclásticos y lávicos recientes cubren o suavizan las evidencias morfológicas de las dislocaciones tectónicas; lo que hizo imposible identificar las estructuras geológicas (fallas), sin embargo, estas estructuras geológicas (fallas y fracturas), fueron inferidas en base al análisis e interpretación de fotografías aéreas, mapa topográfico y mapa de sombra.

4.2.1 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ÁREA

La concentración de fuerza sobre una roca genera esfuerzos que producen su deformación y rompimiento, dando lugar a la formación de fallas y fracturas. A este tipo de deformación en el que se forman estas fracturas, se le conoce como deformación frágil, pudiendo haber una transición de frágil- dúctil la cual se da a niveles someros de la corteza terrestre y altas temperaturas (Ramsay, 1977,1989), lo que es característico del área de estudio.

Para caracterizar las estructuras geológicas del área se utilizaron dos criterios de este tipo de deformación debido a los siguientes factores determinantes:

- El ambiente y las condiciones geológicas del área de estudio son de origen volcánico, el cual se caracteriza principalmente por el tipo de deformación frágil.
- El mecanismo de deformación tiende a ser del tipo frágil a niveles de la superficie, mientras que de 1000 a 1500 m de profundidad tenemos la transición frágil - dúctil (Sibson, 1990).

El ambiente y las condiciones geológicas en las que se ha originado el complejo Momotombo son propias de un estrato volcán, la superposición de capas en las que está formado este complejo provoca que las evidencias estructurales (fallas geológicas o fracturas importantes) se encuentren suavizadas o sepultadas por capas de rocas más jóvenes. Por consecuencia, debido al producto piroclástico y lávico que el volcán ha expulsado, no se ha podido corroborar fallas geológicas antiguas ni identificar la existencia de fallas geológicas recientes.

Van Wyk de Vries (1993), señala que las deformaciones en los edificios volcánicos del tipo estrato volcán son atribuibles a fenómenos de inestabilidad gravitatoria, y no precisamente a deformaciones producto del tectónismo. A pesar de esto no podemos decir que la deformación que experimenta el complejo Momotombo sea solamente atribuibles a fenómenos gravitatorios, ya que el complejo se encuentra en el margen del segmento occidental que se caracteriza por tener una inclinación en el plano de subducción de 65° lo que implica que evidentemente el tectónismo y el ambiente volcánico del área tienen influencia y que estos procesos internos tienen mucha incidencia en la deformación de las rocas en la superficie, una clara evidencia de esto, son la existencias de fumarolas en algunos sectores del área de estudio que actúa como agente deformante de la roca.

Para determinar el comportamiento o la cinemática de las estructuras geológicas en un ambiente volcánico en el que los abundantes flujos lávicos impiden visualizar con normalidad las fracturas y zonas de falla en el área de estudio, se recurrió a la búsqueda de indicadores cinemáticos, los cuales nos indican el sentido del movimiento de los bloques estructurales en zonas de fallas.

El régimen de deformación en que se encuentra sometido el sitio de interés es de tipo frágil, tomando en cuenta los criterios mencionados con anterioridad sobre ambientes de origen volcánico. Estas fracturas se dan a consecuencia de la pérdida de cohesión de los macizos rocosos al aplicársele un esfuerzo el cual llega a superar la resistencia de la roca llegando a su fracturación (Tolson, G., 1996).

Dado a que, el área de estudio se formó en un ambiente volcánico y que no fue observable la identificación de marcadores estratigráficos en campo que pudieran definir el sentido del movimiento de los bloques, se recurrió a la identificación de los únicos indicadores cinemáticos que lograron ser visibles tales como:

- Fracturas paralelas
- Zona de cizalla
- Sigmoides

Con los datos estructurales medidos en campo e interpretados y procesado en el software Auto-Cad 2017, fue posible determinar que el área de estudio está afectada por dos fases de deformación una con dirección NW- SE (**Figura No. 7**) y una fase de deformación con dirección NE-SW (**Figura No. 8**).

Fracturas con dirección NW-SE; Se localizan entre los cerros los palomos y cerro colorado, estos sistemas de fracturas se encuentran de forma paralelas unas con otras (**Foto No. 18, 19**) y podrían estar asociadas a la génesis de estos cerros que implica la existencia de fisuras tectónicas con dirección NW-SE cuyo rasgo estructural fue observado en la interpretación de imágenes satelitales y mapa topográfico y proyectado en el mapa Geológico y mapa Geomorfológico, esta fisura

dio origen a un único cerro el cual fue sometido a esfuerzos tectónicos regionales con dirección NW-SE, dando como resultado la separación del cerro en los tres cerros actuales (Los Palomos y Colorado). O bien podrían estar relacionadas al graben de Puerto Momotombo las fallas de dicho graben son típicamente escalonadas de dirección NW-SE (ENEL,1994).



Foto 18. *Sistemas de fracturas paralelas con dirección SE-NW y presencia de sigmoide, (coordenadas UTM 543558 E; 1378745 N. foto tomada de NW a SE).*



Foto 19. *Sistemas de fracturas paralelas con dirección SE-NW, localizadas en el cerro Montoso (Coordenadas UTM 545000 E; 1377860 N).*

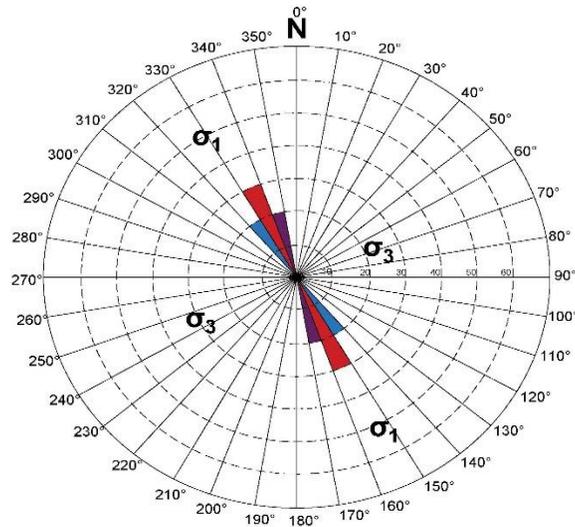


Figura 7. Diagrama de fracturas de 65 datos estructurales para patrones de fallamiento con esfuerzos máximos en dirección NW-SE, propuesto en base al comportamiento de los indicadores cinemáticos medidos en campo.

Fracturas con dirección NE-SW; Se localiza en la parte S y SW del escarpe de la caldera Monte Galán, consiste en fracturas paralelas que podrían estar asociadas a esfuerzos locales producto de actividad volcánica y sísmica del entorno (**Anexo 9**), o bien podrían estar relacionada al conjunto de lineamientos que atraviesan la cordillera volcánica, el sistema NE-SW junto al sistema de fracturas del graben Puerto Momotombo evidencian un movimiento lateral izquierdo. Estos sistemas tectónicos pueden estar relacionados con la estructura regional de la falla de Puerto Sandino (ENEL, 1994).



Foto 20. Zona de cizalla localizada al SW en el escarpe de la caldera Monte Galán, con fracturas mayormente orientadas hacia el SW, vista de la foto de NE a SW (Coordenadas UTM 545258 E; 1375540 N).

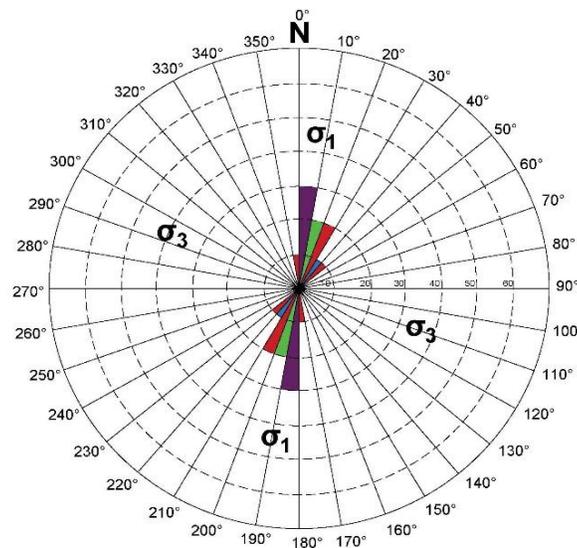


Figura 8. Diagrama de fracturas de 99 datos estructurales para esfuerzos máximos en dirección NE-SW, propuesto en base al comportamiento de los indicadores cinemáticos medidos en el sector SW de la caldera Monte Galán.

Desde el punto de vista estructural estos sistemas de fracturas (**Figura No. 7 y 8**) son los rasgos estructurales más recientes de las fisuras tectónicas que han sido interpretadas en imágenes satelitales, mapa de sombra, mapa topográfico y que se han proyectado en el mapa Geológico. Todo el complejo volcánico Momotombo se

encuentra regido tanto por los esfuerzos locales generados por actividad volcánica y sísmica, así como por los esfuerzos tectónicos de estas fisuras y por los esfuerzos tectónicos generados por los procesos de subducción de la placa Cocos bajo la placa Caribe que dieron origen a la cordillera volcánica de Nicaragua, la cual se desarrolla dentro de la depresión nicaragüense. Weinberg (1992) señala que a partir del Pleistoceno hasta el Holoceno se generó una actualización del régimen de esfuerzos tectónicos generando fallas de corrimiento lateral derecho con dirección NE-SW y NW-SE.

Mediante la determinación de las fases de deformación a causa de los esfuerzos generados en el área de estudio, queda en evidencia que estos sistemas de fracturas siguen la misma dirección de las fallas tectónicas regionales con dirección NE-SW y NW-SE que rigen tanto a la depresión nicaragüense como a la cadena volcánica de Nicaragua.

4.3 UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

El estudio de la geomorfología del relieve terrestre es el análisis que contribuye al conocimiento del relieve, a través de la cuantificación de elementos lineales, puntuales y areales, estos incluyen la longitud, superficie, altura y pendiente. Cuyas variaciones se realizan entre sí. Su aplicación facilita la interpretación de la génesis y en algunos casos la relación entre las formas del relieve (Lugo, 1989).

Para realizar la clasificación geomorfológica del relieve se tuvo que realizar mapas morfométricos previos, que permitieron definir la geomorfología de la zona de estudio. Por ello se consideraron las descripciones de los siguientes mapas morfométricos:

Mapa de energía de relieve

Se conoce a este mapa también como de amplitud de relieve. Se considera como energía del relieve a la diferencia máxima de altura (en metros) en una superficie determinada del terreno. La elaboración del mapa consistió en dividir el mapa topográfico en cuadrantes de 4 km², posteriormente en cada una de ellos se obtuvo la diferencia máxima de alturas en metros estableciéndose rasgo de amplitudes.

Estas amplitudes tienen una gran relación con la pendiente de las formas del relieve, la energía del relieve está relacionada con la topografía del área de estudio en donde los valores más altos corresponden a las alturas máximas y la amplitud mínima corresponde a las planicies. Los valores de amplitud de los 26 a 90 metros se encuentran en el fondo de la caldera Monte Galán y planicies, amplitudes medias de 113 hasta 220 metros para zonas de piedemonte y cerros, y como amplitud máxima de 800 metros para el edificio volcánico Momotombo.

Mapa de órdenes de corriente

El sistema de drenaje en general es de tipo paralelo a consecuencia de la baja permeabilidad de las rocas y las pendientes de altas a moderadas que permiten que se generen este tipo de drenaje en el área de estudio. El predominio de corriente que se aprecian en el área son de primer y segundo orden y escasamente las de tercer orden.

El dominio de la corriente indica que el modelado de la superficie es relativamente joven y que la erosión hídrica en las zonas por donde transcurre las corrientes es relativamente alta en sectores donde la vegetación es escasa y moderadas donde la vegetación es abundante.

Mapa altimétrico.

Este mapa es el más importante para el análisis geomorfológico, ya que brinda la información del mapa topográfico, la elaboración del mapa altimétrico consiste en definir a partir de las alturas máximas y mínimas del mapa topográfico en una serie de intervalos de valores que se establecen con el fin de que se pueda reconocer de manera clara e inmediata la configuración del relieve en general.

El relieve queda clasificado con selecciones de colores que determinan los niveles de alturas, la elección de colores está dada por un sistema internacional en donde las tonalidades más frías están dadas para zonas más bajas y las tonalidades más cálidas para las partes más altas.

En este caso se usó tonos de colores que fuesen de acorde con las elevaciones representadas, dando así tonos de baja intensidad a aquellas zonas con menor elevación y aumentando la intensidad de colores a medida que las elevaciones lo requirieran. Con la finalidad de que nos permita visualizar con mayor exactitud los rasgos estructurales y alineamientos volcánicos.

Al sur este del área de estudio se visualiza una estructura volcánica de nombre Momotombo, marcado con tonalidades de colores fuertes en alusión a ser la estructura geológica predominante de mayor elevación, alturas que varían desde 460 hasta 1260 m. en la parte central se observa la menor elevación del área de estudio marcado con tonos de menor intensidad, alturas que varían de los 60 hasta los 150 m, este corresponde a la caldera denominada Monte Galán.

En la parte noroeste del área de estudio se identificaron dos estructuras semicirculares que están alineadas en dirección N-W, la de mayor altura de estas dos estructuras varía de 300 hasta 520 m, denominado cerro Montoso. Una de estas estructuras se encuentra subdividida en tres estructuras semicirculares con alturas promedio que varían de 180 hasta 300 m para estas tres subestructuras.

Morfogénesis

La morfogénesis se refiere al origen de las formas del relieve terrestre. Se apoya en el concepto de que el relieve es el resultado de la interacción de procesos endógenos y exógenos. Los procesos endógenos se manifiestan por la actividad tectónica y volcánica, es decir, forman el relieve terrestre. Los procesos exógenos se manifiestan por el intemperismo, erosión y la acumulación (Lugo, 1988).

Los rasgos morfológicos de la zona de estudio son fundamentalmente de tipo volcánico, producto de la gran actividad volcánica que se produce desde el pleistoceno, en el área de estudio los rasgos morfológicos, comprenden desde estructura caldérica hasta cerros volcánicos y el volcán Momotombo siendo la de mayor elevación (1,258) del área de estudio.

Unidades geomorfológicas

El mapa geomorfológico (**Figura No. 9**) en este estudio se elaboró a partir de un análisis del mapa Topográfico a escala 1:50,000 analizando las propiedades del relieve (morfometría). Los análisis realizados ayudaron a delimitar las formas principales del relieve. Toda la información recaudada del área de estudio ayudó a definir las unidades geomorfológicas. Al mismo tiempo la erosión actúa como un agente modificador del relieve de la zona. El estudio del relieve culminó con la identificación de 4 unidades geomorfológicas, la cuales se mencionan a continuación:

- ❖ Unidad Caldérica
- ❖ Unidad de conos de lavas y Estratovolcán
- ❖ Unidad de Flujos de Lavas
- ❖ Unidad de Planicie

A) Unidad Caldérica (Uc).

Esta unidad se compone de la caldera antigua del área de estudio la cual en esta investigación se denomina “Caldera Monte Galán”. La caldera es una estructura fuertemente erosionada por procesos tectónicos y volcánicos. Esta estructura volcánica se encuentra en la parte central, entre el volcán Momotombo y el cerro Montoso. Presenta una profundidad de al menos 100 metros y las paredes que dan forma a esta caldera en conjunto crean un diámetro de 4 km², se cree que esta unidad se formó por la combinación de explosión y colapso.

Las paredes de la caldera están conformadas de rocas de composición andesitas Basálticas y se encuentra interrumpida por flujos de lava de composición andesítica que escurren por las laderas del volcán Momotombo, de igual forma flujos de lavas de composición andesítica del Cerro Montoso interrumpen a la estructura.

La caldera se encuentra dividida en tres segmentos debido a la intrusión de flujos lávicos procedentes del Cerro Montoso y el volcán Momotombo. La extensión de los segmentos que conforman esta caldera es de 2.80 km, 4.35 km y 4.25 km. La caldera muestra una pendiente de sus escarpes de 5 a 10 grados, el drenaje que irrumpe en esta estructura es de tipo radial con órdenes de corriente de primer orden y segundo orden. Estas corrientes alimentan a las pequeñas lagunas que existen dentro de esta estructura.

B) Unidad de Conos de Lavas y Estratovolcán (Ucle).

Geomorfológicamente la unidad está subdividida en dos, la primera Sub-Unidad se denomina como conos de lavas y está comprendida por los cerros Los Palomos, cerro Colorado y el Cerro Montoso. La segunda Sub-Unidad se denomina como Estratovolcán y está comprendida por el volcán Momotombo. Estas estructuras están formadas por múltiples flujos lávicos de composición andesítica, andesitas basálticas y basalto. Algunas de estas estructuras presentan formas irregulares (los palomos y colorado), mientras otros presentan una forma bastante simétrica (cerro

Montoso y volcán Momotombo). Esta unidad se caracteriza por estructuras volcánicas de alturas relativamente moderadas, la mayor elevación de estos cerros tiene una diferencia de altitud que oscila entre 540 a 1258 msnm.

Las estructuras volcánicas que forman parte de esta unidad se describen a continuación:

Sub-Unidad Conos de Lava (S-Ucl)

Cerro Colorado

Se ubican en el extremo NW del área de estudio, este cerro es una estructura de forma semicircular abierta hacia el NW, tiene una extensión aproximada de 600 metros y una altura de 220 msnm, presenta una pendiente de 15° y una orientación hacia el NE, el cerro Colorado muestra un drenaje de tipo paralelo con órdenes de corriente de primer orden en dirección NE. En el análisis y reconocimiento en campo se logró observar que esta estructura es formada por múltiples flujos de lavas de composición andesítica y escorias en su cúspide.

Cerro los Palomos

Se compone de dos estructuras semicirculares una con abertura hacia el NW, tiene una extensión de 1.9 km aproximadamente. Y una altura de 300 msnm. La segunda estructura tiene forma semicircular con abertura hacia el N tiene una extensión de 800 metros aproximadamente y una altura de 330 msnm, presentan pendientes que van de los 20 a 25 grados con orientación tanto al NW como al NE, el drenaje de estos cerros es de tipo paralelo con órdenes de corriente de primer orden que al entrar en contacto con las corrientes de primer orden del cerro Colorado como del cerro Montoso generan ordenes de corriente de segundo orden.



Foto 21. Estructuras volcánicas que conforman el complejo volcánico Momotombo.

Cerro Montoso

Se ubica en el límite noroeste de la caldera Monte Galán, en su base presenta una forma circular, también se observa en esta estructura la forma cónica casi perfecta, teniendo una altura de 530 msnm.

La formación de esta estructura se da posteriormente a la formación de la caldera volcánica Monte Galán, consiste en un cono producto de flujos de lavas de composición andesítica y ceniza que aparentemente es producto de las diferentes erupciones cinerítica de este. La estructura presenta una pendiente de 30° aproximadamente, no muestra una orientación preferencial ya que es una estructura bastante simétrica sin embargo las direcciones de sus flujos de lavas podrían indicar que la estructura exhibe una orientación tanto al NW como al SE. El cerro Montoso contiene drenaje de tipo paralelo con órdenes de corriente de primer orden.



Foto 22. Estructura volcánica Cerro Montoso, vista de SW-NE.

Sub-Unidad de Estratovolcán (S-Uev)

Volcán Momotombo

Es un estratovolcán compuesto de flujos lávicos y escoria, cubre restos tectónicos y erosionados de varias manifestaciones volcánicas llamados en conjunto Pre-Momotombo, Momotombo está emplazado en la zona de una falla tectónicas en dirección NW-SE, con una falla cuya dirección es N-S.

La estructura volcánica se ubica en el costado SE del área de estudio, tiene una forma cónica casi perfecta y una altura de 1258 metros con pendiente de 45° aproximadamente, la forma simétrica del este volcán no permite definir una orientación preferencial de esta estructura, sin embargo, la dirección de los flujos lávicos recientes deja ver que la orientación está dada en la actualidad en dirección NE. Este volcán está asentado sobre el antiguo volcán que llevaba el mismo nombre (volcán Momotombo). Este (volcán Momotombo) es el actual centro eruptivo que se mantiene activo y el cual ha sido el principal protagonista de numerosos eventos volcánico y sísmico.



Foto 23. Vista de N-S y actual centro eruptivo del Volcán Momotombo.

C) Unidad de Flujos de Lavas (Ufl).

Los depósitos de coladas de lava del volcán Momotombo se presentan de forma irregular y la corriente de los flujos se muestra en todas las direcciones debido a las diferentes actividades eruptivas que ha presentado hasta los últimos días.

❖ Sub-Unidad de Flujo de lava 1 (S-Ufl1)

El primer flujo de lava que este volcán emana fue en 1886 en dirección NW con una extensión de 4.1 km aproximadamente y un espesor promedio de 1.4 km, este flujo se encuentra presente dentro de la caldera Monte Galán.

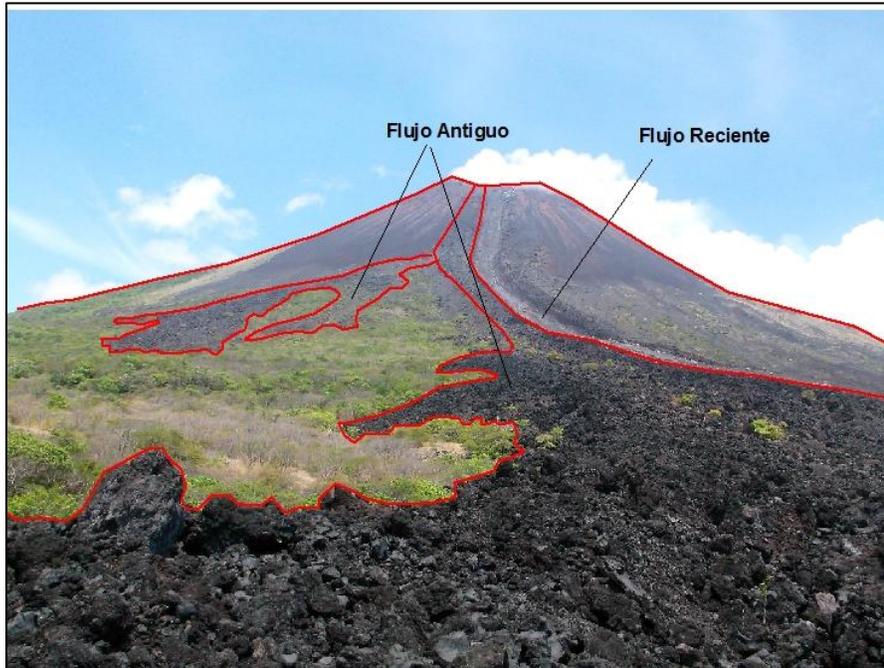


Foto 24. Flujos de lavas de composición basáltica ubicados en el flanco N y NW del Volcán Momotombo (coordenadas UTM 551562 E; 1375114 N).

❖ Sub-Unidad de Flujo de lava 2 (S-Uf12)

En 1905 la actividad volcánica se siguió originando con un nuevo flujo lávico, con una longitud recurrente de 4.4 km aproximados y un ancho de 1.6 km en sus partes más amplias, en dirección N-E.

❖ Sub-Unidad de Flujo de lava 3 (S-Uf13)

Por otro lado, el último flujo de lava se presentó en el año 2015, siendo este el más reciente, sub yaciendo al flujo anteriormente mencionado con una prolongación de 3.3 km y espesor de 400 m, este sigue una dirección hacia el N-E. Estos flujos de lavas tienen variación en su composición química que van desde flujos de lavas intermedios (andesitas) hasta flujos de lavas básicos (Basalto).

D) Unidad de Planicie (Up).

Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida en la parte N y SW del área de estudio, constituyendo aproximadamente el 40% del área total de estudio. El relieve se caracteriza por llanos con pendientes suaves que varían entre 0° a 10° aproximadamente. La topografía es relativamente plana y poco irregular con pequeños túmulos, con curvas de nivel bastante separadas y elevaciones que oscilan entre 20 – 100 metros sobre el nivel del mar.

Litológicamente esta unidad está constituida por materiales piroclásticos como escorias y algunos bloques de composición andesítica y basálticas. provenientes de las estructuras volcánicas que conforman el complejo Momotombo.

“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

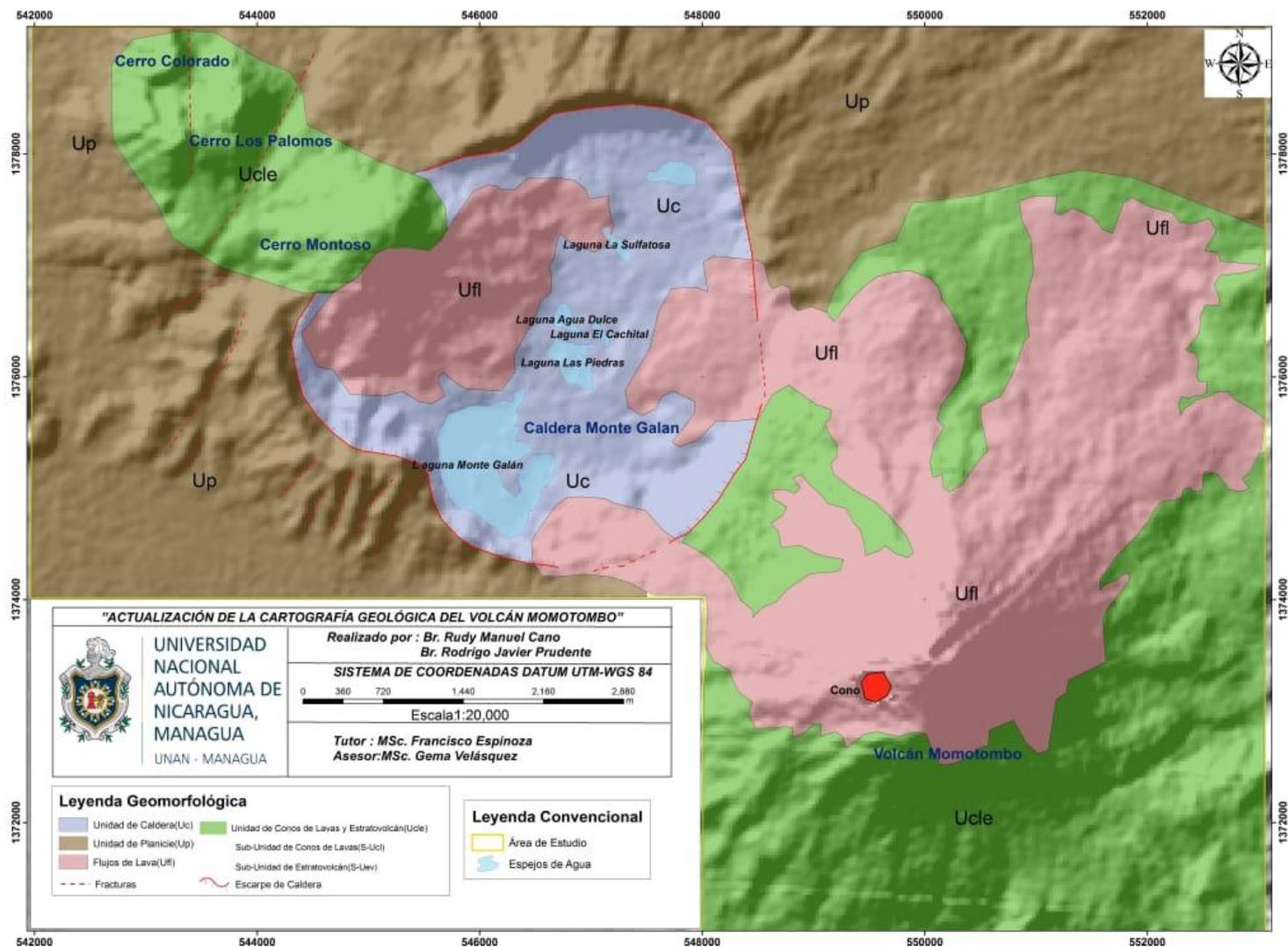


Figura 9. Mapa Geomorfológico del área de estudio.

CAPITULO V. DISCUSIONES

Para la ejecución del presente informe se planteó un objetivo general el cual consistía en una actualización de la cartografía geológica de volcán Momotombo a escala 1:20,000. Todo el proceso metodológico llevado a cabo nos permitió determinar, reconocer y describir en el presente documento las unidades litológicas encontradas en el área de estudio. Pero resulta de suma importancia realizar una correlación de las unidades litológicas reconocidas en nuestro trabajo investigativo con los resultados obtenidos en dos estudios realizados en los años 2001 y 2017, con el propósito de establecer semejanza o discrepancia en relación a las unidades litológicas de estos estudios en el complejo volcánico Momotombo.

Correlación de unidades litológicas entre los estudios del Servicio Geológico de la Republica Checa, 2001, Alemán, 2017 y la presente investigación.

Servicio Geológico de la Republica Checa en colaboración del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), 2001. Realizaron un reconocimiento de grupos litoestratigráficos que se presentan en el complejo volcánico Momotombo, cuyos grupos fueron definidos como: Ignimbritas de la caldera La Paz Centro- Puerto Momotombo, Caldera San Juan, Grupo Pre-Momotombo, Grupo Monte Galán, Grupo Cerro Los Palomos – Cerro Colorado, Ignimbritas de la caldera Malpaisillo, Grupo Momotombito, volcán Momotombo, Momotombo viejo, relleno sedimentario de la depresión Monte Galán, Conos de Escoria.

En el estudio realizan un análisis regional de la génesis de las estructuras que han formado parte del complejo volcánico Momotombo y como estas han venido extinguiéndose o siendo sepultadas por rocas más jóvenes provenientes de estructuras más recientes, además elaboran una descripción de los grupos litoestratigráficos basados en pozos de hasta 2050 m de profundidad.

Las similitud o discrepancias entre este estudio y nuestro estudio se encuentran en los grupos litoestratigráficos: Grupo cerro Los Palomos- cerro Colorado, Grupo Monte Galán, y volcán Momotombo.

En el grupo litoestratigráfico Cerro Los Palomos- cerro Colorado mencionan que estas estructuras fueron formadas por actividad volcánica en el sitio de una línea tectónica en la época cercana del origen del cerro Montoso o a principio del Momotombo viejo, que las estructuras corresponden a un estrato volcán típico formado de flujos lávicos y escoria en la cima de estas estructuras. En la parte basal está representada por flujos lávicos basálticos, andesita basálticas y flujos piroclásticos provenientes de la caldera Monte Galán y que en su expresión más reciente estas estructuras están construidas por flujos piroclásticos que participan en forma de venas de flujos de lava de hasta 6 m de espesor de composición andesítica.

En el Grupo Monte Galán señalan que el origen de esta caldera fue acompañado por capas formadas por flujos piroclásticos con líticos de andesitas y basaltos con contenido fino hasta bloques con intercalación de tobas. Los flujos piroclásticos forman parte basal del basamento del cerro Colorado y Los Palomos.

Grupo Momotombo lo describen como un Estratovolcán compuesto de flujos lávicos y escoria, la estructura cubre restos tectónicos y erosionados. citan (Menyailov 1983) En la última fase del Momotombo viejo hubo un cambio de composición del magma, lavas básicas representadas por andesitas basálticas y andesitas fueron sustituidas por lavas más acidas de la composición andesita hasta andesita dacítica.

Alemán, 2017. Realiza una cartografía geológica de 16 km² correspondientes al sector S del volcán Momotombo, específicamente en el entorno del campo geotérmico Momotombo. En el estudio Alemán reconoce y describe tres unidades litológicas: Unidad de Depósitos Piroclásticos, Unidad de Andesita y Unidad de Andesita Basáltica.

La Unidad de Depósitos Piroclásticos de caída las localiza en el sector S del área de su estudio a las orillas del lago de Managua con espesores de hasta 4 m que corresponde a escoria con capas de tobas de hasta 1.78 m sobre yaciendo al material de escoria, teniendo una extensión de 1.75 km².

La Unidad de Andesita Basáltica las sitúa en el sector central que tiene una extensión de 9 km² del área de su estudio, con mayor exposición en la Loma la Guatusa ubicada al E, Las rocas de esta unidad las define como flujos lávicos que se presentan de forma masiva en grandes bloques.

La Unidad de Andesita la ubica al N y al W las describe como coladas de lavas que cubren un área de 5 km² producto de actividades volcánicas del Momotombo que presentan variaciones de tonalidades debido a alteraciones hidrotermales.

Existe una continuidad en las unidades litológicas proyectadas por Alemán (2017) en su cartografía geológica superficial y las proyectadas en nuestro estudio. En relación al estudio realizado por el Servicio Geológico de la Republica Checa es un poco más complejo ya que estos realizan un estudio más amplio en cuanto al análisis de grupos litoestratigráficos que han venido formando al complejo volcánico Momotombo, el análisis de estos grupos está basado en pozos ubicados a grandes profundidades. Sin embargo, superficialmente existe una similitud de unidades litológicas expuestas en su estudio en correspondencia a los flujos de lavas de composición andesitas descritas en el grupo litoestratigráfico cerro Los palomos-cerro colorado, además de las unidades litológicas de andesita y andesita basálticas descritas en el grupo litoestratigráfico volcán Momotombo, la discrepancia entre su estudio y la presente investigación está dada en la clasificación de los depósitos piroclásticos que rellenan la caldera Monte Galán, cuyos autores clasifican estos depósitos como flujos piroclásticos y en la presente investigación son clasificados como depósitos piroclásticos de caída.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES

Geológicamente el complejo volcánico Momotombo está conformado por rocas volcánicas pertenecientes al Cuaternario, caracterizada por cuatro unidades litológicas, nombradas de la más antigua a la más reciente y son las siguientes: Unidad Andesita Basáltica, Unidad Andesita, Unidad de Depósitos Piroclásticos, Unidad de Flujo de lava Basáltica.

La unidad de Andesitas Basálticas se localiza en los bordes de la caldera Monte Galán y en el sector S y SE del volcán Momotombo esta unidad abarca un área aproximada de 18 km². La Unidad de Andesita se desplazan sobre las laderas de los cerros Los Palomos, Colorado, Montoso y al NW del volcán Momotombo, abarcando un área aproximada de 17 Km². La tercera Unidad está representada por materiales Piroclásticos de caída y cono Piroclástico cubriendo toda la planicie del área de estudio. La Unidad de flujo de lava Basáltica se localiza al NE del volcán Momotombo y cubre un área de 8 km aproximadamente, esta unidad es la más joven y es producto de las recientes actividades eruptivas del volcán Momotombo.

La Geología Estructural se presenta en el área del complejo volcánico Momotombo por dos fases de deformación, relacionadas a esfuerzos de compresión y de extensión. Las estructuras en el área de estudio son fracturas paralelas en dirección NW-SE y NE-SW, La fase de deformación con dirección NW-SE, se localizan en el sector de los cerros los Palomos y cerro colorado, que están asociadas a fisuras tectónicas de la misma dirección que se encuentran sepultadas por estos cerros. La fase de deformación NE-SW, se localiza al SW de la caldera Monte Galán podrían estar asociadas a esfuerzos regionales aplicados a esta estructura caldérica o bien por actividad sísmica y volcánica.

Se seleccionaron cuatro muestras de rocas de todas la muestreadas en campo, a las que se le realizó un estudio petrográfico tanto macroscópico como microscópico determinándose las componentes mineralógicas que forman a estas rocas, este

análisis microscópico de secciones delgadas nos permitió clasificar las muestras en tres tipos de rocas en dependencia al contenido mineralógico que presentaban se designó como: Basalto, Andesita Basáltica y Andesita.

Mediante la interpretación de fotografías aéreas, imágenes satelitales, mapa topográfico y reconocimiento de campo se logró definir Geomorfológicamente cuatro unidades en el complejo volcánico Momotombo las que se enumeran a continuación:

1. Unidad de Caldera.
2. Unidad de conos de lavas y Estratovolcán.
3. Unidad de Flujos de Lavas.
4. Unidad de Planicie.

La primera Unidad es generada por el colapso de un antiguo volcán generando la caldera Monte Galán cuya estructura tiene un diámetro de 4 km y se ubica en la parte central del área de estudio. La Unidad de conos de lavas y Estratovolcán está representada por los cerros Colorado, Palomos y Montoso siendo estos originados por flujos lávicos y el volcán Momotombo el que es denominado como un Estratovolcán. La tercera unidad está representada por flujos lávicos que se desplazan sobre las laderas del volcán Momotombo y en la parte SE del cerro Montoso. La última Unidad consiste en la topografía relativamente plana observándose tanto al N, NE, S y SW, abarcando más del 60 % del área de estudio.

CAPITULO VII. RECOMENDACIONES

- Elaborar un estudio vulcanológico más a detalle, no solo para las estructuras volcánicas de la zona del área en estudio, sino también de manera más regional, con el fin de efectuar un estudio de la evolución de las calderas y demás estructuras cercanas al sitio.
- Realizar un estudio geoquímico a detalle de muestras de rocas pertenecientes a las unidades litológicas para determinar con seguridad el tipo de roca al que corresponde.
- Realizar estudios Geofísicos de magnetometría y gravimetría para establecer y definir a que profundidad se encuentra el cuerpo magmático.
- Realizar perfiles Eléctricos y Sondeos Eléctricos verticales en el sector NW en la estructura cerro los Palomos- cerro Colorado que permita determinar con mejor precisión la falla tectónica que pasa por estas estructuras.
- Ampliar los estudios geo estructurales en el área y elaborar estudios con métodos dirigidos para la elaboración de un modelo tectónico del área.

CAPITULO VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, F. (1992). Fundamentos de la Hidrología de la superficie. México, D.F.: LIMUSA- Grupo Noriega editores.
- Alemán, M., (2017). Cartografía del campo Geotérmico Momotombo a escala 1:10,000.
- Boletín mensual Sismos y Volcanes de Nicaragua, abril (2004). (INETER).
- Boletín mensual Sismos y Volcanes de Nicaragua, junio (2005). (INETER).
- Boletín mensual Sismos y Volcanes de Nicaragua, septiembre 2006. (INETER).
- Boletín mensual Sismos y Volcanes de Nicaragua, febrero (2007). (INETER).
- Boletín mensual Sismos y Volcanes de Nicaragua, Enero (2008). (INETER).
- Boletín mensual Sismos y Volcanes de Nicaragua, noviembre 2009. (INETER).
- Boletín mensual Sismos y Volcanes de Nicaragua Abril, 2014 (INETER).
- Briceño F., (2015). Geo estadística Aplicada a la Estadística, Nicaragua
- Combredet et al., (1987). Petrographic correlations and analysis of fluid inclusions in hydrothermal quartz crystals from four wells in the Momotombo Geothermal field, Nicaragua.
- COSUDE-INETER 2005. Erupciones Volcanicas Nicaragua.
- DelGuice, D., (1960). Análisis del microscopio polarizado de cortes sutiles de rocas provenientes del área de Macuelizo, Nueva Segovia. Managua.: Servicio Geológico Nacional, Boletín No 5.
- DelGuice, D., (1960). Apuntes sobre la Geología de Nueva Segovia. Managua.: Servicio Geológico Nacional, Boletín No 4.
- Dengo, G., (1969). Mid America: Tectonic Setting for the Pacific margin from Southern Mexico to Northwerstern Colombia. Guatemala City, Guatemala.: Centro de Estudios Geológicos de América Central.
- Dorado Castro (1989). Petrografía Básica.
- Ferrey, C., (1980). Proyecto de energía Geotérmica de Nicaragua.

- Frischbutter, A., (2002). Structure of the Managua Graben, Nicaragua, from Remote Sensing Images. *Geofísica Internacional*, Vol. 41, Num. 2., pp. 87-102.
- Frischer et al., (2006). Fluxes and origin of halogenated organic trace gases from Momotombo volcano (Nicaragua).
- Garayar, J (1971). *Geología y Depósitos Minerales de una Parte de las mesetas de Estelí, Cordillera Norte y las Montañas de Dipilto*. Managua. Catastro No 10.
- Hodgson (1998). *Provincias Geológicas de Nicaragua*.
- Hansen, Francisco., (2008). *Apuntes de Cartografía Geológica*.
- James, L., (1979). *Geology and Temperature Distribution of Momotombo Geothermal Field, Nicaragua*.
- Llanos., (1979). *Geología Estructural*.
- Lugo, J., (1988). *Elementos de Geomorfología aplicada (Métodos Cartográficos)*. UNAN- México: Instituto de Geografía.
- Lugo, J., (1989). *Diccionario Geomorfológico*. UNAM- México: Instituto de Geografía.
- La Geo S.A. de C.V., (2009). *Geophysical Exploration of the Momotombo Geothermal field, Nicaragua*.
- McBirney, A & Williams, H., (1965). *Volcanic History of Nicaragua*. Berkeley and Los Angeles: University of California Publications in Geological Sciences. Volumen 55.
- Mills, R. A. & Hugh, K. E., (1974). *Reconnaissance Geological Map of Mosquitia Region, Honduras and Nicaragua Caribbean coast*. American Assoc. Petrol. Geol. Bull. No 58.
- Menyailov. I. A. et al., (1986). Temperature increase and chemical change of fumarolic gases at Momotombo volcano, Nicaragua, in 1982-1985: are these indicators of a possible eruption.
- Porras. E., et al., (2007). *Numerical modeling of the Momotombo Geothermal system, Nicaragua*.

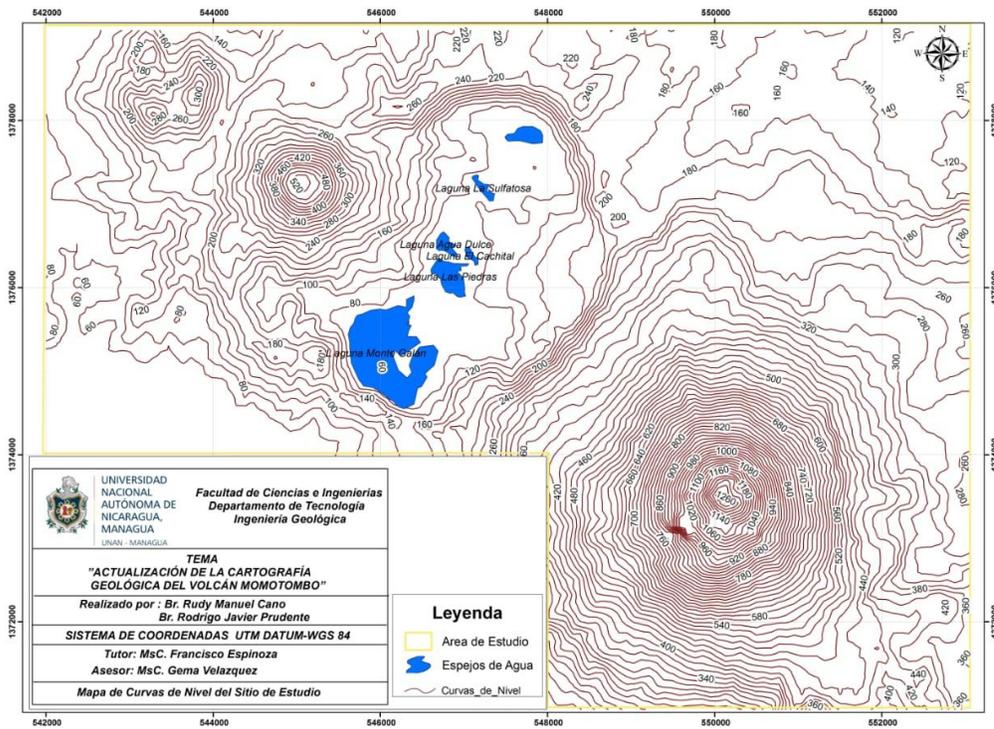
“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

- QUISEFIT J.P. et al., (1989). Evolution versus cooling of gaseous volcanic emissions from Momotombo Volcano, Nicaragua: Thermochemical model and observations.
- Rodríguez, (1989). Mapa Geológico de Nicaragua.
- Sabroux. J. C., (1980) Actividad volcánica del Momotombo Nicaragua. centre desfaibles radio activities.
- Servicio Geológico de la Republica Checa, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, (2001). Estudio Geológico y Reconocimiento de las Amenazas Geológicas en el volcán Momotombo, Nicaragua.
- Salazar, G., (2011). Geología General. (Costa Rica).
- Paz Rivera, N (1964). Reconocimiento Geológico de la Costa del Pacifico de Nicaragua In M. Economía., Boletín del Servicio Geológico Nacional No 8 (pp. 71-83). Managua, Nicaragua.
- Van Wyk de Vries, B., (1993). Tectonics and magma evolution of Nicaragua Volcanic systems. Thesis (Doctoral). Departamen of Earth Sciences, The Open University; September 1993.
- Weinberg, R. F., (1992). Neotectonic development of Westem Nicaragua Tectonics, vol. 11, No.5,pp. 1010-1017.
- Zoppis Bracci, L & Del Guidice, D., (1958). Geología de la Costa del Pacifico de Nicaragua In M. Economía., Boletín del Servicio Geológico Nacional (pp. 68-75). Managua, Nicaragua.

ANEXO

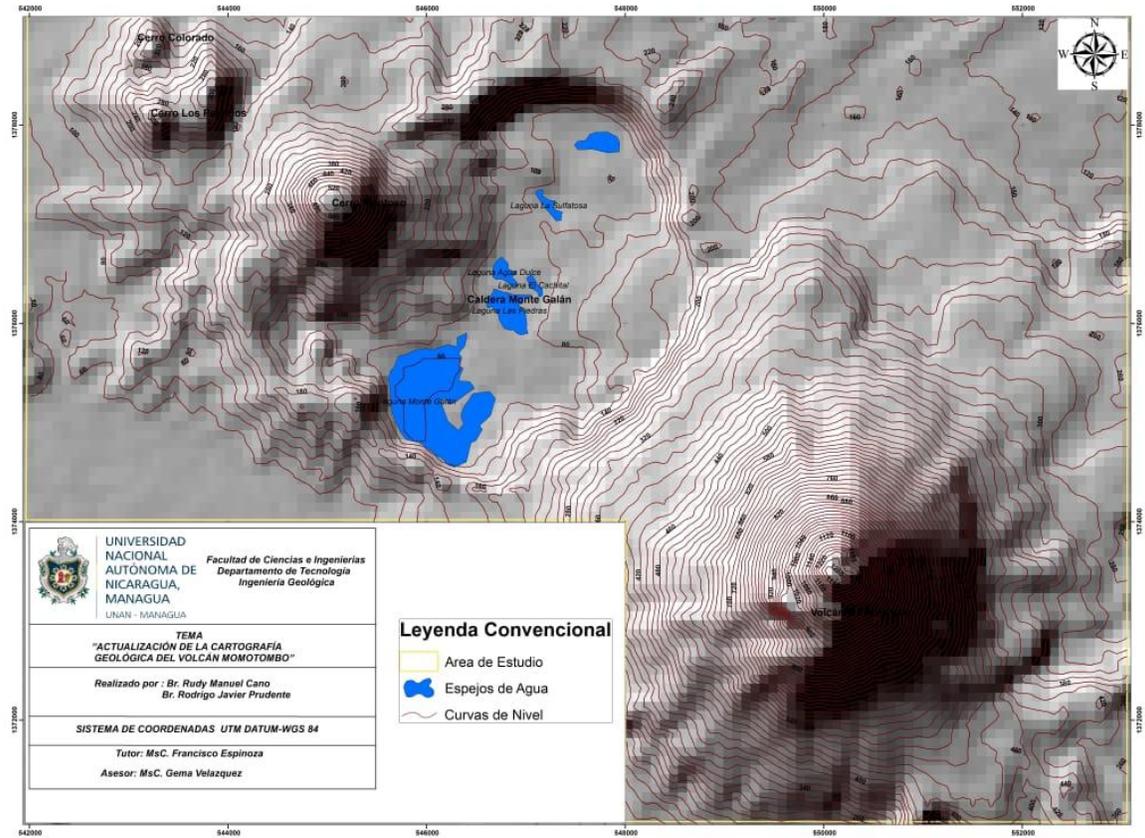
Anexo 1. Mapas preliminares.

Mapa de curvas.



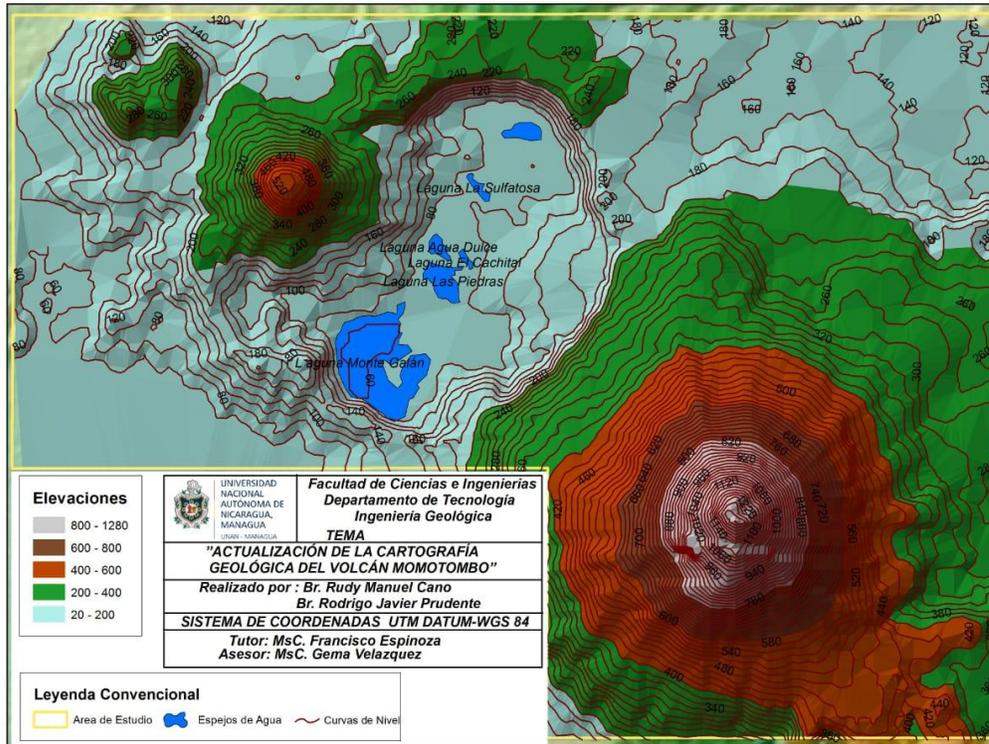
“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

Mapa de Sombra

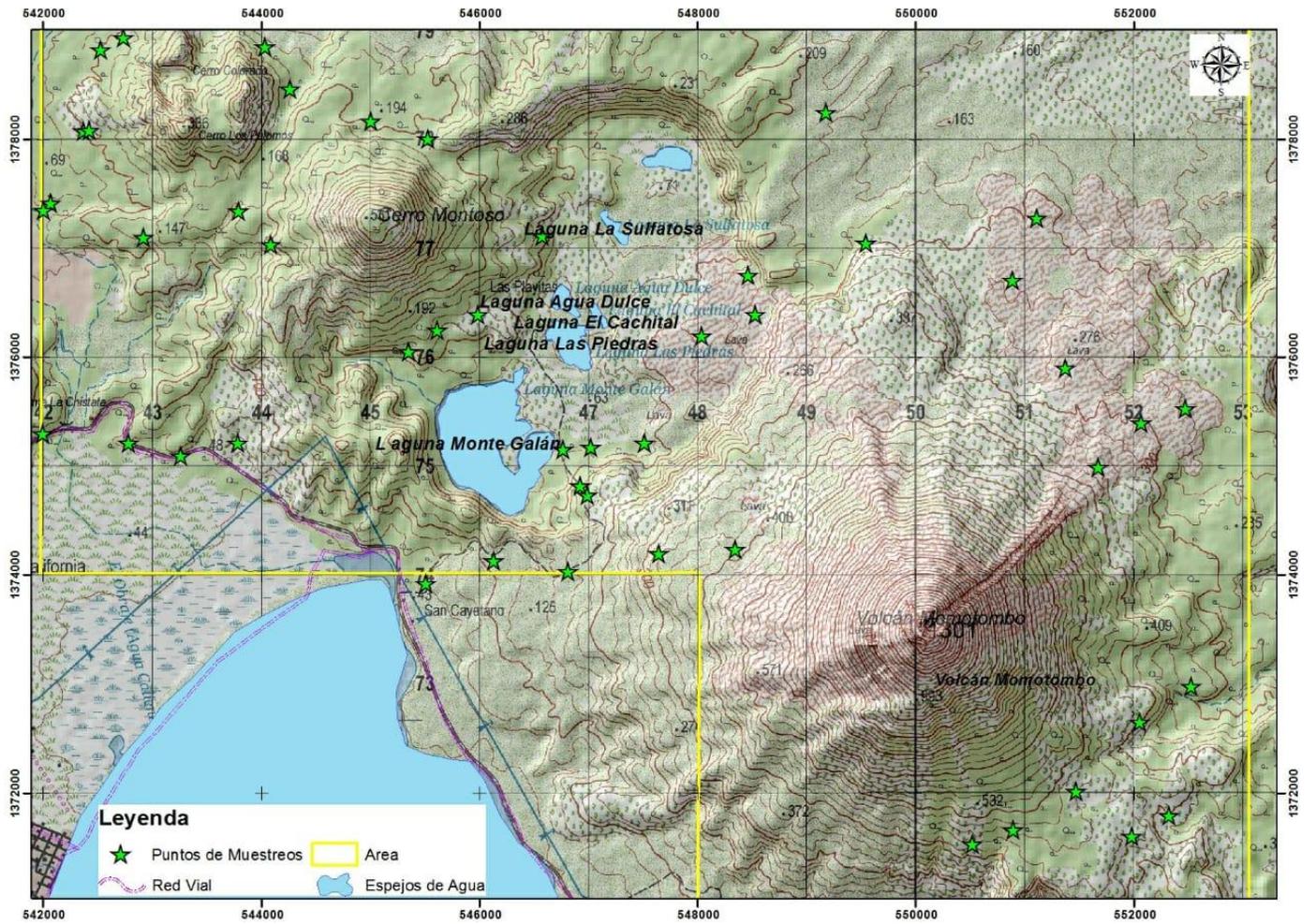


“ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL VOLCÁN MOMOTOMBO”

Mapa de pendiente



Anexo 2. Mapa de puntos de muestreos.



Tablas de los Datos de fracturas tomados en campo.

Anexo 3. Tabla de datos de fracturas obtenidos en los cerros los Palomos.

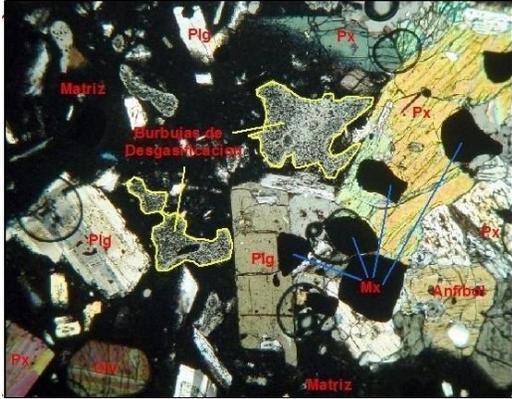
No	Rumbo	No	Rumbo	No	Rumbo	No	Rumbo
1	S 10° E	21	S 20° E	41	S 25° E	61	S 40° E
2	S 5° E	22	S 15° E	42	S 30° E	62	S 40° E
3	S 8° E	23	S 22° E	43	S 30° E	63	S 35° E
4	S 4° E	24	S 25° E	44	S 30° E	64	S 35° E
5	S 10° E	25	S 28° E	45	S 25° E	65	S 40° E
6	S 6° E	26	S 25° E	46	S 22° E		
7	S 10° E	27	S 30° E	47	S 28° E		
8	S 15° E	28	S 22° E	48	S 25° E		
9	S 15° E	29	S 24° E	49	S 22° E		
10	S 20° E	30	S 26° E	50	S 30° E		
11	S 20° E	31	S 25° E	51	S 30° E		
12	S 15° E	32	S 28° E	52	S 35° E		
13	S 16° E	33	S 25° E	53	S 40° E		
14	S 12° E	34	S 30° E	54	S 35° E		
15	S 16° E	35	S 25° E	55	S 32° E		
16	S 15° E	36	S 30° E	56	S 36° E		
17	S 20° E	37	S 25° E	57	S 34° E		
18	S 18° E	38	S 25° E	58	S 40° E		
19	S 12° E	39	S 30° E	59	S 32° E		
20	S 15° E	40	S 22° E	60	S 32° E		

Anexo 4. Tabla de datos de fracturas tomadas en las paredes del costado SW de la caldera Monte Galán.

No	Rumbo	No	Rumbo	No	Rumbo	No	Rumbo
1	S 10° W	26	S 5° W	51	S 15 ° W	76	S 25° W
2	S 5° W	27	S 5° W	52	S 15 ° W	77	S 25° W
3	S - N	28	S 5° W	53	S 20 ° W	78	S 30° W
4	S 5° W	29	S 10° W	54	S 15 ° W	79	S 22° W
5	S 10° W	30	S 10° W	55	S 18 ° W	80	S 30° W
6	S 10° W	31	S 10° W	56	S 15 ° W	81	S 22° W
7	S 5° W	32	S 5° W	57	S 20 ° W	82	S 26° W
8	S 10° W	33	S 10° W	58	S 20 ° W	83	S 28° W
9	S 10° W	34	S 10° W	59	S 15 ° W	84	S 30° W
10	S 10° W	35	S 5° W	60	S 15 ° W	85	S 25° W
11	S 5° W	36	S 10° E	61	S 20 ° W	86	S 40° W
12	S 10° W	37	S 5° E	62	S 20 ° W	87	S 36° W
13	S 10° W	38	S 5° E	63	S 20 ° W	88	S 32° W
14	S 10° W	39	S 5° E	64	S 15 ° W	89	S 40° W
15	S 10° W	40	S 10° E	65	S 25 ° W	90	S 35° W
16	S 5° W	41	S 15 ° W	66	S 25 ° W	91	S 35° W
17	S 10° W	42	S 15 ° W	67	S 25 ° W	92	S 40° W
18	S 10° W	43	S 20 ° W	68	S 30 ° W	93	S 35° W
19	S 5° W	44	S 18 ° W	69	S 22° W	94	S 32° W
20	S 10° W	45	S 15 ° W	70	S 28 ° W	95	S 42° W
21	S 10° W	46	S 20 ° W	71	S 30° W	96	S 45° W
22	S 5° W	47	S 15 ° W	72	S 25° W	97	S 48° W
23	S 10° W	48	S 15 ° W	73	S 22° W	98	S 45° W
24	S 10° W	49	S 20 ° W	74	S 28° W	99	S 45° W
25	S 10° W	50	S 20 ° W	75	S 30° W		

Tablas de los Análisis Petrográficos de las unidades Litológicas.

Anexo 5. Sección petrográfica de la unidad Andesita- Basáltica.

Composición mineral de la muestra No 1		
Nombre de la Roca	Andesita-Basáltica	Textura Porfídica
		
Matriz	Criptocrystalina	
Descripción	%	Minerales
	5%	Olivino: Pequeños fenocristales amorfos de olivinos con abundantes fracturas de características concoidales.
	5%	Minerales Metálicos: se obserban pequeños minerales metálicos dispersos en toda la muestra, en su mayoría afectando a los minerales de Plagioclasas, Piroxenos y Hornblenda.
	5%	Hornblenda: Se presentan fenocristales de Hornblenda con formas prismáticas y clivaje en dos direcciones, tambien fueron observados agrupados con minerales de plagioclasas y piroxenos.
	15%	Piroxeno: Se observan crsitalos prismáticos alargados con clivajes en dos direcciones. Se encuentran afectados por minerales metalicos, ademas se presentan formando grupos con minerales de plagioclasas y Hornblendas.
	15%	Plagioclasas: Se presentan como fenocristales de forma prismatica alargadas y cortas, se observan plagioclasas macladas y plagioclasas sonadas, estos minerales tienen un aspecto subhedral y algunos anhedral.
55%	Matriz : Criptocrystalina.	

Anexo 6. Sección petrográfica de la unidad Andesita.

Composición mineral de la muestra No 2		
Nombre de la Roca	Andesita	Textura
		Porfídica-Glomeroporfídica
		
Matriz	Vítrea	
Descripción	%	Minerales
	10%	Minerales Metálicos: se observan minerales de hierro y magnetita dispersos en la sección, afectando los bordes de los minerales de plagioclasas y piroxenos.
	8%	Hornblenda: Se observan escasamente cristales de Hornblendas, estos tienen un aspecto subhedral y en forma prismáticas.
	15%	Piroxeno: Se presentan agrupaciones de cristales de piroxenos con forma prismáticas, se observan con clivaje en dos direcciones, además se puede apreciar como estos minerales son corroídos por los minerales metálicos.
	15%	Plagioclasas: se observan estos fenocristales de formas prismáticas con aspectos subhedral y anhedral. También se pueden determinar dos tipos de plagioclasas como son las plagioclasas macladas y plagioclasas sonadas.
52%	Matriz: vidrio volcánico.	

Anexo 7. Sección petrográfica de la unidad Basalto.

Composición mineral de la muestra No 3		
Nombre de la Roca	Basalto	Textura Porfídica
 		
Matriz	microlítica- pilotaxítica (con microlitos de plagioclasas y vidrio volcánico)	
Descripción	%	Minerales
	5%	Olivino: Pequeños y escasos fenocristales amorfos de olivinos con abundantes fracturas de características concoidales.
	5%	Minerales Metálicos: se obserban estos fenocristales dispersos en toda la sección, en su mayoría se encuentran afectando los bordes de los minerales de Piroxenos y Plagioclasas.
	5%	Hornblenda: Se presentan fenocristales de forma prismática con clivaje en dos direcciones.
	10%	Piroxeno: Se observan minerales de piroxenos de froma prismática larga, con clivajes en dos direcciones. Estos Piroxenos tienen un aspecto Subhedral y anhedral.
	10%	Plagioclasas: Fenocristales con hábito prismatico alargados y cortos, se observan plagioclasas macladas y plagioclasas sonadas, presentan dos aspectos uno subhedral y otro Euhedral.
	65%	Matriz : microlítica-Pilotaxítica, con microlitos de Plagioclasas y vidrio volcánico.

Anexo 8. Sección petrográfica de la unidad Basalto.

Composición mineral de la muestra No 4		
Nombre de la Roca	Basalto	Textura
		Porfídica-Glomeroporfídica
		
Matriz	Vitréa	
Descripción	%	Minerales
	4%	Olivino: Pequeños fenocristales amorfos de olivinos con abundantes fracturas de características concoidales.
	8%	Minerales Metálicos: se obserban estos fenocristales dispersos en toda la sección, en su mayoría se encuentran afectando los bordes de los minerales de Piroxenos y Plagioclasas.
	8%	Hornblenda: Se presentan fenocristales de forma prismáticas con clivaje en dos direcciones.
	15%	Piroxeno: Se observan minerales prismáticos de piroxenos con clivajes bien definidos en dos direcciones. En ciertas zonas de la sección se observaron que los minerales de piroxenos y plagioclasas se encuentran agrupados y siendo corroídos por minerales metalicos.
	15%	Plagioclasas: Se presentan minerales de plagioclasas de forma prismatica alargadas y cortas, se observan plagioclasas macladas y plagioclasas sonadas, estos minerales tienen un aspecto subhedral. Se identificaron minerales de plagioclasas corroídos por minerales
50%	Matriz : vidrio volcánico.	

Anexo 9. Mapa Geológico del complejo volcánico Momotombo.